

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES.

Un talud, es una elevación sobre el terreno horizontal, definida en un ángulo o pendiente y que culmina en otra sección horizontal denominada corona. Este talud está sometido a esfuerzos internos del suelo, y obviamente algunos de estos esfuerzos están sometidos a la acción de la gravedad, lo que origina un potencial inestabilidad a dicha elevación.

Cuando se habla de un análisis de taludes, estamos hablando de una relación de los esfuerzos internos, ya se ha mencionado que existen esfuerzos desestabilizantes, pero también existen otros que tienden a estabilizar el talud, lo que significa que la sumatoria de estos esfuerzos específicos, proporcionan una relación denominada factor de seguridad.

Este es el principio fundamental para buscar la estabilidad de un talud, y es determinar el factor de seguridad, que puede ser calculado en función a los esfuerzos generados al interior de dicho talud. Obviamente se denota que un talud está compuesto de una base, un ángulo de reposo y una corona, sin embargo se tienen que considerar otros aspectos como ser las características del suelo en parámetros bien definidos como ser; el ángulo de fricción interna, el peso específico del suelo y la cohesión de sus partículas. El estudio de la estabilidad de taludes, proporciona un sinnúmero de métodos, los cuales tienen sus propias características de complejidad.

Bolivia es un país de una topografía accidentada, y por ende sus ciudades también son afectadas por esta característica, sin embargo el tratamiento de un talud en la zona rural no es el mismo que debiera darse en una zona urbana, ya que los espacios en esta última están restringidos por condiciones de hábitat, los cuales en un estudio

normal, se tendría que desplazar ocasionando el malestar de los pobladores y por ende algunos conflictos sociales y sobre todo legales.

Las instituciones urbanas como ser los municipios cada vez se encuentran en conflictos, debido a que los pobladores de las ciudades, casi siempre tienden a utilizar todos aquellos espacios que se encuentran en la corona, no considerando el peligro en el que pueden estar sometidos. Por lo que las instituciones, generalmente recurren a elementos de contención de los taludes, pero que muchas veces son temporales y que si no están bien diseñados estos pueden ocasionar más daños de los que deberían proteger.

El autor de este proyecto, propone un análisis metodológico, sustentado en la teoría básica del área de conocimiento, pero que introduzca una variable latente en los taludes, y que se denomina la altura crítica, es decir la máxima altura donde el talud por sus propios medios pueda garantizar un factor de seguridad adecuado. Esto no quita que también se utilicen elementos de contención, pero que los mismos serán optimizados, para hacerlos más económicos y factibles en su construcción.

El aporte teórico, está sustentado en las metodologías del análisis de la estabilidad de los taludes, que propone ecuaciones de fácil acceso e interpretación para una aplicación eficiente. El aporte práctico, se sustenta en la aplicación real de problemas puntuales dentro de la ciudad de Tarija, que presenta taludes de diferente índole.

Existe una relevancia social fuerte en el trabajo de investigación, ya que se trata de solucionar problemas reales, que evitaren los trastornos técnicos y sobre todo legales de los pobladores que se encuentran en el entorno propio de un talud.

1.2. JUSTIFICACIÓN.

La justificación se puede definir desde tres aspectos que son; justificación técnica, académica y social.

✓ Justificación Técnica.

Se trata de mostrar un cálculo novedoso para traer estabilidad a los taludes urbanos, pero que el mismo tenga un respaldo teórico fundamentado, que además de las características geométricas pueda relacionar el tipo de suelo del cual está formado el talud, y que pueda ser enfocado como una técnica más de la construcción.

✓ Justificación académica.

Académicamente el tema es por demás justificado, ya que se utiliza el conocimiento adquirido combinado con la teoría de la estabilidad de taludes, que al mismo tiempo demuestra que es necesario realizar trabajos preliminares de topografía y suelos, y otros que pueden aparecer de acuerdo a los requerimientos de la investigación. Este trabajo tiene su aporte académico bien fundamentado ya que terminara con una propuesta de aplicación que puede servir de base a futuras investigaciones acerca del área estudiada.

✓ Justificación social.

El trabajo tiene una fuerte relevancia social, ya que está enfocado a la solución de un problema real que ocurre dentro del perímetro urbano de Tarija, que actualmente tienen problemas desde el punto de vista técnico, hasta el de tipo legal, por lo que está plenamente justificado.

1.3. SITUACIÓN PROBLÉMÁTICA.

La Ciudad de Tarija, tiene características muy particulares sobre todo en su topografía, ya que por tratarse de una zona incrustada en los valles, su relevamiento se encuentra definido por irregularidades de nivelación, es decir no toda la zona es plana, sino más bien se encuentran lugares con altitudes diferentes.

La ciudad sigue avanzando en su construcción y en muchas ocasiones, se ven afectados por taludes que potencialmente pueden ser inestables, y que una construcción que se situó en la coronilla, necesariamente debe dejar un espacio vacío bastante significativo, que abarca desde el borde del talud hasta donde se piensa construir. Esta situación produce trastornos que van desde la construcción hasta aquellos del tipo legal, entre el municipio y los propietarios que muchas veces se ven afectados.

Muchos propietarios deciden no hacer casos de las normativas municipales y proponen asentamientos que luego pueden tener otras consecuencias como ser los derrumbes que pueden afectar inclusive la vida de las personas. Ante esto el municipio generalmente tiende a construir pequeños reparos o muros de construcción o disponer de elementos de sujeción en los taludes, situación que si bien proporcionan una estabilidad temporal, luego de varios periodos de lluvias y otros agentes climatológicos, estos dejan de funcionar volviendo la inseguridad en las viviendas.

A estos factores, también hay que analizar el tipo de suelo que conforma el talud, por lo que la forma de contener con elementos puede no ser el apropiado para los taludes que se encuentran en toda la zona urbana y que hay que proponer una solución alternativa que contemple el tipo de suelo y su estabilidad apropiada.

1.4. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.

El problema encontrado y que causa un trastorno dentro de la sociedad, prácticamente es la inestabilidad del talud relacionada al tipo de suelo, que dentro de la zona urbana se puede decir que no son taludes de grandes proporciones, pero que quitan el espacio por encima de la corona ocasionando trastornos en los propietarios y que con alguna técnica que se tiene que investigar se podría proponer una solución adecuada.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la estabilidad de taludes en zonas urbanas específicas, basándose estrictamente en el cálculo y determinación de la altura crítica, a fin de proporcionar espacios de habitad y seguridad en el entorno de los taludes.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las zonas de riesgo dentro de la ciudad de Tarija.
- Analizar los problemas de espacios, en la corona de cada talud seleccionado.
- Realizar los estudios preliminares, como ser; topografía, suelos y otros que se requieran en el proyecto.
- Analizar las características de los taludes como ser: ángulo de fricción interna, el peso específico y la cohesión de sus partículas.
- Realizar el Análisis por el Método Culmann, para el cálculo de la altura Crítica.
- Analizar la propuesta de una técnica constructiva de acuerdo a los resultados obtenidos.

1.6. HIPÓTESIS.

La hipótesis es la respuesta al problema, lo que incide directamente a lo siguiente.

Si se propone una técnica en función de la altura crítica dependiendo del tipo de suelo, para estabilizar un talud finito en zonas urbanas; entonces, se podrá reducir los espacios en la corona, para ser utilizados con mayor seguridad y que sea de mas acceso para futuras construcciones.

1.7. ALCANCE.

El Análisis de Investigación se realiza debido al crecimiento del perímetro Urbano que experimenta la Ciudad de Tarija, desde la década de los 80', crecimiento que afecta directamente en el Habitar de nuestro medio.

La ciudad de Tarija tiene una diversidad de suelos, que muchas veces demuestran un comportamiento tal que se originan inestabilidades que desembocan en asentamientos o deslizamientos de grandes masas de suelos, es este el gran problema que afecta con serias consecuencias a las diferentes zonas de riesgos en área urbana, también es por esta razón que la Investigación se hace importante porque así podremos encontrar la manera de controlar adecuadamente los taludes.

Es muy importante, que los ingenieros que se dedican al diseño de obras civiles en la corona le den la importancia necesaria a los taludes, y este análisis metodológico podrá brindar tal vez un parámetro para el trabajo, debido a que en futuras investigaciones se utilizarán tecnologías innovadoras y modernas buscando siempre las soluciones más adecuadas en los taludes.

Se realizará una aplicación práctica seleccionando taludes en Área urbana para poder realizar el correspondiente Análisis Metodológico para Determinar la Altura Crítica, y plantear una propuesta alternativa para diferentes tipos de suelos.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE TALUDES EN ZONAS URBANAS

2.1. GENERALIDADES.

La problemática de inestabilidad de los taludes, es eminente que ocasiona la inseguridad en su entorno debido a la reducción en la corona y posibles deslizamientos, derrumbes que pudieran presentarse. Sumado a esta situación, se presenta el caso de que el buzamiento desfavorable de los estratos que actúa como un acelerador de la inestabilidad de la zona baja del talud, en el Barrio San Martín y la Quebrada el Sagredo, pero muy distinto del barrio Luis Pizarro. Donde el trabajo de investigación comprende un conjunto de visitas de campo a las zonas y de ensayos de laboratorio, destinados a conocer las características físicas y geomecánicas del suelo y de diferentes extractos, con el objeto de determinar la Altura crítica de los taludes en el lugar.

2.2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MECÁNICA DE SUELOS.

Esta área de conocimiento es muy importante ya que se trata de realizar un estudio de suelos del lugar, y para ello se recurre a la Mecánica de Suelos, en toda su extensión, ya que el cálculo de la altura crítica de taludes finitos es parte fundamental de esta área profesional.

En un suelo se distingue tres fases constituyentes:

- *La Solida*: Está formada por las partículas minerales de suelos, incluyendo la capa solida absorbida.
- *La Liquida*: Es por el agua, aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menor significación.

- *La Gaseosa*: Comprende todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases. La capa viscosa del agua absorbida que presentan propiedades intermedias entre la fase sólida y la líquida, suelen incluirse en esta última, pues es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a un esfuerzo.

Es un Material más de la estructura para determinar los efectos de la carga impuesta en un terreno determinado. Esto evita a posterior la deformación del suelo o la inclinación de las capas de la superficie terrestre por sobrepeso. Además se evitan deformaciones en las edificaciones y grietas o en casos severos, el desplome o el colapso de la construcción en la corona.

Esta ciencia también permite valorar y determinar la disposición del suelo para ser explorado y construido.

2.2.1. PARÁMETROS INDISPENSABLES.

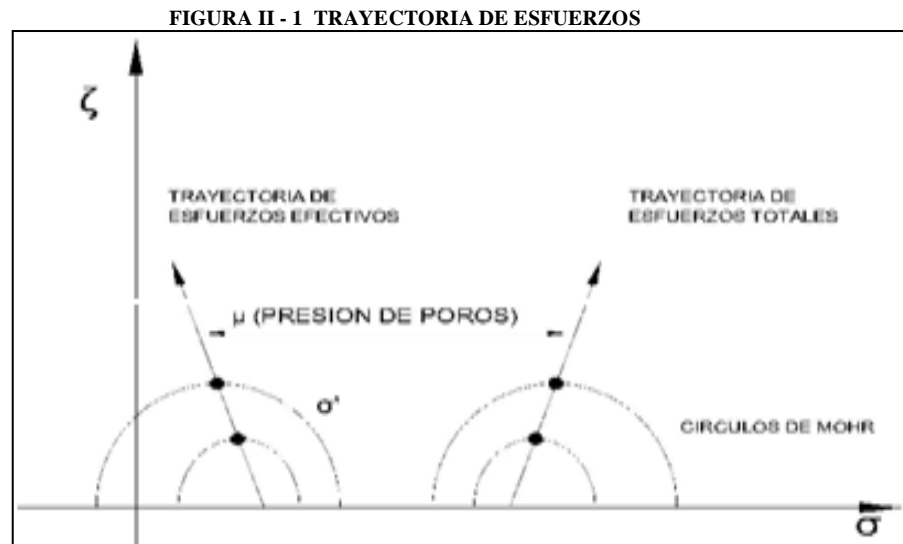
En los taludes finitos son: la resistencia, análisis de esfuerzos, factor de seguridad, etc. La resistencia del suelo son reducidos hasta que el talud se vuelve inestable por:

- Análisis de esfuerzos efectivos requiere del conocimiento de las presiones que ser estimadas si los cambios de esfuerzos dentro del suelo se pueden determinar, normalmente consolidados tienden a generar presiones positivas durante el corte, en contraste, los suelos sobre consolidados pueden esperarse que generen presiones negativas.
- El factor de seguridad es la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en los taludes y los esfuerzos de corte crítico que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie de posible falla en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

2.2.2. ESFUERZOS EN EL SUELO.

El análisis que controla el comportamiento del suelo los esfuerzos totales, que podría utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo.

También muestra estados sucesivos de esfuerzos en un espacio de esfuerzos $p - q$, donde p y q corresponden a los máximos esfuerzos normales y de cortante.



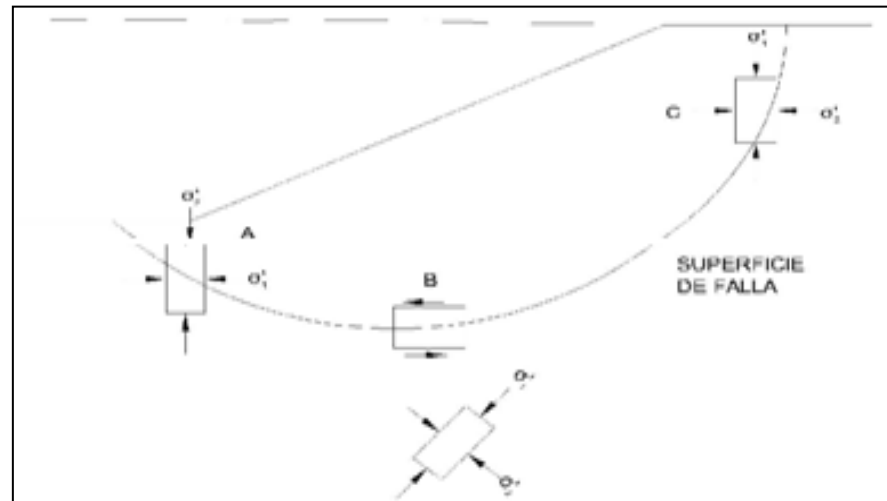
REFERENCIA: CRESPO VILLALAZ (MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES)

Esfuerzos totales menos presión de poros estática. Esta trayectoria muestra el estado de esfuerzos en el suelo con un margen para la presión de poros en el agua, debida al nivel estático de aguas subterráneas. Si el nivel de agua no cambia, la diferencia entre la trayectoria de esfuerzos efectivos y la de esfuerzos totales menos la presión de poros estática, es la presión de poros en exceso generada a medida que el suelo experimenta deformaciones.

