

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

En el tramo carretero Entre Ríos - Palos Blancos se han realizado una serie de problemas de deslizamiento de taludes tanto artificiales como taludes naturales que existen a lo largo del tramo inhabilitando el paso. Y ocasionando grandes pérdidas económicas al departamento. Además de poner en riesgo las vidas de las personas que transitan por ella. Por esta razón se ve la necesidad de evaluar la estabilidad de taludes en el tramo mencionado.

El área de estudio presenta antecedentes de deslizamiento de masas como se menciona en el párrafo anterior el cual fue de impacto hasta la actualidad, que recobró daños de consideración; no habiendo a la fecha propuestas y/o medidas de control — prevención, por lo que recae la necesidad e importancia del presente estudio de investigación en la Estabilidad de Taludes en la carretera Entre Ríos – Palos Blancos, donde por la naturaleza de la investigación se emplea diversos métodos de análisis.

Los antecedentes que se vienen generando en la carretera son constantemente por las diferentes tipos de falla que presentan en los taludes. Y en épocas de lluvia se suman más los deslizamientos, Como podemos ver en la (figura # 1). Ocasionando perjuicios muchas veces daños materiales y personales cobrando vidas humanas.

Figura Nro. 1 deslizamientos de talud en el tramo entre ríos palos blancos.

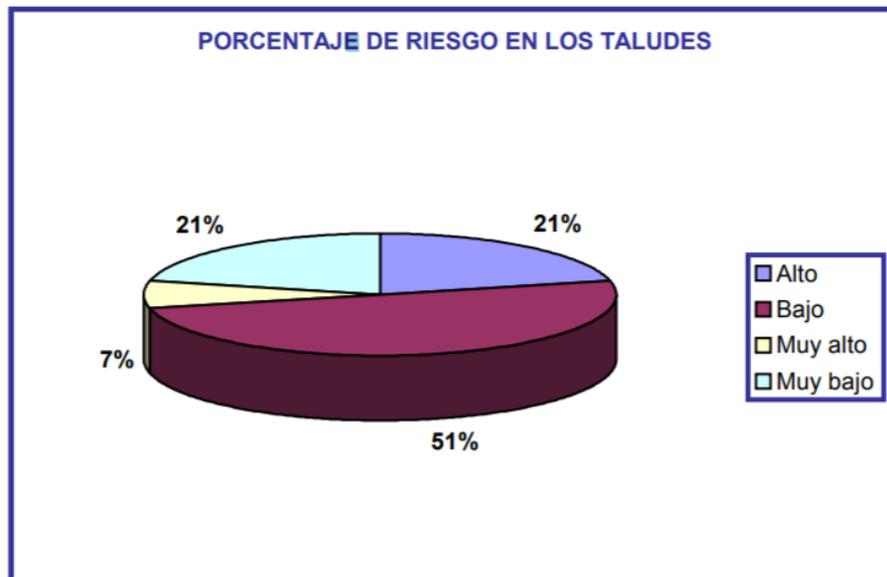


Fuente: fuente propia

En el mes de febrero del 2001 un terremoto de 6,6 grados en la escala de Richter provocó un gran desastre en la localidad de Santa Tecla, en El Salvador, causando más de mil muertos y graves daños que todavía hoy repercuten a los Salvadoreños y animan a las autoridades del país a velar por la seguridad de la población a nivel geológico. Desde esas fechas, El Salvador se ha volcado totalmente en el estudio de su actividad geológica y sísmica. Este proyecto es un paso más en esta labor tan importante y pretende ser un ejemplo a seguir para comunidades que conviven con problemas de riesgo geológico y que esperan actuaciones por parte de sus alcaldías. 3 En los meses de julio y agosto del pasado año 2004 se realizó un estudio para la caracterización de las diferentes tipologías de taludes inestables presentes en cuatro cantones pertenecientes a la zona sur de la Cordillera del Bálsamo, en Santa Tecla, El Salvador. El estudio partía de la necesidad de conocer con exactitud, por parte de la Alcaldía de Santa Tecla, cuáles eran los riesgos geológicos que amenazaban a las comunidades del área de la Cordillera Sur. Así, el estudio pudo llevarse a cabo realizado a través de la organización no gubernamental de Geólogos del Mundo y con una subvención por parte del CCD (Centre per la Cooperació i el Desenvolupament), entidad sin ánimo de lucro integrado totalmente a la Universidad Politècnica de Catalunya. Las conclusiones derivadas de este estudio después de evaluar

los parámetros totales, tanto de susceptibilidad como de los de vulnerabilidad y de riesgo estimado, en un total de 42 taludes permitieron calcular cuáles eran los porcentajes de riesgo existentes en cada uno de ellos; resultados que podemos observar en la siguiente tabla:

Figura Nro. 2 Porcentaje de riesgo en los taludes



Fuente: proyecto de estabilidad de taludes en el municipio de Santa Tecla – El Salvador junio 2005

1.2 SITUACION PROBLEMICA

La estabilidad de taludes hace que se investigue sobre los materiales o tipo de suelo que existe en el departamento de Tarija provincia O'Connor carretera Entre Ríos – Palos Blancos a estudiar, que consiste en verificar su factor de seguridad y proponer a dar una solución los taludes utilizando mallas, muros de retención, hormigón lanzado o cambiando la topografía del terreno. Se verá las formas de solucionar o prevenir los efectos de deslizamiento de taludes, también previniendo la erogación de recursos económicos para la rehabilitación de la vía, y ocasionando los problemas de orden social y económico.

En la actualidad existe una gran problemática en dicha carretera que con el transcurso del tiempo se siguen dando los problemas, y mucho más en tiempo de lluvias donde se presenta diferentes tipos de fallas como ser deslizamientos, desmoronamientos de materiales granulares, materiales sueltos y cobertura vegetal etc. (ver figura #3)

Figura Nro. 3 Deslizamiento del talud



Fuente: Elaboración propia

Si esta situación de inestabilidad de taludes en la carretera de Entre ríos – palos blancos no se llega a dar una solución puede darse mayores consecuencias como ser deslizamientos de gran magnitud ocasionando problemas económicos y sociales afectando la transitabilidad de los vehículos como así mismo dañando la carretera.

1.2.1 Problema

El problema que se presenta en la carretera Entre Rios – Palos Blancos es uno de los grandes problemas sabiendo que en épocas de lluvias de mayor intensidad sea. Se observa varios lugares de la carretera el desprendimiento en los taludes de roca, material suelto y vegetación que obstaculiza el libre tránsito en la carretera. Peligrando a los transportistas, viajeros y la transitabilidad de los comunarios.

Es por esta razón que es necesario hacer un análisis y control de estabilidad de taludes en riesgo sabiendo que en la gran mayoría de las pérdidas por deslizamientos son evitables y

el problema se identifica con tiempo y se toman medidas de prevención y de control para evitar pérdidas humanas y daños materiales en la ciudad de Tarija.

Las zonas que se tienen terrenos irregulares en su topografía son zonas más susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos, derrumbes de material suelto debido a que no cumple su factor de seguridad.

La investigación del proyecto se realizó en el periodo 1 de la gestión 2020 y se realizara en un tiempo de 6 meses.

La investigación se realizó en el tramo entre Rios – palos Blancos de la ciudad de Tarija.

Figura Nro. 4 Derrumbes presentados en la carretera Entre Rios – Palos Blancos



Fuente: Fuente propia

1.3 JUSTIFICACIÓN

Como ya fue mencionado, los problemas