En un análisis en dos dimensiones, los esfuerzos en un punto pueden ser representados por un elemento infinitamente pequeño sometido a los esfuerzos s_x , s_y y t_{xy} . Si estos esfuerzos se dibujan en unas coordenadas $t-s$, se puede trazar los esfuerzos. En este círculo se definen los valores de s máximo (s_1) y s mínimo (s_3), conocidos como esfuerzos principales.

Para interpretar correctamente el fenómeno de falla al cortante en un talud debe tenerse en cuenta cuál es la dirección de los esfuerzos principales en cada sitio de la superficie de falla. El esfuerzo (σ_1) es vertical en la parte superior de la falla y horizontal en la parte inferior.

FIGURA II - 2 DIRECCIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES EN LA FALLA DE UN TALUD

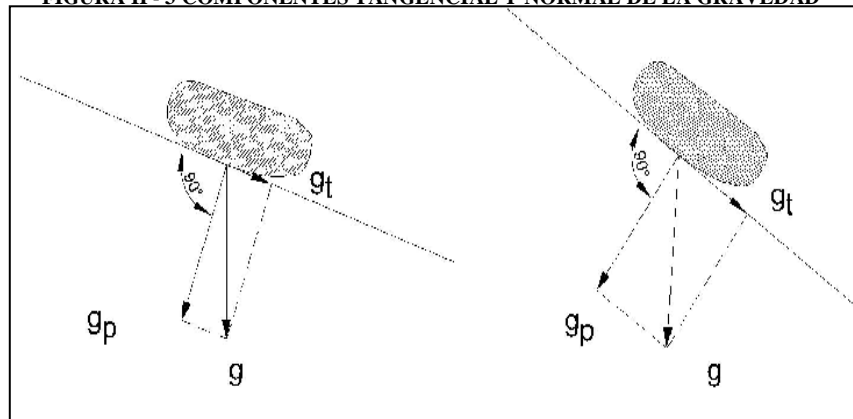


REFERENCIA: LUIS BLAÑÓN BLAZQUEZ (COMPOSICION DE LOS ESFUERZOS)

2.2.3. TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE.

La relación entre la tensión Horizontal y Vertical inicial en el plano de análisis se ha considerado a lo largo del trabajo, como la principal fuerza responsable de los movimientos en masa es la gravedad. En una superficie plana la gravedad actúa hacia abajo, en una ladera esta fuerza tiene dos componentes: una componente que actúa normal a la superficie y otra que actúa de forma tangencial a la superficie.

FIGURA II - 3 COMPONENTES TANGENCIAL Y NORMAL DE LA GRAVEDAD



REFERENCIA: LUIS BLAÑÓN BLAZQUEZ (COMPOSICION DE LOS ESFUERZOS)

La componente perpendicular de la gravedad g_p ayuda al objeto a permanecer en su lugar, la componente tangencial g_t , causa esfuerzos cortantes paralelos a la superficie del talud. A medida que la pendiente del talud aumenta, los esfuerzos cortantes aumentan, mientras que la componente perpendicular disminuye.

El término resistencia cortante agrupa todas las fuerzas que se oponen al movimiento, incluyendo resistencia a la fricción y cohesión. Si el esfuerzo cortante es mayor que la resistencia cortante se producirá el movimiento. El factor de seguridad F_s es la relación entre la resistencia y los esfuerzos, cuando el F_s es menor de 1.0 el movimiento es inminente.

Las dos causas que pueden atribuirse esa pérdida de la resistencia son: incremento de los esfuerzos cortantes actuantes y desarrollo de la presión de poros correspondiente, y por el desarrollo de presiones elevadas en el agua intersticial.

Externas: Producen aumento de los esfuerzos cortantes actuantes sin modificar la resistencia al esfuerzo cortante del material. El aumento de la altura del talud o el hacerlo más escarpado, son causas de este tipo, como también son la colocación de cualquier tipo de sobrecarga en la corona del talud o la ocurrencia de sismos.

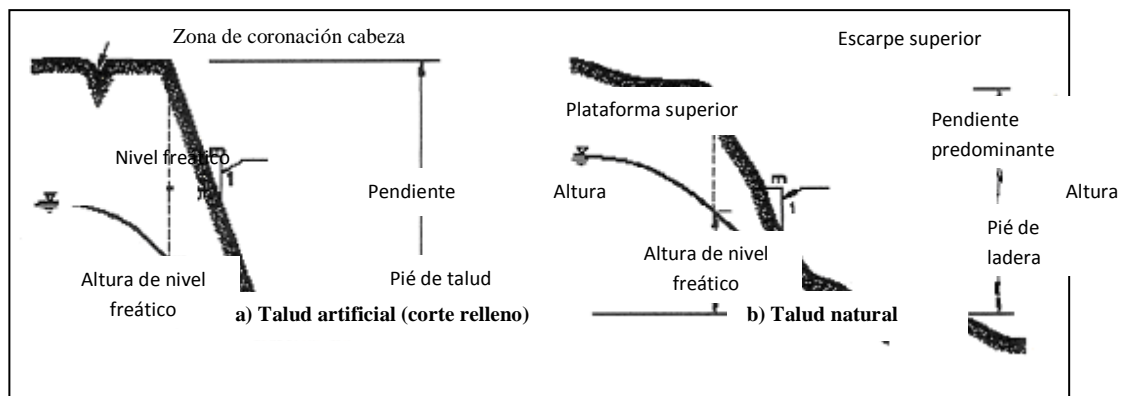
Internas: Son las que ocurren sin cambio de las condiciones exteriores del talud. Estos disminuyen la resistencia al esfuerzo cortante del suelo constitutivo, el aumento de presión de poros o la disipación de la cohesión y remoción de la masa del suelo, producida por socavaciones y/o perforaciones con grietas a tracción.

2.3. CONCEPTUALIZACIÓN DE TALUDES.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos, sobre las características que permitan realizar un diagnóstico de los problemas, lo más preciso posible y un diseño efectivo de solución. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Figura II-4). Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

FIGURA II – 4 NOMENCLATURAS DE TALUDES

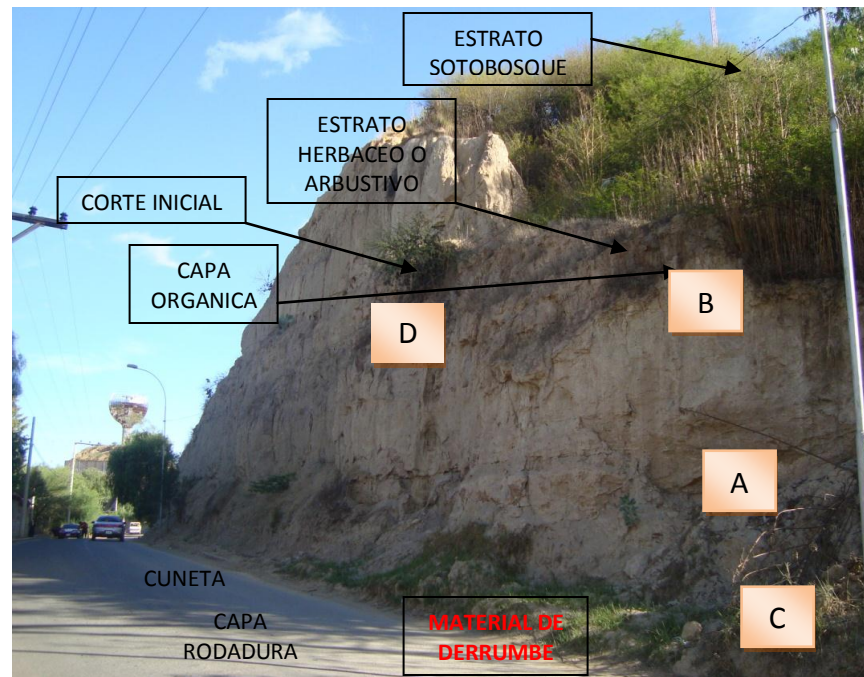


REFERENCIA: UNC MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE OBRAS DE ESTABILIZACION

En los barrios periféricos de la ciudad de Tarija, se presentan los taludes en las márgenes del río Guadalquivir con construcciones en la corona del talud, provocando la inseguridad y deslizamientos de los taludes laterales a la calzada que afectan el tránsito a los usuarios de la ruta, siendo el origen de estas fallas las variaciones de condición que sufren las laderas anualmente, como por ejemplo, cambio en la corona por el desgaste de los extractos con lentitud a lo largo de los años.

Los lugares para este proyecto se definió tres alternativas considerando la composición de distintos materiales da cada talud, en función de la geometría del talud, recopilando la información durante 8 meses, para determinar los efectos y soluciones de espacio en el talud.

FOTOGRAFÍA II - 1 VISTA DEL TALUD BARRIO SAN MARTIN DISTRITO 12



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

En forma general (Fotografía II-1) la sección típica del tramo en estudio, está constituida por los siguientes estratos:

- Estrato sotobosque: comprendido por la mayoría de árboles de la zona. Está formado por árboles jóvenes, arbustos y hierbas de baja altura, con mucha o poca densidad y en este caso cercanas a la orilla del talud, provocando tensiones externas al talud que provocan su caída.
- Estrato herbáceo o arbustivo: presente en la mayoría de taludes y está comprendida por pastizales, gramínea y/o maleza, la cual se propaga fácilmente en temporada de invierno, lo cual favorece a la saturación del suelo. En algunos casos los agentes climáticos que provocan una mayor saturación del suelo aun en época de verano.

- Capa orgánica: material permeable, el cual permite que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, que se constituye como nutriente y que tiene características que permiten su explotación.
- Estrato “D”: arcillas de plasticidad alta; son suelos finos donde más del 35% de las partículas del material son menores al 0.06 mm, y un 65% al 100% son finos, el límite líquido se encuentra entre el 50% al 90%.
- Estrato “C”: subterráneo; formados por la filtración de fluido (pluvial, por lo general) el cual ha sido absorbido desde la superficie hasta llegar a los espacios entre sólidos donde se mantiene depositada hasta alcanzar una capa levemente impermeable (acuífero limitado).
- Estrato “B”: acuíferos limitados; formados por la filtración de fluido depositado en acuíferos subterráneos, estos se encuentran sobre una capa (por lo general impermeable) que no permitirá el paso del agua, esto provoca a que el agua se deposite y se encuentre bajo presión, hasta encontrar salidas estratigráfica.
- Estrato “A”: arcillas de plasticidad extremadamente alta; son suelos finos donde más del 35% de las partículas del material son menores a 0.06 mm, y un 65% al 100% son finos y su límite líquido sobrepasa el 50%. Algunos taludes encontrados han existido durante años en estado de falla incipiente, es decir, a punto de producir un movimiento. Esto resulta especialmente evidente en el caso de laderas naturales y los taludes definidos por la intervención del hombre. En estas situaciones, las interferencias humanas, tales como deforestación o cortes en el pie de talud pudieron provocar el movimiento.

En el análisis por realizar los taludes tanto en corte como construidos es necesario tener en cuenta las condiciones de estabilidad tanto inmediatas como a largo plazo.

2.3.1. TALUDES FINITOS.

Se debe tener presente que aún hoy en día los métodos de resolución, para el análisis de taludes finitos y determinar la altura crítica se encuentra sin ningún desarrollo y evaluación permanente, dado que todavía no se encuentran modelos y factores para reducir los espacios su corona.

El Plan Nacional de Desarrollo Bolivia no menciona sobre Taludes finitos, pero determina que el uso de los elementos finitos no se justifica para el sólo propósito de calcular el factor de seguridad sino que su uso debe servir para obtener también desplazamientos y tensiones causadas por las cargas aplicadas en la corona, dado el esfuerzo y tiempo que este análisis requiere.

El método de los elementos finitos es una herramienta computacional muy potente en ingeniería. Adquiere su poder de la capacidad de simular comportamientos físicos usando herramientas computacionales sin la necesidad de simplificar el problema, obteniéndose resultados más precisos y confiables. Actualmente, nuevos métodos de análisis propuestos en ingeniería pueden verificarse usando el método de los elementos finitos como punto de referencia.

Los problemas en la estabilidad de taludes resueltos usando el método de elementos finitos tienen dos importantes distinciones con los métodos de equilibrio límite original.

Primero, la ecuación de la estabilidad del talud por elementos finitos es determinada; por lo tanto, no es necesario que se hagan suposiciones para poder completar los cálculos.

Segundo, la ecuación del factor de seguridad es lineal, porque la tensión normal en la base de la faja es conocida.

El método de los elementos finitos puede usarse para estudiar la estabilidad de taludes usando una definición de falla similar a la de los métodos de equilibrio límite, éstos proponen en principio una superficie de deslizamiento para luego examinar el valor del coeficiente de seguridad de la misma, el cual se define como la relación entre la

resistencia al corte disponible y la resistencia al corte movilizada a lo largo de la superficie.

El cálculo de la estabilidad de taludes está basado fundamentalmente en determinar el factor de seguridad, con el que cuenta la pendiente, para ello es necesario identificar el tipo de talud que se encuentra en la zona, como ya se vino previendo el caso puede darse en taludes finitos y taludes infinitos, dependiendo de que si la corona de talud se encuentra a una altura alcanzable o no para el estudio.

En este sentido y por la topografía planteada se puede establecer que el cálculo que se requiere en este caso es definir una estabilidad de taludes infinitos, que pueden estar en condiciones normales.

La tarea del Ingeniero encargado de analizar la estabilidad es determinar el factor de seguridad, en general el mismo se define como sigue:

$$FS_c = \frac{c}{c_d}$$

$$FS_s = FS_c$$

Donde:

FS_s = Factor de seguridad con respecto a la resistencia.

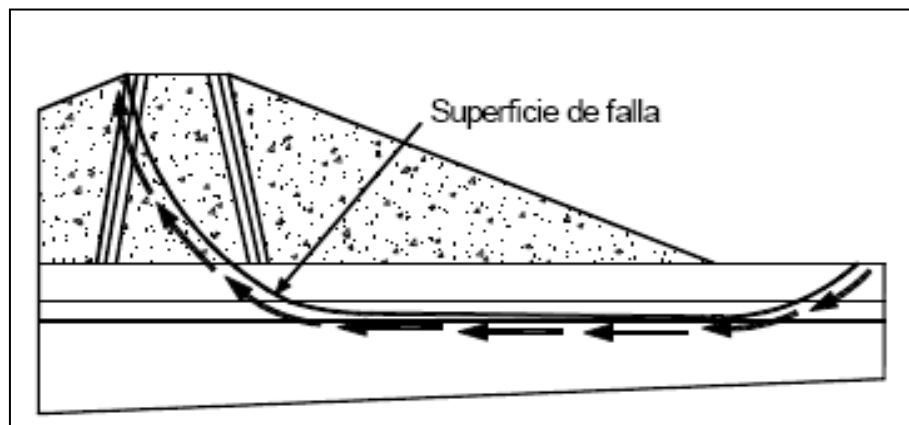
c = Cohesión del suelo.

c_d = Cohesión del Suelo Cortante promedio.

2.4. ANÁLISIS DE TALUDES FINITOS, CON DIFERENTES SUPERFICIES DE FALLA.

La superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud (Figura II - 5); sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es artificial y diseñado adecuadamente. En los métodos de límite de equilibrio el factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla; por lo tanto, este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie. Si la falla ocurre, los esfuerzos de cortante serían iguales en todos los puntos de la superficie de falla, para encontrar el valor mínimo de factor de seguridad, la cual se denomina “superficie crítica de falla”. Esta superficie crítica de falla es la superficie más probable para que se produzca el deslizamiento; no obstante, pueden existir otras superficies de falla con factores de seguridad ligeramente mayores, los cuales también se requiere tener en cuenta para el análisis.

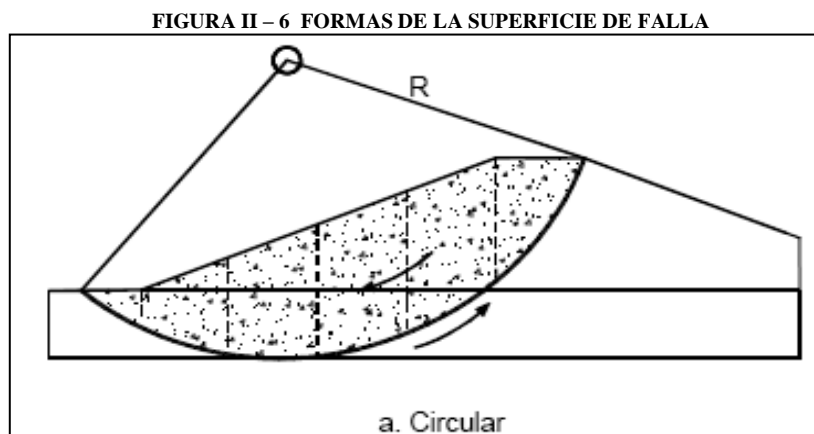
FIGURA II - 5 SUPERFICIE DE FALLA Y DIRECCIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE



REFERENCIA: G. LOPEZ MANUEL, MANUAL DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Formas de la superficie de falla

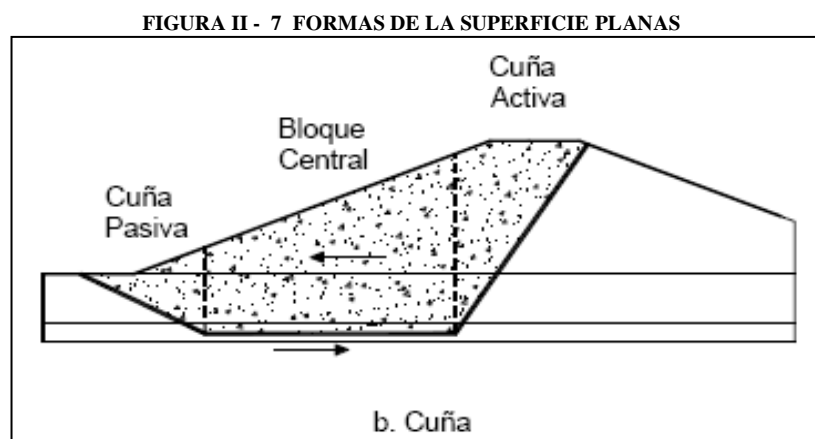
Las técnicas de límite de equilibrio se utilizan cuando las fallas corresponden a los deslizamientos de traslación o de rotación sobre superficies de falla determinadas (Figura II - 6). Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de éstas. En los últimos años, se han desarrollado algunos modelos de superficies de falla con forma no geométrica.



REFERENCIA: G. LOPEZ MANUEL, MANUAL DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Análisis de superficies planas

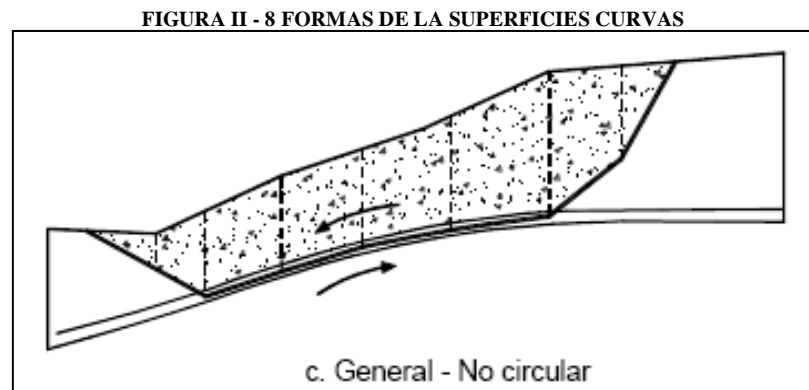
Cuando existen discontinuidades planas en la roca o en el suelo del talud, se acostumbra realizar el análisis de falla a traslación. Esta técnica asume el deslizamiento traslacional de un cuerpo rígido a lo largo de un plano o a lo largo de la intersección de dos planos, como el caso de la falla en cuña.



REFERENCIA: G. LOPEZ MANUEL, MANUAL DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Análisis de superficies curvas

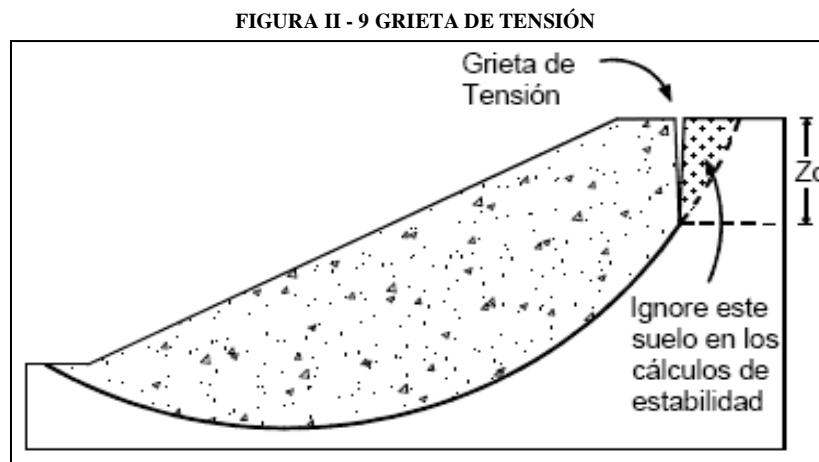
En los suelos o rocas blandas, las superficies de falla a deslizamiento, tienden a tener una superficie curva. A estas superficies se les conoce como “círculos de falla o superficies de falla rotacionales”. En los análisis de estabilidad, se debe determinar la localización de la superficie crítica de falla y el factor de seguridad a lo largo de esta superficie.



REFERERNCIA: G. LOPEZ MANUEL, MANUAL DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Las grietas de tensión

La existencia de grietas de tensión aumenta la tendencia de un suelo a fallar (Figura II-9); la longitud de la superficie de falla a lo largo de la cual se genera resistencia, es reducida y adicionalmente, la grieta puede llenarse con agua. En el caso de las lluvias, se pueden generar presiones de poros transitorias que afectan la estabilidad del talud.

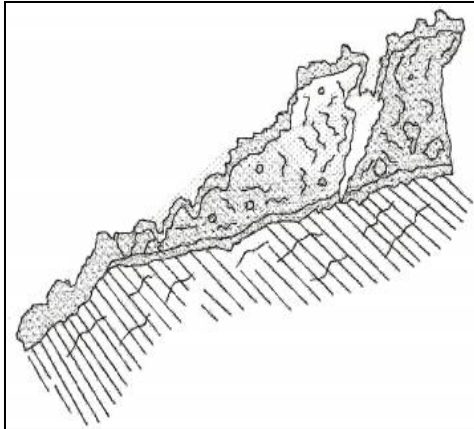


REFERERNCIA: G. LOPEZ MANUEL, MANUAL DE ESTABILIDAD DE TALUDES

2.4.1. FALLA PLANA (MÉTODO DE CULMANN).

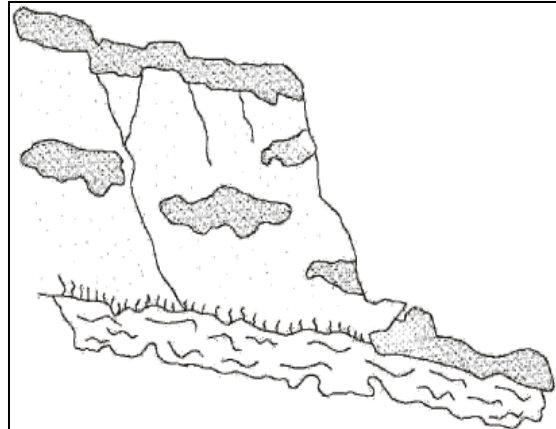
En este tipo de falla la masa de terreno se desplaza hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación.

FIGURA II – 10 (a) DESL. TRASLACIONAL



REFERENCIA: SUAREZ JAIME

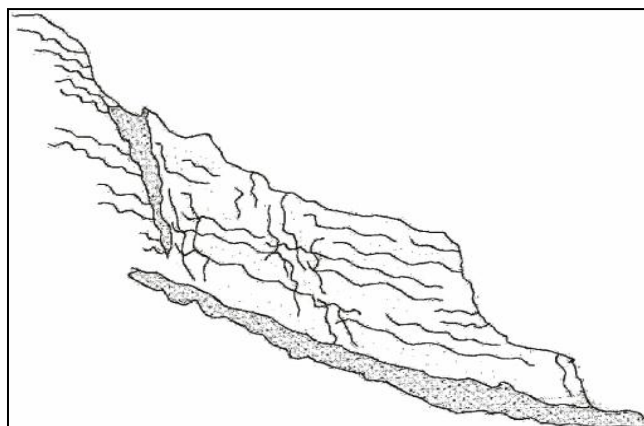
FIGURA II – 10 (b) DESL. CONTACTO SUELO - ROCA



REFERENCIA: SUAREZ JAIME

Comúnmente el movimiento de la masa deslizada hace que ésta quede sobre la superficie original del terreno. Los deslizamientos traslacionales están controlados por discontinuidades, influyendo la variación de la resistencia al corte entre estratos de diferente naturaleza, grado de meteorización, distintos tipos de relleno en discontinuidades, etc. Generalmente se desarrollan en macizos rocosos, con discontinuidades bien marcadas.

FIGURA II – 11 DESL. TRASLACIONAL EN MACIZO ROCOSO



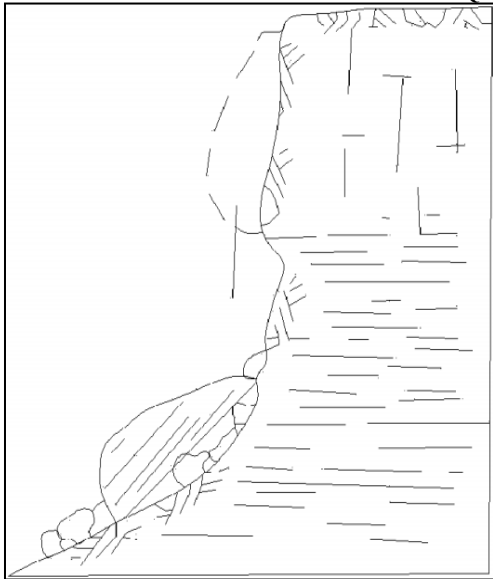
REFERENCIA: SUAREZ JAIME

Los desprendimientos son causados por socavación de taludes debido a los cortes que se realizaron para la ampliación de la sección típica y a la erosión de quebradas.

En macizos rocosos son causados por socavación debido a la erosión. En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial o caídas relevantes desde el punto de vista de la ingeniería, porque la caída de uno o varios bloques puede ocasionar daños a estructuras que se encuentren en la parte inferior y podría originar una destrucción masiva.

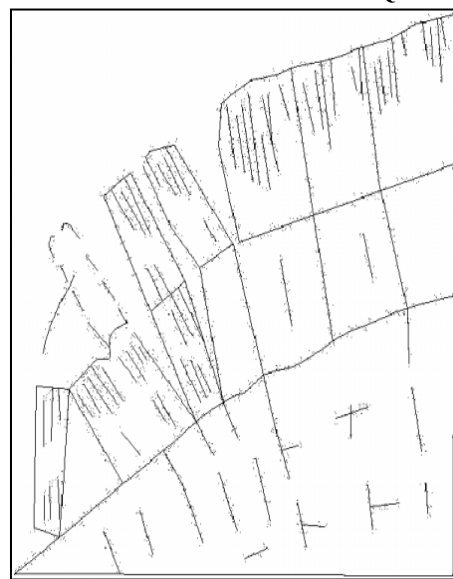
Los desprendimientos se producen comúnmente en taludes verticales o casi verticales en suelos débiles a moderadamente fuertes y en macizos rocosos fracturados. Generalmente, antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión.

FIGURA II -12 DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES



REFERENCIA: TOMADO DE MARGIELEWSKI

FIGURA II - 13 VOLCADURA DE BLOQUES



REFERENCIA: TOMADO DE MARGIELEWSKI

$$T_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 \left(\frac{\text{sen}(\beta-\theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \text{sen}\theta \quad 2.2.7$$

- b) Esfuerzo normal efectivo promedio y el esfuerzo cortante sobre el plano AC se expresa:

$$\delta'' = \frac{N_a}{(AC)*(1)} = \frac{N_a}{\left[\frac{H}{\text{sen}\theta} \right]} \quad 2.2.8$$

$$\delta'' = \frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta-\theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \cos\theta * \text{sen}\theta \quad 2.2.9$$

$$\tau = \frac{T_a}{(AC)*(1)} = \frac{T_a}{\left[\frac{H}{\text{sen}\theta} \right]} \quad 2.2.10$$

$$\tau = \frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta-\theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \text{sen}^2\theta \quad 2.2.11$$

- c) Esfuerzo cortante promedio resistente desarrollado a lo largo del plano AC también se expresa:

$$\tau_d = c_d + \delta'' \tan \phi_d \quad 2.2.12$$

$$\tau_d = c_d + \frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta-\theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \cos\theta * \text{sen}\theta * \tan \phi_d \quad 2.2.13$$

Igualamos las ecuaciones (2.2.11) y (2.2.13), tenemos

$$\frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta-\theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \text{sen}^2\theta = c_d + \frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta-\theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \cos\theta * \text{sen}\theta * \tan \phi_d \quad 2.2.14$$

$$c_d = \frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta-\theta) * (\text{sen}\theta - \cos\theta * \tan \phi_d)}{\text{sen}\beta} \right) \quad 2.2.15$$

La expresión en la ecuación (2.2.15) es derivada para el plano de falla de prueba AC.

Para determinar el plano crítico de Falla usamos el principio de los máximos y mínimos (para un valor dado de ϕ_d) para encontrar el ángulo θ en el que la cohesión desarrollada será máxima. La primera derivada de c_d con respecto a θ se hace igual a 0, o bien

$$\frac{\partial c_d}{\partial \theta} = 0 \quad 2.2.16$$

Como: γ , H y β son constantes en la ecuación (2.2.15) tenemos

$$\frac{\partial c_d}{\partial \theta} [\text{sen}(\beta - \theta) * (\text{sen } \theta - \cos \theta * \tan \phi_d)] = 0 \quad 2.2.17$$

Resolviendo la ecuación (2.2.17) obtenemos el valor crítico de θ , 0

$$\theta_{cr} = \frac{\beta + \phi_d}{2} \quad 2.2.18$$

Al sustituir el valor de $\theta = \theta_{cr}$ en la ecuación (2.2.15), obtenemos

$$c_d = \frac{1}{4} * \gamma * H * \left(\frac{1 - \cos(\beta - \phi_d)}{\text{sen} \beta * \cos \phi_d} \right) \quad 2.2.19$$

- d) La altura máxima del talud para la cual ocurre el equilibrio crítico se obtiene sustituyendo $c_d = c$ y $\phi_d = \phi$ en la ecuación (2.2.19). Entonces.

$$H_{cr} = \frac{4c}{\gamma} \left[\frac{\text{sen } \beta * \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \right] \quad 2.2.20$$

2.5. ELEMENTOS DE CONTENCIÓN AUXILIARES.

Consiste en la colocación de un muro de contención, con el fin de confinar la masa del suelo inestable. Para ello se debe verificar que la cimentación del muro queda por debajo del plano de falla, de modo que este lo intercepte, para ser dotado de un drenaje adecuado con el fin de canalizar las aguas hacia las salidas que se proyecten a través del muro.

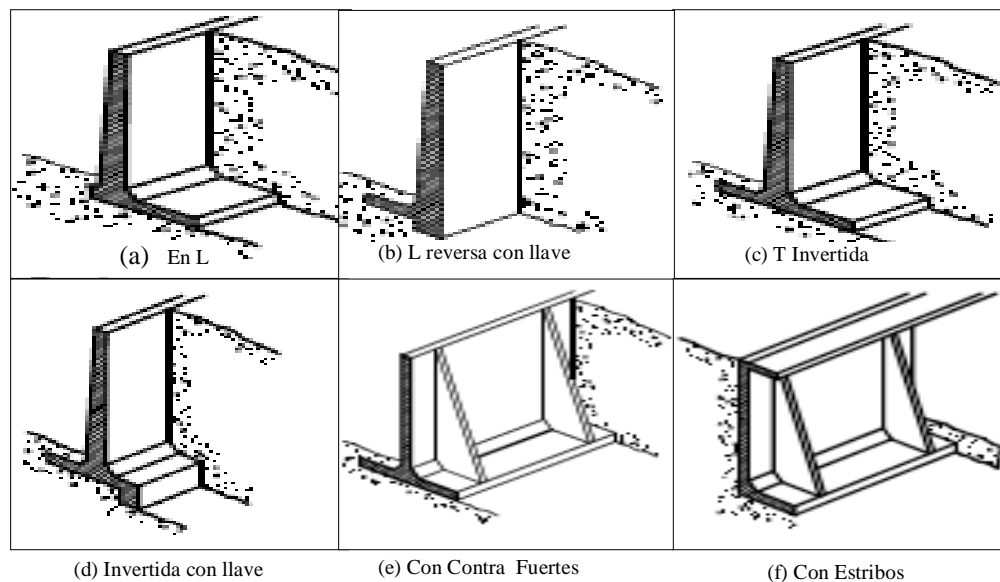
MUROS RÍGIDOS. Son estructuras rígidas, que generalmente se las hace de concreto, su principal función es la de soportar grandes deformaciones sin romperse, se sustentan sobre suelos competentes para poder transmitir esfuerzos desde su cimentación hasta el propio cuerpo del muro para generar fuerzas de contención.

Dentro de los muros rígidos, encontramos tres tipos de muros que son comúnmente conocidos: reforzados, concreto simple y los muros de concreto ciclópeo.

- a) *MURO REFORZADO.* Las estructuras de concreto reforzado resisten las presiones de la masa de suelo o tierra actuantes sobre el muro.

Existen los diferentes tipos de muro reforzado:

FIGURA II – 15 TIPOS DE MUROS DE CONTENCION ARMADO



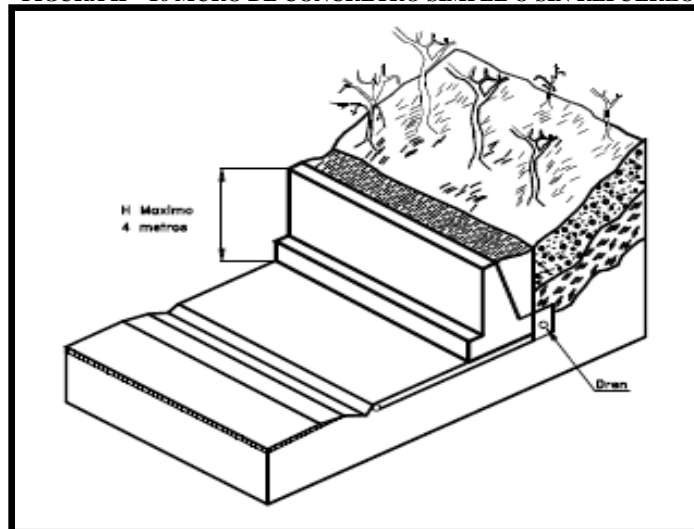
REFERENCIA: SUAREZ JAIME

Estos muros son económicos y viables hasta alturas de 8 m, para alturas mayores a esta los muros se vuelven muy costosos, puesto que mientras más alto el muro, mayor espesor se debe utilizar en la placa semi-vertical.

Las desventajas del concreto armado son que requieren de un buen terreno para su fundación, además de esto son antieconómicas en alturas muy grandes necesitando también de formas especiales, y son poco efectivos con deslizamientos de grandes masas de suelo debido a su poco peso propio.

- b) MURO DE CONCRETO SIMPLE.** Los muros de concreto simple son enormes masas de concreto que trabajan como estructuras rígidas y actúan como estructuras de peso o gravedad, no se recomienda su uso o empleo para alturas mayores a los 6 m debido al aumento en su costo y también a que este muro no puede soportar la presencia de esfuerzos de flexión provocando que exista roturas en la parte inferior del muro o dentro del propio cimiento.

FIGURA II – 16 MURO DE CONCRETO SIMPLE O SIN REFUERZO



REFERENCIA: SUAREZ JAIME, 1996

Su desventaja es que se vuelve antieconómico para alturas de más de tres metros, necesita de una buena fundación y un tiempo de curado para un trabajo efectivo y no soporta deformaciones importantes.

- c) *MURO DE CONCRETO CICLOPEO*. Este tipo de muro es una mezcla de concreto con cantos o bloques de roca dura, en la mayoría de los casos se utilizan mezclas de 60% de concreto y 40% de piedra, pero hay que tomar en cuenta que a mayor cantidad de piedra existe una mayor posibilidad de agrietamiento del muro por la presencia de zonas de debilidad estructural interna.

La desventaja del concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) es que no pueden soportar esfuerzos muy grandes de flexión.

MUROS MASIVOS FLEXIBLES. Son estructuras que se adaptan de manera flexible a cualquier tipo de movimiento, haciendo que su efectividad este en función directa de su peso y de la capacidad de soportar las deformaciones producidas por las cargas a las que será sometida sin que se rompa su estructura.

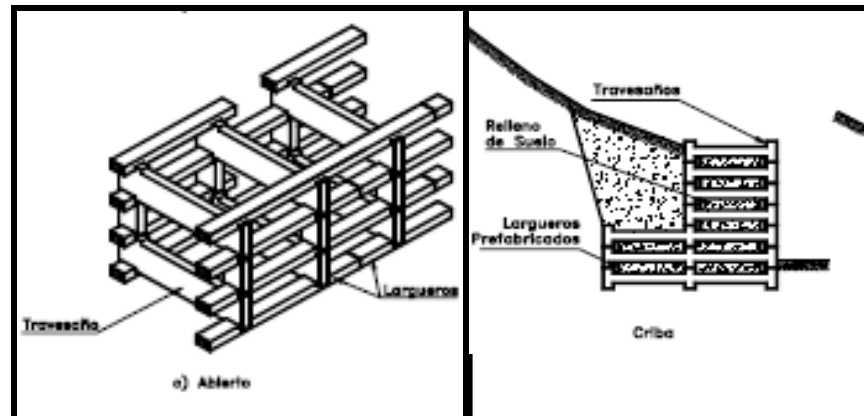
Dentro de los diversos tipos de muros flexibles tenemos de manera general los siguientes: gaviones, cribas, llantas (neusol) y piedras o pedraplenes.

- a) *GAVIONES*. Los gaviones son elementos constructivos constituidos por paralelepípedos o “cajas” de malla metálica rellenos con piedras o rocas de pequeño tamaño. Son utilizados para la conformación de muros y revestimientos, son muros flexibles que pueden soportar asentamientos diferenciales mayores que cualquier otro tipo de muros además es de fácil reparación.

Su construcción es económica y sencilla, son una de las soluciones para las presiones de agua y soportan además los movimientos sin perder su eficiencia y no requiere de mano de obra especializada.

- b) *CRIBAS*. Este tipo de muro es una estructura parecida a una caja formada por prefabricados, el espacio interior de las cajas es relleno con suelo granular permeable o roca para darle resistencia y peso, formando de esta manera un muro de gravedad.

FIGURA II - 17 ESQUEMA GENERAL DE LOS MUROS CRIBA



REFERENCIA: RODRIGUEZ C. EDUARDO, ESTABILIDAD DE TALUDES

- c) **LLANTAS (NEUSOL)**. Estos muros son hechos por llantas usadas, también se llaman Pneusol o Tiresoil y consisten en rellenos de suelo con llantas de caucho que son unidas entre sí por sogas de refuerzo de polipropileno o con el uso de elementos metálicos (Abramson 1996).

La desventaja de su construcción o de su utilización es que no existen procedimientos confiables para un buen diseño y por otro lado su vida útil es impredecible y hasta desconocida, haciendo de este tipo de muro, uno de los poco frecuentes en taludes de gran importancia o de gran tamaño con riesgos de deslizamientos grandes de masas de tierra.

FIGURA II - 18 MUROS DE LLANTAS

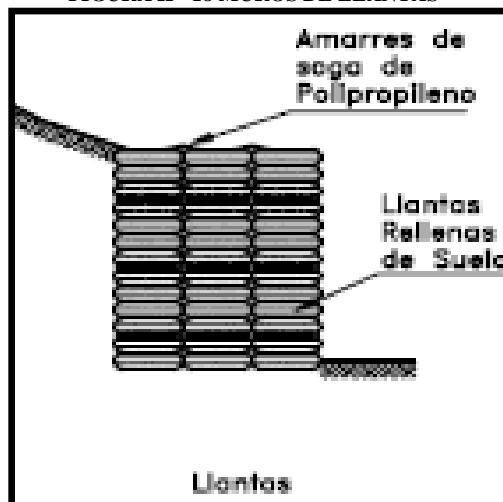
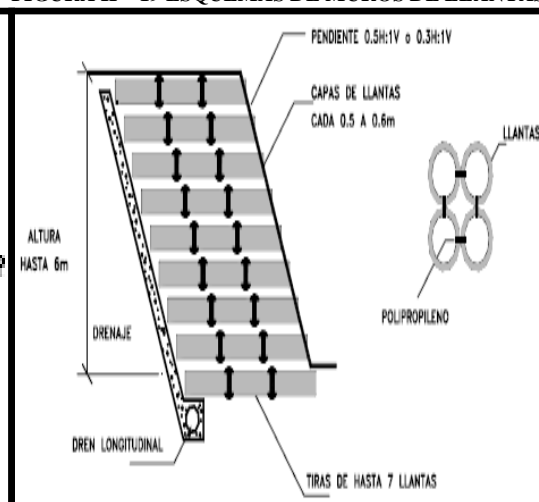


FIGURA II - 19 ESQUEMAS DE MUROS DE LLANTAS

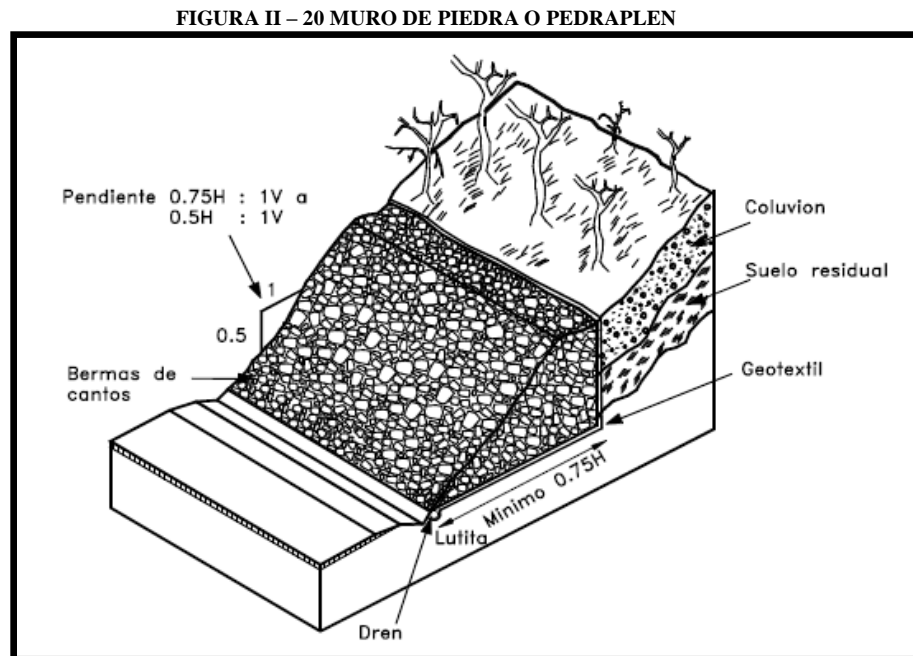


REFERENCIA: RODRIGUEZ C. EDUARDO, ESTABILIDAD DE TALUDES

d) *PIEDRA – PEDRAPLEN*. Los muros de este tipo son construidos con bloques o cantos grandes de roca, los cuales se colocan unos sobre otros en forma manual, el tamaño de las rocas superan generalmente las 3 pulgadas pudiendo utilizarse bloques de hasta 1 m de diámetro y su diseño consiste en determinar las dimensiones exteriores del terraplén.

El ancho de la base del pedraplen es superior o igual a su altura, el ángulo de inclinación de la pared exterior depende del tipo y tamaño de roca a utilizar, se pueden usar pendientes de hasta $1/6 H: 1V$, el ancho mínimo de la parte superior del muro es generalmente de 1 m.

Su desventaja es que necesitan de la utilización de cantos excesivamente grandes que en la mayoría de los casos no se encuentran disponibles, lo que a su vez los hace antieconómicos.



REFERENCIA: SUAREZ JAIME, 1998

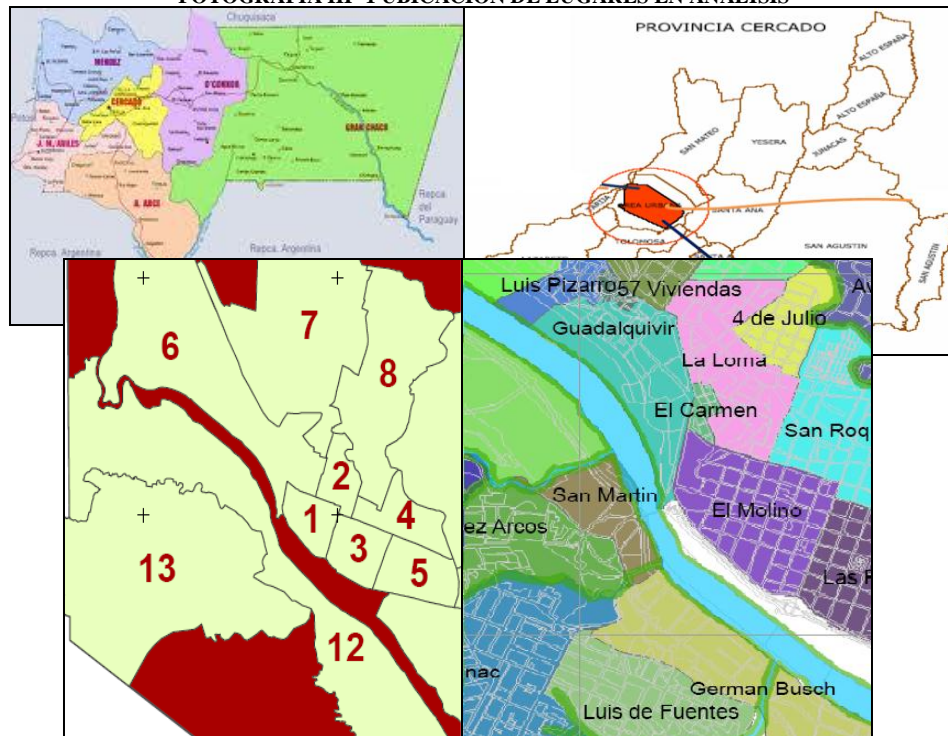
CAPÍTULO III

INFORMACIÓN TECNICA DEL TALUD

3.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE ESTUDIO.

Las zonas para este Proyecto de Investigación, se encuentra ubicado dentro de la ciudad de Tarija, en los distritos 6 y 12, el principal problema que existe a la hora de proyectar, cualquier tipo de construcción en la corona del talud, son los espacios para el habitad sin tomar en cuenta la estabilidad en la altura critica de taludes, ya que las características resistentes en ese suelo de nada servirán si se producen deslizamientos que pongan en peligro.

FOTOGRAFÍA III- 1 UBICACIÓN DE LUGARES EN ANALISIS



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

Los taludes seleccionados tienen diferentes estratos y/o variedades en su cuerpo, por lo que se justifica el estudio, para el análisis metodológico de determinar la altura crítica y reducir los espacios en la corona, por lo que las construcciones en la corona están propensas a los deslizamientos, de acuerdo a la carga que está sometido.

3.1.1 BARRIO LUIS PIZARRO

Está en el distrito 6 aproximadamente a unos 3 kilómetros de la Plaza principal Luis de Fuentes al noroeste. El talud seleccionado en este lugar es suficiente, para realizar el cálculo de la altura crítica, ya que se tiene muchas construcciones en la corona. Parece claro que la altura crítica depende tanto de su geometría y pendiente, como las propiedades del suelo que lo forma, ángulo de rozamiento interno y cohesión.

FOTOGRAFÍA III- 2 BARRIO LUIS PIZARRO



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

3.1.2 BARRIO SAN MARTÍN

Para el análisis metodológico se realizó en la Avenida principal, camino a Hotel los Parrayes que está en el distrito 12 aproximadamente a unos 2.5 kilómetros de la Plaza principal Luis de Fuentes al noroeste y al margen izquierdo del río Guadalquivir. La selección del talud en este lugar fue difícil por la variedad, que existen en el lugar y con diferentes extractos en su composición de las propiedades características.

FOTOGRAFÍA III- 3 BARRIO SAN MARTÍN



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

3.1.3 BARRIO GERMÁN BUSCH (QUEBRADA SAGREDO)

El lugar donde se realizo en la Quebrada Sagredo que se encuentra dentro del distrito 12 aproximadamente a unos 2.5 kilómetros de la Plaza principal Luis de Fuentes al Oeste. El talud seleccionado en este lugar es bastante accidentado por la condición topográfica e incrustada, por la vegetación y arbustos en el lugar con sus propiedades.

FOTOGRAFÍA III- 4 QUEBRADA EL SAGREDO



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

3.2 RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO DESCRIPTIVO.

El relevamiento fotográfico es fundamental, debido a que describe las características geométricas del talud, compuesta por una serie de variedades de los materiales existentes en toda la superficie, desde el pie, pasando por el cuerpo y hasta la corona del talud. Las condiciones del talud son bastante pequeñas por las restricciones en la corona, debido a que los espacios son mininos, por la utilidad de los pobladores en la zona.

FOTOGRAFÍA III-5 TALUD BARRIO SAN MARTÍN (Av. Los Sauces)



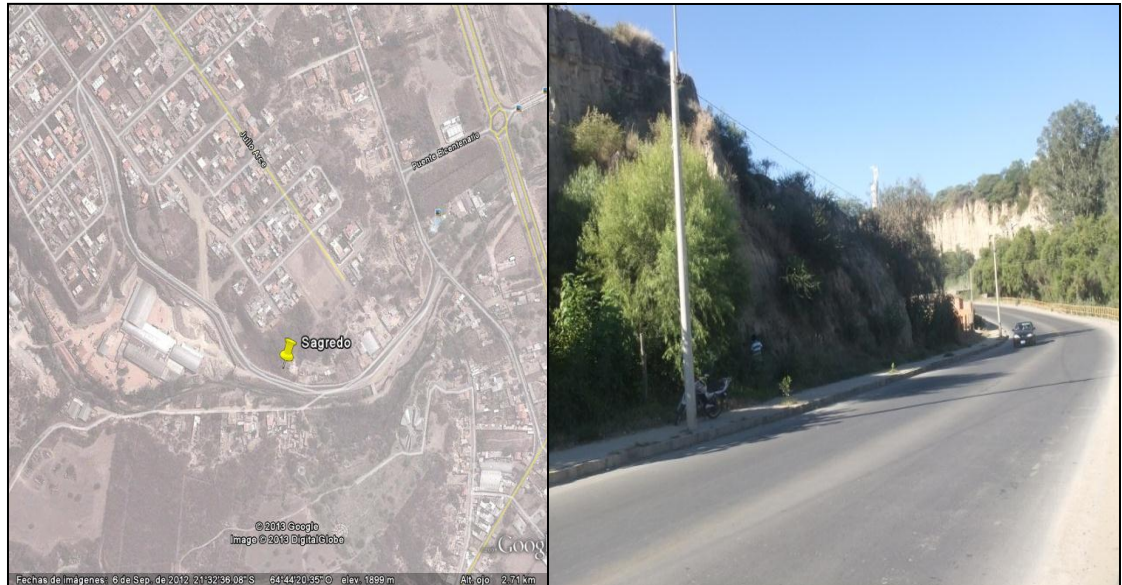
REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

El talud en el Barrio San Martín Avenidas los Sauces tiene una pendiente bastante fuerte con deslizamientos de los materiales no cohesivos, obstaculizando en menor medida la circulación de los vehículos que circulan por la vía. Los materiales en la corona es la presencia de: arbustos, materiales orgánicos, arenas muy finas y otros sin ninguna consideración.

FOTOGRAFÍA III- 6 TALUD BARRIO LUIS PIZARRO**REFERENCIA: ELABORACION PROPIA**

En este lugar el talud es natural, sin ninguna intervención artificial, las relieves que se muestra (Fotografía III-6) es natural, formado por los agentes climáticos, con adecuación para ser salud, por tal razón existe una construcción de vivienda, bastante precaria en el medio del talud, ya que se trata de una familia de recursos no suficientes, para una mejor habitad.

Según la información se trata de una verde nominal del municipio, pero con la dejadez de recuperar el sitio y así evitar la inseguridad de la construcción existente de los pobladores.

FOTOGRAFÍA III - 7 TALUD QUEBRADA SAGREDO**REFERENCIA: ELABORACION PROPIA**

El lugar es bastante variado, debido a que existe una combinación entre natural y artificial, con presencia de vegetaciones considerables a menudo de arbustos y con alto contenido de material orgánico, los estratos son finos arcillosos con una presencia rara de material blanquecina en la parte del costado, el lugar es de propiedad privada y en parte mínima es de la Institución Municipal.

3.3 RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO.

La topografía en el área de análisis de taludes para zonas urbanas, tiene unas características muy distintas debido a se presenta principalmente la existencia de taludes finitos, que se intercalan con las construcciones en la corona del talud, teniendo sentido norte sur y presentan variaciones entre los 1857.151 msnm y 1915 msnm.

Dichos taludes finitos se presentan en lugares críticos dentro de la ciudad de Tarija a lo largo de la mancha urbana especialmente en barrios periféricos, el estudio para determinar la altura crítica, dando lugar a la presencia de cortes en taludes naturales debido al alineamiento de las calles que realiza el Desarrollo de Ordenamiento Territorial.

El levantamiento topográfico enfoca el trabajo, primeramente en trazar puntos referenciales fijos de los cuales con disparos radiales se puede realizar la información en detalle de todo el relieve del lugar, en este caso el plano principal que se requiere es un plano de las curvas de nivel en detalle y de manera general, que combine la plataforma de la calzada y el talud a ser analizado.

3.3.1 PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS.

La topografía de los taludes urbanos tienen pendientes causados por la intervención natural o artificial por ejemplo: por socavación del talud, por erosión o excavaciones.

Excepcionalmente los ángulos de los taludes urbanos son el resultado de los efectos tectónicos, tales como asentamientos o levantamientos de la corteza terrestre. El aumento en la pendiente de los taludes produce un cambio en los esfuerzos internos de la masa y las condiciones de equilibrio son alteradas por los incrementos en los esfuerzos cortantes. También es importante saber cuándo un talud es producto del corte para habilitar las vías o calzadas para la circulación de todos los usuarios en zonas urbanas.

TALUDES BÁSICOS EN ZONAS URBANAS. Se clasifican de acuerdo a sus características geométricas y su origen.

a) *Según su altura.*- Se distingue entre taludes medias, de formas generalmente redondeadas a consecuencia de diferencias de altura escasa, y taludes altas, de formas agudas y pendientes abruptas, consecuencia de una erosión intensa determinada por el carácter energético del relieve.

b) *Según su forma y extensión.*- Se distinguen los taludes con una serie de paralelas a las calzadas o menos igual, en todas las direcciones.

c) *Según su origen.*- Se distinguen por las formas plegadas y el agrupamiento de las cadenas falladas o fracturadas, son las que determinan los rasgos esenciales de la estructura.

FOTOGRAFÍA III - 8 TALUD ARTICIAL



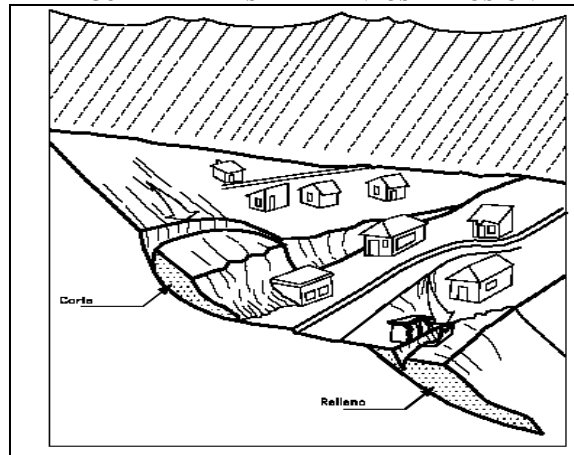
FOTOGRAFÍA III - 9 TALUD NATURAL



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

Fotografía III-13. Los cortes pueden generar deslizamientos debido a los cambios de: esfuerzos, infiltración de agua y puede dejar al descubierto una discontinuidad o un plano de estratificación, para provocar un movimiento aun en taludes de pendientes suaves. Pero los taludes naturales no varían mucho en su geometría y la superficie, en la explanación para una urbanización.

FIGURA III - 1 DESLIZAMIENTOS Y EROSIÓN

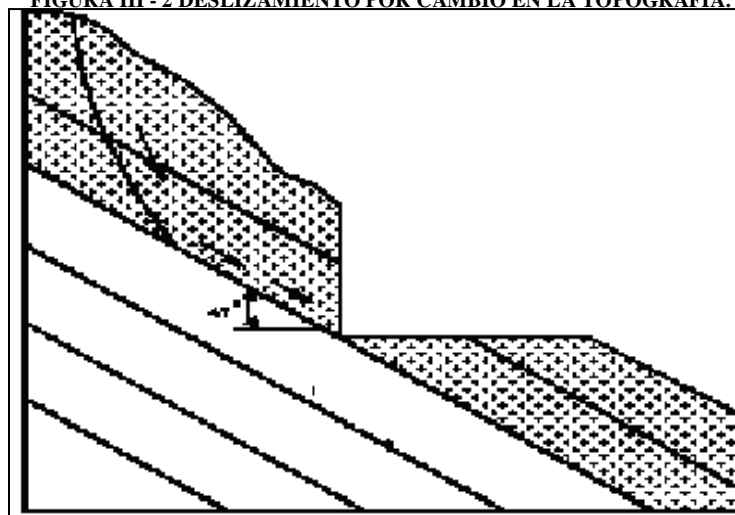


REFERENCIA: GARCIA LOPEZ MANUEL

Los movimientos de tierras en la Avenida los Sauces Barrio San Martín, generan cambios topográficos y concentración de esfuerzos de cortante, las ocasiones descubren superficies críticas por el corte para la circulación; vehicular, peatonal. La vegetación en la corona es notoria y el deslizamiento como estratificación, fracturas en los planos.

El fenómeno incluye una relajación de los niveles de esfuerzos a compresión y un aumento de los esfuerzos al corte, una exposición del material meteorizado al aire y a los cambios de humedad, alteración de propiedades por cambios físico - químicos causados por la exposición al aire y a la humedad.

FIGURA III - 2 DESLIZAMIENTO POR CAMBIO EN LA TOPOGRAFÍA.



REFERENCIA: GARCIA LOPEZ MANUEL

3.4 MUESTREO DE SUELOS.

La toma de muestras para el análisis respectivo en laboratorio, parte primeramente de la identificación y selección del talud de investigación como es el caso los taludes, en los Barrios de: Luis Pizarro, San Martín y Germán Busch (Quebrada el Sagredo). Para posteriormente realizar la toma de muestras que sean representativas, es decir que la muestra tomada nos muestre el o los materiales que conforman los taludes de dicho lugar, que de esta manera obtener resultados reales.

El trabajo está enfocado en definir tres aspectos fundamentales que son:

a. Trabajo de Campo.

Consiste en referirse a la zona de estudio para realizar los muestreos necesarios de suelo considerando todos los aspectos normativos que implica esta investigación.

El muestreo de los suelos de Talud; debe realizarse en talud, donde existen lugares convenientes, según la visualización, es ahí donde se aprovecha para la extracción de los materiales en las cantidades necesarias que requieren los ensayos.

Se consideró que las humedades naturales son valor importante en el cálculo por lo que se procedió con el cuidado necesario y poder obtener esos datos en el sitio.

b. Trabajo de Laboratorio.

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, la Densidad In-Situ se realizó con densímetro nuclear (Troxler serie N° 3440), que fueron facilitados por Servicio Departamental Caminos (SEDECA) y el detalle de los ensayos en su número fue el siguiente.

Cuadro III - 1: Número de ensayos por área

Ensayos realizados	Talud B. Luis Pizarro	Talud B. San Martin	Talud Q. Sagrado
Humedad	3	3	3
Granulometrías	3	3	3
Limites	3	3	3
Clasificación AASHTO	3	3	3
Clasificación SUCS	3	3	3
Compactación T- 180	1	1	1
Densidad In-Situ	2	2	3
Angulo de Fricción	3	1	3
Cohesión	3	1	3

REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

Desde luego el detalle normativo de los ensayos ejecutados en el laboratorio no se encuentra en el cuadro Investigación por tratarse de constantes que no cambian en todas las investigaciones y servicios realizados por el laboratorio.

Las planillas de todos los ensayos numerados que se realizaron se encuentran en el anexo de este Proyecto de Investigación.

3.4.1 DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE PARÁMETROS DE SUELOS REQUERIDOS.

Trabajo de cálculo de parámetros necesarios.

Obviamente con los parámetros y resultados obtenidos en laboratorio, se procedió al cálculo de la altura crítica de los taludes y se definen a continuación.

Cuadro III - 2: Parámetros

Nº	Parámetros
1	Peso específico natural
2	Peso de la cuña
3	Esfuerzo Normal Efectivo Promedio
4	Esfuerzo Cortante Promedio
5	Esfuerzo Cortante Promedio Resistente
6	Cohesión del Suelo
7	Angulo de Fricción interna
8	Altura Critica

REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

3.5 IDENTIFICACIÓN DE HÁBITAT.

El acelerado crecimiento urbana que experimenta la ciudad de Tarija, desde la década de los 85's ha implicado el uso de suelos sin ninguna precaución y con alto grado de dificultad y/o conocimiento, para el que está destinado.

En los lugares que se seleccionó para realizar el presente proyecto, los habitantes tienen ansías de ganar los espacios y/o reducir, para el beneficio de cada uno de los que buscan un espacio de habitad, sin importar el peligro de las condiciones del estrato en el talud del lugar.

El área urbana consolidada se muestra dilatada por los disparejos topográficos en el lugar de investigación de la zona urbana, siendo una de sus mayores características las discontinuidades del relieve en el tejido urbano, pendientes fuertes y otras características de cuestiones dentro del análisis.

En este marco se definen el conjunto de taludes, que son altamente funcionales en la estructura y la composición del condicionante para el análisis de la altura crítica

3.5.1 SOBRE LA CORONA DEL TALUD.

El habitad en la corona y próximos al talud, existe varias sin ninguna precaución por la necesidad de tener una vivienda (Figura III-3), por lo que las instituciones competentes no regulan las condiciones de habitad y garantizar la seguridad, de los beneficiarios que ponen en riesgo, la vida de cada uno de los habitantes en dichos viviendas.

En los lugares existen muchas construcciones como también área nominal, por lo que el Departamento de Urbanización dependiente de la Alcaldía de la Ciudad de Tarija no regula, tampoco concientiza a los posteriores beneficiarios de los más necesitados por los espacios que exigen para la habitad y construir la vivienda, de acuerdo especificaciones técnicas. Los materiales son muy variados en la superficie, predominando los suelos finos y arbustos con alto contenido de material orgánico, en algunos casos suelos no plásticos, por la presencia minina de arenas muy finas.

FOTOGRAFÍA III – 10 CORONA DEL TALUD AV. LOS SAUCES (B/SAN MARTÍN)



REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

3.5.2. EN LA BASE DE TALUD.

No existe ninguna construcción de habitad, por la existencia de la calzada en el lugar, y el uso respectivo para la circulación de los: vehículos, peatones, etc. La vía de circulación vehicular está con pavimentos y algunos con solo empedrado, sin ningún tratamiento en su estructura provocando deformaciones bastante notorias en la capa rodadura, ya que provocan la inseguridad en el talud para el análisis de la estructura en zonas urbanas.

La calzada es la parte fundamental para el análisis del talud, porque está situado al pie de la estructura, donde el nivel en la sub rasante es cero, en el proceso de cálculo y la determinación geométrica, topográfica de la superficie del análisis.

FOTOGRAFÍA III - 11 AV. LOS SAUCES



FOTOGRAFÍA III – 12 AV. Q. SAGREDO



REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

3.6. IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES RESTRICTIVAS.

La Dirección de Desarrollo Urbano dependiente de la alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija y la provincia Cercado, recomienda al habitad que estén próximos a taludes con las construcciones de viviendas, considerar los espacios de acuerdo a la zona o categorización del uso del suelo para áreas urbanas, pero sin ninguna especificación sobre las alturas críticas en taludes.

Por la seguridad de los habitantes es considerar los lugares críticos, para una mejor condición del habitad en los espacios, de acuerdo a la proposición técnica, estable en su estructura como al pie y en la corona que están constituida por la carga de los pobladores.

3.6.1. CONDICIONES URBANAS.

En el área urbana son variados debido a las condiciones topográficas de cada lugar y/o zona, por las variaciones en el relieve como ser: la altimetría, planimetría y protecciones naturales de vegetación con estratos finos del lugar.

Las características urbanas es muy variado por la necesidad, de abarcar un espacio en la corona con construcciones para el habitad sin tomar en cuenta la seguridad de cada uno de los beneficiarios para apropiarse del espacio.

Las protecciones y mantenimientos son mínimas en lugares de propiedad privada por falta de recursos económicos en pobladores, todo lo contrario es en sitios públicos dependiente da la municipalidad, evitando el deslizamiento de los estratos hacia las Avenidas y Calles principales para evitar la obstaculización de los transeúntes del lugar.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA ALTURA CRÍTICA

4.1. ANÁLISIS GENERAL.

La altura crítica en taludes urbanos, no es considerada debido a una falta de propuesta técnica de acuerdo a las características del suelo que presentan en la zona, con limos arcillosos de cohesión elevada y la fricción interna es mínima por las propiedades físicas que presenta según el análisis teórico práctico de las muestras del lugar, las arenas finas con cohesiones nulas, por la presencia de partículas granulares muy finas en su composición física, pero es todo lo contrario con la fricción interna debido a que las muestras son de bastante rozamiento entre sí, cuando existe los deslizamientos por la proposición de la carga en la corona u otros fenómenos naturales, como ser la filtración hacia los interiores del cuerpo del talud.

Las zonas identificadas están con una vegetación de arbustos, plantines ya que estos últimos pertenecen a un área verde nominal del municipio de la ciudad de Tarija, que están compuestos por plantas: frutales, domesticas, selváticas, decorativas, etc. Todas las vegetaciones son desfavorables en el talud para zonas urbanas debido a que pueden provocar fallas en el cuerpo y pérdidas de estabilidad en la estructura del cuerpo.

4.1.1. TOPOGRÁFICO.

En el lugar se caracterizó el levantamiento de puntos para lugares críticos, estacionando en un punto visible y seguro al costado de la calzada (FOTOGRAFIA IV-1).

FOTOGRAFÍA IV – 1 ESTACIÓN TOTAL (SOKKIA)



REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

Desde el punto de estacionamiento, se realiza la lectura para la lluvia de puntos, tomando referencia la parte baja y alta del talud para cada zona.

FOTOGRAFÍA IV – 2 LECTURA DE PUNTOS



REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

Todo el desarrollo de la información del levantamiento topográfico se incluye en el anexo con listas bien detalladas las coordenadas de cada punto de los lugares seleccionado para este proyecto.

Trabajo de Gabinete

Procesamiento de la información Topográfica

Toda la información obtenida del levantamiento topográfico fue introducida en un programa especializado: Auto CAD, para generar Curvas de nivel, vista en planta y el perfil longitudinal, el último en Auto CAD Land, que es una herramienta avanzada, que nos ayuda mucho simplificando el tiempo de trabajo.

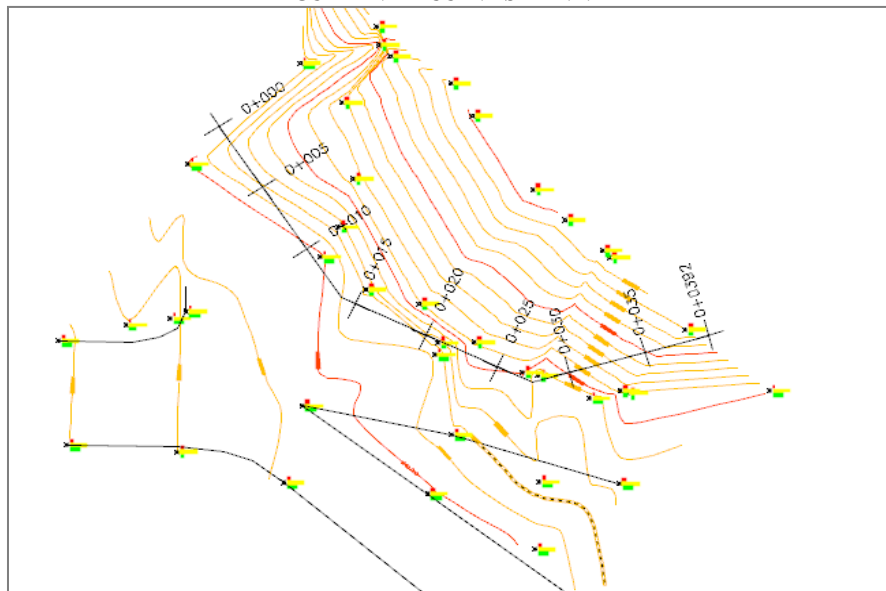
Dentro del trabajo de gabinete se realizaron los siguientes planos:

- Plano en Planta
- Plano de Perfil Longitudinal

Curvas de Nivel

Las curvas de nivel, se genera cada metro, en la representación del lugar, con todos los detalles como ser: vista en planta, elevación, distancia, ángulo de inclinación y los puntos de ubicación para el desarrollo de la altura máxima.

FIGURA IV - 1 CURVAS DE NIVEL



REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA (B/LUIS PIZARRO, TARIJA 2013)

4.1.2. LABORATORIO DE SUELOS.

Este trabajo está orientado a conocer la distribución granulométrica de las partículas que constituyen los diferentes estratos en el talud proporcionando un nivel de referencia, con las propiedades físicas y mecánicas de los ensayos que se realizan para obtener el resultado.

FOTOGRAFÍA IV – 3 LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGÓN



REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

La relación de ensayos de laboratorio es la siguiente:

- ✓ Humedad Natural.
- ✓ Granulometría.
- ✓ Límites de Atterberg:
 - Límite líquido
 - Límite plástico
 - Índice de Plasticidad

- ✓ Clasificación AASHTO.
- ✓ Compactación AASTHO T-180:
 - Densidad máxima
 - Humedad óptima
- ✓ Densidad In-Situ.

Humedad Natural

Las humedades naturales de las muestras obtenidas en campo son suelos de los taludes que se detallan a continuación:

Barrio Luis Pizarro:

Muestra N°1 (Parte Superior) \Longrightarrow	8.60 %	} Promedio = 5.70 %
Muestra N°2 (Parte Media) \Longrightarrow	2.58 %	
Muestra N°3 (Parte Baja) \Longrightarrow	5.91 %	

Barrio San Martín:

Muestra N°1 (Parte Superior) \Longrightarrow	4.25 %	} Promedio = 4.43 %
Muestra N°2 (Parte Media) \Longrightarrow	2.83 %	
Muestra N°3 (Parte Baja) \Longrightarrow	6.23 %	

Quebrada Sagredo:

Muestra N°1 (Parte Superior) \Longrightarrow	16.25 %	} Promedio = 11.06 %
Muestra N°2 (Parte Media) \Longrightarrow	11.74 %	
Muestra N°3 (Parte Baja) \Longrightarrow	5.19 %	

Granulometría. La determinación de la granulometría se realiza por el método del lavado para suelos finos de acuerdo a las características del lugar.

FOTOGRAFÍA IV – 4 MUESTRA SATURADA DEL TALUD LUIS PIZARRO



REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

El ensayo granulométrico muestra que los suelos de los taludes son variables con predominancia de suelos finos, limosos y arcillosos.

Límite de Atterberg

Después de haber realizado los ensayos de granulometría se efectuaron los límites de consistencia de las muestras obtenidas del tramo en estudio.

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

FOTOGRAFÍA IV – 5 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

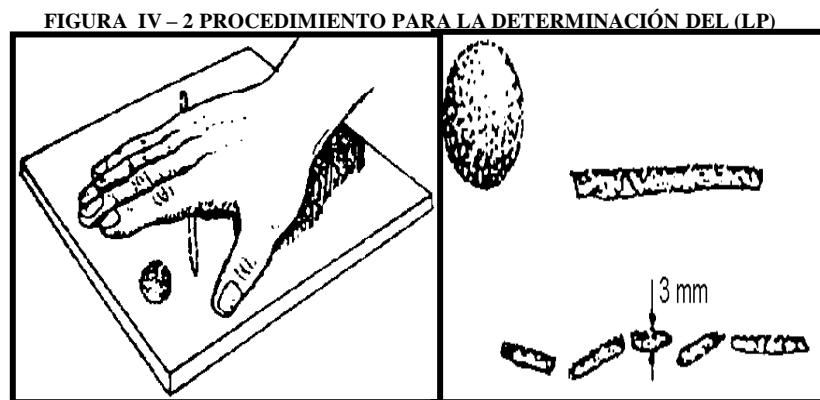


FOTOGRAFÍA IV -6 ENSAYO LIMITE LIQUIDO



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

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



REFERENCIA: BRAJA M. DAS

Barrio Luis Pizarro:

Muestra N°1 (Parte Superior) \Rightarrow LL= 37 % LP= 25 % IP= 11 %

Muestra N°2 (Parte Media) \Rightarrow LL= 46 % LP= 28 % IP= 18 %

Muestra N°3 (Parte Baja) \Rightarrow LL= 42 % LP= 24 % IP= 18 %

Barrio San Martín:

Muestra N°1 (Parte Superior) \Rightarrow NO PLASTICO

Muestra N°2 (Parte Media) \Rightarrow NO PLASTICO

Muestra N°3 (Parte Baja) \Rightarrow LL= 36 % LP= 28 % IP= 7 %

Quebrada Sagredo:

Muestra N°1 (Parte Superior) \Rightarrow LL= 58 % LP= 47 % IP= 11 %

Muestra N°2 (Parte Media) \Rightarrow LL= 58 % LP= 48 % IP= 9 %

Muestra N°3 (Parte Baja) \Rightarrow LL= 39 % LP= 29 % IP= 10 %

Clasificación (AASTHO y S.U.C.S.)

En el mismo se puede observar que los suelos predominantes de los taludes son finos, la siguiente clasificación es:

Barrio Luis Pizarro:

Muestra N°1 (Parte Superior) \iff Suelos: A-6(3); ML – CL

Muestra N°2 (Parte Media) \iff Suelos: A-7-6(12); CL

Muestra N°3 (Parte Baja) \iff Suelos: A-7-6(9); CH – OH

Barrio San Martín:

Muestra N°1 (Parte Superior) \iff Suelos: A-3(0); SP

Muestra N°2 (Parte Media) \iff Suelos: A-2-4(0); SM

Muestra N°3 (Parte Baja) \iff Suelos: A-4(2); ML – OL

Quebrada Sagredo:

Muestra N°1 (Parte Superior) \iff Suelos: A-7-6(12); CH – MH

Muestra N°2 (Parte Media) \iff Suelos: A-5(12); MH – OH

Muestra N°3 (Parte Baja) \iff Suelos: A-4(8); ML – OL

Compactación T-180

En correspondencia con su tipología las densidades máximas de los suelos de taludes son:

Barrio Luis Pizarro:

Muestra N°1 (Parte Media) \Longrightarrow Suelos: A-7-6(12); CL

- Densidad Máxima = 1.81 gr/cm³
- Humedad Optima = 17.34 %

Muestra N°2 (Parte Baja) \Longrightarrow Suelos: A-7-6(12); CH – OH

- Densidad Máxima = 1.89 gr/cm³
- Humedad Optima = 17.10 %

Barrio San Martín:

Muestra N°1 (Parte Media) \Longrightarrow Suelos: A-2-4(0); SM

- Densidad Máxima = 1.94 gr/cm³
- Humedad Optima = 12.40 %

Muestra N°2 (Parte Baja) \Longrightarrow Suelos: A-4(2); ML – OL

- Densidad Máxima = 2.01 gr/cm³
- Humedad Optima = 12.20 %

Quebrada Sagredo:

Muestra N°1 (Parte Superior) \Longrightarrow Suelos: A-7-6(12); CH – MH

- Densidad Máxima = 1.96 gr/cm³
- Humedad Optima = 11.26 %

Muestra N°2 (Parte Media) \Longrightarrow Suelos: A-5(12); MH – OH

- Densidad Máxima = 1.91 gr/cm³
- Humedad Optima = 11.12 %

Muestra N°3 (Parte Baja) \implies Suelos: A-4(8); ML – OL

- Densidad Máxima = 1.87 gr/cm^3
- Humedad Optima = 11.30 %

Densidad In Situ.- la cantidad de masa que contiene un determinado volumen en su estado natural en su sitio del talud.

FOTOGRAFIA IV – 7 DENSÍMETRO NUCLEAR (TROXLER SERIE N° 3440) LUIS PIZARRO



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

Barrio Luis Pizarro:

Parte Superior

- Densidad Seca = 1.816 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.987 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 92.04 %

Parte Media

- Densidad Seca = 1.807 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.973 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 99.8 %

Parte Baja

- Densidad Seca = 1.352 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.555 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 71.5 %

Barrio San Martín:

Parte Superior

- Densidad Seca = 1.539 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.641 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 78.01 %

Parte Media

- Densidad Seca = 1.554 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.743 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 80.1 %

Parte Baja

- Densidad Seca = 1.541 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.686 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 77.1 %

Quebrada Sagredo:

Parte Superior

- Densidad Seca = 1.482 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.523 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 77.7 %

Parte Media

- Densidad Seca = 1.394 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.658 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 73 %

Parte Baja

- Densidad Seca = 1.591 gr/cm^3
- Densidad Húmeda = 1.817 gr/cm^3
- Grado de Compactación = 85.1 %

Ángulo de Fricción Interna y Cohesión.- las muestras extraídas del campo se adecuan en un molde de 60 x 60 mm sin alterar su estado natural, luego introducir en la máquina de corte directo, donde el suelo se deja saturar 24 horas y tener un resultado adecuado.

FOTOGRAFÍA IV -8 MUESTRA, MOLDE Y MÁQUINA DE CORTE



REFERENCIA: ELABORACION PROPIA

Cuadro IV - 1: RESULTADOS OBTENIDOS

UBICACIÓN		TIPO DE SUELO	COHESIÓN DEL SUELO (Tn/m ²)	ANG. DE FRICCIÓN INTERNA (°)
B/LUIS PIZARRO	SUPERIOR	A-6(3) (ML – CL)	2.03	17
	MEDIA	A-7-6(12) (CL)	0.88	16
	BAJA	A-7-6(9) (CH – OH)	0.76	21
B/SAN MARTIN AV. LOS SAUCES	SUPERIOR	A-3(0) (SP)	0.00	27
	MEDIA	A-2-4(0) (SM)	0.00	28
	BAJA	A-4(2) (ML – OL)	0.84	26
B/ G. BUSCH Q. SAGREDO	SUPERIOR	A-7-6(12) (CH–MH)	1.38	15
	MEDIA	A-5(12) (MH – OH)	2.03	16
	BAJA	A-4(8) (ML – OL)	0.97	19

REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA

4.2. ANÁLISIS DEDUCTIVO (MÉTODO CULMANN).

Cuando el valor de H_{cr} tiende a la altura del talud, este es considerado generalmente como finito. Por su simplicidad, al analizar la estabilidad de un talud finito en un suelo homogéneo, tenemos que hacer una suposición acerca de la forma general de la superficie potencial de la falla.

Para determinar la altura crítica utilizamos la siguiente ecuación ya deducida en el Capítulo II. Entonces será:

$$H_{cr} = \frac{4c}{\gamma} \left[\frac{\sin \beta * \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \right]$$

Donde:

C = Cohesión del Suelo (Tn/m²)

γ = Peso específico del Suelo (Tn/m³)

β = Angulo de inclinación del Talud (°)

ϕ = Angulo de Falla (°)

4.3. CONDICIONES DEL FACTOR DE SEGURIDAD, PARA DETERMINAR LA ALTURA CRÍTICA.

Las condiciones del factor de seguridad contra falla a lo largo del plano se consideran elementos propios de cada talud en análisis, cuando las fuerzas que actúan sobre el plano de caras verticales son iguales y opuestas.

La determinación del factor de seguridad se procede con la deducción de las siguientes ecuaciones.

- a. El valor del esfuerzo normal efectivo se da por la ecuación:

$$\tau_d = c_d + \gamma * H * \cos^2 \beta \tan \phi_d \quad 4.3.1$$

$$c_d + \gamma * H * \cos^2 \beta \tan \phi_d = c_d + \gamma * H * \cos^2 \beta \tan \phi_d \quad 4.3.2$$

$$\frac{c_d}{\gamma H} = \sin \beta \cos \beta - \cos^2 \beta \tan \phi_d \quad 4.3.3$$

$$\frac{c_d}{\gamma H} = \cos^2 \beta (\tan \beta - \tan \phi_d) \quad 4.3.4$$

El factor de seguridad con respecto a la resistencia se define

$$\tan \phi_d = \frac{\tan \phi}{FSS} \quad y \quad C_d = \frac{c}{FSS} \quad 4.3.5$$

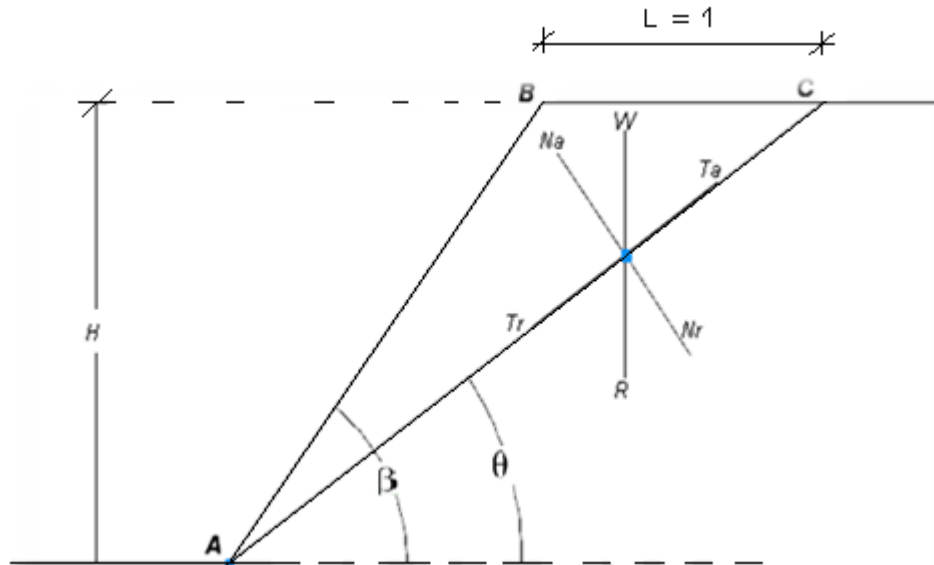
Sustituyendo las relaciones anteriores en la ecuación (4.3.4), obtenemos:

$$FSS = \frac{c}{\gamma H \cos^2 \beta \tan \phi_d} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad 4.3.6$$

4.3.1. CÁLCULO DE LA ALTURA CRÍTICA H_{CR} , EN LOS TALUDES ANALIZADOS.

Para el cálculo de la altura crítica de los lugares en análisis se realiza con la ecuación ya deducida en el anterior capítulo, por lo tanto se procede a desarrollar.

Datos de Campo (Barrio Luis Pizarro Parte media):



Tipo de suelo = A - 7 - 6(12)

Altura del Talud (H) = 36.70 m.

Ángulo de inclinación del Talud (β) = $43^\circ = 0.750$ rad.

Densidad seca (ρ) = Peso específico suelo seco (γ) = 1.807 Tn/m³

Ángulo de Falla (θ) = $15.844^\circ = 0.277$ rad.

Cohesión (C) = 0.8828 Ton/m²

Desarrollo:

$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * \left(\frac{\text{sen}(\beta - \theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right)$$

$$W = 846.394 \text{ Tn} \quad (\text{Carga})$$

$$N_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 \left(\frac{\text{sen}(\beta - \theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \cos\theta$$

$$N_a = 2869.045 \text{ Tn (Componente Normal)}$$

$$T_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 \left(\frac{\text{sen}(\beta - \theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \text{sen}\theta$$

$$T_a = 814.238 \text{ Tn (Componente Tangencial)}$$

$$\delta'' = \frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta - \theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \cos\theta * \text{sen}\theta$$

$$\delta'' = 21.346 \text{ Tn/m}^2 \text{ (Esfuerzo normal efectivo Promedio)}$$

$$\tau = \frac{1}{2} * \gamma * H * \left(\frac{\text{sen}(\beta - \theta)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\theta} \right) * \text{sen}^2\theta$$

$$\tau = 6.058 \text{ Tn/m}^2 \text{ (Esfuerzo Cortante Promedio)}$$

$$H_{cr} = \frac{4c}{\gamma} \left[\frac{\sin \beta * \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \right]$$

$$\mathbf{H_{cr} = 11.631 m}$$

A Continuación se presenta los resultados obtenidos en los lugares de análisis de acuerdo a los datos obtenidos del campo y luego en el laboratorio mediante los ensayos realizados para la determinación de la altura crítica.

a) BARRIO LUIS PIZARRO:

H = 36.70 m (Progresiva 0+010)

$\beta = 43^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 6(3)	28.830
	A - 7 - 6(12)	11.631
	A - 7- 6(12)	19.131
SUELO NATURAL	A - 6(3)	26.349
	A - 7 - 6(12)	10.652
	A - 7- 6(12)	16.634

H = 25.45 m (Progresiva 0+030)

$\beta = 36^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 6(3)	21.481
	A - 7 - 6(12)	18.043
	A - 7- 6(12)	19.836
SUELO NATURAL	A - 6(3)	19.683
	A - 7 - 6(12)	16.525
	A - 7- 6(12)	17.246

b) BARRIO SAN MARTÍN (AV. LOS SAUCES):

H = 30.95 m (Progresiva 0+025)

$\beta = 69^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00
	A - 4(2)	6.785
SUELO NATURAL	A - 3(0)	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00
	A - 4(2)	7.408

H =38.19 m (Progresiva 0+035)

$\beta = 68^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00
	A - 4(2)	7.039
SUELO NATURAL	A - 3(0)	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00
	A - 4(2)	6.433

H =23.41 m (Progresiva 0+045)

$\beta = 69^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00
	A - 4(2)	6.777
SUELO NATURAL	A - 3(0)	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00
	A - 4(2)	6.194

c) BARRIO GERMAN BUSCH (Q. SAGREDO)

H =27.98 m (Progresiva 0+030)

$\beta = 44^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	19.464
	A - 5(12)	14.305
	A - 4(8)	17.600
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	18.940
	A - 5(12)	12.028
	A - 4(8)	15.411

H = 31.30 m (Progresiva 0+055)

$\beta = 37^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	28.805
	A - 5(12)	21.760
	A - 4(8)	29.524
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	28.029
	A - 5(12)	18.295
	A - 4(8)	25.581

H = 32.52 m (Progresiva 0+065)

$\beta = 46^\circ$

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	17.721
	A - 5(12)	12.952
	A - 4(8)	15.633
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	17.244
	A - 5(12)	10.890
	A - 4(8)	13.688

4.4. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS.

En función a los resultados obtenidos se realiza una propuesta indicada a continuación en los siguientes cuadros:

a. Para un ángulo de Inclinación $< 43^\circ$ será:

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)	RECOMENDABLE POR CONSTRUCCION (m)
SUELO SECO	A - 6(3)	< 28.830	< 25
	A - 7 - 6(12)	< 11.631	< 10
	A - 7- 6(12)	< 19.131	< 15
SUELO NATURAL	A - 6(3)	< 26.349	< 20
	A - 7 - 6(12)	< 10.652	< 10
	A - 7- 6(12)	< 16.634	< 15

b. Para un ángulo de Inclinación $< 36^\circ$ será:

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)	RECOMENDABLE POR CONSTRUCCION (m)
SUELO SECO	A - 6(3)	< 21.481	< 20
	A - 7 - 6(12)	< 18.043	< 15
	A - 7- 6(12)	< 19.836	< 18
SUELO NATURAL	A - 6(3)	< 19.683	< 18
	A - 7 - 6(12)	< 16.525	< 15
	A - 7- 6(12)	< 17.246	< 15

c. Para un ángulo de Inclinación $< 68^\circ$ será:

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)	RECOMENDABLE POR CONSTRUCCION (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	0.00	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00	0.00
	A - 4(2)	< 6.785	< 5.00
SUELO NATURAL	A - 3(0)	0.00	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00	0.00
	A - 4(2)	< 7.408	< 6.00

d. Para un ángulo de Inclinación $< 69^\circ$ será:

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)	RECOMENDABLE POR CONSTRUCCION (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	0.00	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00	0.00
	A - 4(2)	< 7.039	< 6.00
SUELO NATURAL	A - 3(0)	0.00	0.00
	A - 2 - 4(0)	0.00	0.00
	A - 4(2)	< 6.433	< 5.00

e. Para un ángulo de Inclinación $< 44^\circ$ será:

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)	RECOMENDABLE POR CONSTRUCCION (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	< 19.464	< 15
	A - 5(12)	< 14.305	< 12
	A - 4(8)	< 17.600	< 15
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	< 18.940	< 15
	A - 5(12)	< 12.028	< 10
	A - 4(8)	< 15.411	< 15

f. Para un ángulo de Inclinación $< 37^\circ$ será:

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)	RECOMENDABLE POR CONSTRUCCION (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	< 28.805	< 25
	A - 5(12)	< 21.760	< 20
	A - 4(8)	< 29.524	< 25
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	< 28.029	< 25
	A - 5(12)	< 18.295	< 15
	A - 4(8)	< 25.581	< 25

g. Para un ángulo de Inclinación $< 46^\circ$ será:

TIPO DE SUELO		ALTURA CRITICA (m)	RECOMENDABLE POR CONSTRUCCION (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	< 17.721	< 15
	A - 5(12)	< 12.952	< 10
	A - 4(8)	< 15.633	< 15
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	< 17.244	< 15
	A - 5(12)	< 10.890	< 10
	A - 4(8)	< 13.688	< 10

4.5. DETERMINACIÓN DE LOS ESPACIOS UTILIZABLES, EN FUNCIÓN A LA ALTURA CRÍTICA.

Los espacios calculados en función a la altura crítica son los siguientes:

a) Para el talud del Barrio Luis Pizarro:

Altura del Talud = 32.33 m (Progresiva 0+020)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 43°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 6(3)	< 7.921	< 5
	A - 7 - 6(12)	< 25.083	< 20
	A - 7 - 6(12)	< 17.590	< 15
SUELO NATURAL	A - 6(3)	< 10.389	< 10
	A - 7 - 6(12)	< 26.061	< 20
	A - 7 - 6(12)	< 20.084	< 15

Altura del Talud = 32.33 m (Progresiva 0+020)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 43°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 6(3)	< 3.626	< 3
	A - 7 - 6(12)	< 20.724	< 18
	A - 7 - 6(12)	< 13.235	< 10
SUELO NATURAL	A - 6(3)	< 6.057	< 5
	A - 7 - 6(12)	< 21.701	< 20
	A - 7 - 6(12)	< 15.728	< 15

Altura del Talud = 25.45 m (Progresiva 0+030)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 36°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 6(3)	< 4.034	< 4
	A - 7 - 6(12)	< 7.441	< 5
	A - 7 - 6(12)	< 5.660	< 5
SUELO NATURAL	A - 6(3)	< 5.812	< 5
	A - 7 - 6(12)	< 8.953	< 5
	A - 7 - 6(12)	< 8.235	< 5

b) Para el talud del Barrio San Martin:

Altura del Talud =30.95 m (Progresiva 0+025)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 69°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 2 - 4(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 4(2)	< 6.785	< 5
SUELO NATURAL	A - 3(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 2 - 4(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 4(2)	< 7.408	< 6

Altura del Talud =38.19 m (Progresiva 0+035)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 68°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 2 - 4(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 4(2)	< 7.039	< 6
SUELO NATURAL	A - 3(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 2 - 4(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 4(2)	< 6.433	< 5

Altura del Talud =23.41 m (Progresiva 0+045)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 69°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 3(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 2 - 4(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 4(2)	< 6.777	< 6
SUELO NATURAL	A - 3(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 2 - 4(0)	< 0.00	< 0.00
	A - 4(2)	< 6.194	< 5

c) Para el talud del Barrio Germán Busch (Quebrada Sagredo):

Altura del Talud =27.98 m (Progresiva 0+030)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 44°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	< 8.568	< 5
	A - 5(12)	< 13.705	< 10
	A - 4(8)	< 10.421	< 8
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	< 9.088	< 6
	A - 5(12)	< 15.978	< 10
	A - 4(8)	< 12.602	< 10

Altura del Talud =31.30 m (Progresiva 0+055)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 37°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	< 2.610	< 2
	A - 5(12)	< 9.574	< 8
	A - 4(8)	< 1.933	< 1
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	< 3.360	< 2
	A - 5(12)	< 13.031	< 10
	A - 4(8)	< 5.054	< 4

Altura del Talud =32.52 m (Progresiva 0+065)

Ángulo de inclinación horizontal del Talud < 46°

TIPO DE SUELO		ESPACIO UTILIZABLE (m)	ESPACIO RECOMENDABLE (m)
SUELO SECO	A - 7 - 6(12)	< 14.831	< 10
	A - 5(12)	< 19.591	< 15
	A - 4(8)	< 16.915	< 15
SUELO NATURAL	A - 7 - 6(12)	< 15.307	< 12
	A - 5(12)	< 21.651	< 18
	A - 4(8)	< 18.856	< 15

4.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Las condiciones actuales son favorables para la obtención de resultados óptimos por las pruebas que se realiza Insitu y laboratorio.

Los suelos finos tienen valores próximos a la altura del talud, por tanto se considera como talud finito, con alta cohesión y la baja fricción interna en el cuerpo del talud con la reducción en el deslizamiento, pero no garantizando las construcciones en la corona, ya que se trata de suelos con bastante expansión por las propiedades que presentan en la composición física y geométrica.

Los suelos granulares tiene valores bajas: por la mínima cohesión del suelo cortante y con elevada en la fricción interna. Por lo que son más resistentes y garantizados para soportar las cargas admisibles según las propiedades que presentan cada uno de los estratos en el lugar de análisis.

Los espacios en la corona son variados por los diferentes estratos que componen el talud. En suelos granulares los espacios son mayores en contrapartida de los suelos finos, por las características que presentan y la variación en la altura crítica según la clasificación que se realiza de los lugares del presente Proyecto de Investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES

Al realizar el Análisis Metodológico para determinar la Altura crítica se obtiene las siguientes conclusiones:

- El presente proyecto se ha elaborado en la ciudad de Tarija, por las características que presentan en la topografía, debido a las elevaciones de taludes que existen por movimiento de volúmenes de estratos y por la naturaleza que presentan de los lugares en análisis.
- También se puede mencionar que los ensayos realizados en laboratorio ha sido satisfactorio de cada uno de los suelos muestreados. En el barrio Luis Pizarro los suelos son finos con IP desde 11 a 18 %, lo cual indica que son suelos de mediano a mala calidad, pero en el Barrio San Martín presenta suelos de bueno a mediano calidad con $IP > 7\%$, de arenas limosas. Y en el Barrio German Busch la composición estratigrafía es limo arcilloso con baja plasticidad de calidad pobre a malo como subgradado.
- En el procedimiento de la determinación de los valores de: cohesión y fricción interna se utilizó la MAQUINA DE CORTE DIRECTO. Lo cual el equipo consiste en una caja de corte metálica en la que se coloca el espécimen de 60x60mm, para su procesamiento mediante la Fuerza Normal y la Fuerza cortante que es aplicada por el movimiento de la mitad de la caja respecto a la otra para generar la falla en el espécimen del suelo, con resultados en la cohesión que varían desde 0 a 2.03 (ton/m²), y en el ángulo de fricción interna desde 15° hasta 28°.
- Para el Peso específico se utilizó DENSIMETRO NUCLEAR (TROXLER) SERIE N° 3440, de propiedad del SEDECA. Lo cual opera en agujeros

taladrados para medir el peso del suelo húmedo por volumen unitario y también el peso del agua presente en un volumen unitario de suelo con un porcentaje elevado en barrio German Busch.

- También se puede mencionar que para la determinación de los resultados se utilizó la Ecuación de Culmann, con la ventaja de que se recopiló todos los datos necesarios de campo y laboratorio mediante los ensayos que se realizó de cada uno de los lugares en análisis con la obtención de la altura crítica.

LUGAR	ALTURA CRITICA (m)
Barrío Luis Pizarro	28.830
Barrío San Martín (Av. Los Sauces)	7.408
Barrío Germán Busch (Q. Sagredo)	28.805

- Para los espacios en la corona de los taludes se lo realizó en función de la altura crítica para diferentes tipos de suelo, con el resultado de que varía de acuerdo a la pendiente que tiene cada talud, pero con la ventaja de que a mayor pendiente los espacios son mínimos y a menor pendiente los espacios son mayores.
- Para la altura constructiva se lo realizó de acuerdo a los resultados obtenidos por la metodología en el presente proyecto de investigación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es un hecho que la zona en investigación necesita propuestas técnicas y soluciones definitivas para garantizar la seguridad en lugares de riesgo en el perímetro urbano.
- Se recomienda la verificación de los materiales del lugar para el control de estabilidad de la altura crítica, en función del tipo de suelo que garantice los requerimientos mínimos para el diseño.
- Es recomendable para la toma de muestras de la masa de un talud, que las muestras no sufran alteraciones en sus propiedades, y lleguen a los laboratorios especializados lo más rápido posible, ya que cualquier alteración en la muestra obtenida puede dar lugar a la obtención de valores no deseados.
- Se recomienda realizar estudios posteriores con Programas y los modelos matemáticos, para minorar los tiempos, los errores de gran magnitud, y verificar los resultados.
- Para realizar un análisis de la Altura crítica por el Método de Culmann, se recomienda que la longitud sea unitaria, perpendicular a la sección del talud, para obtener los resultados de análisis más confiables.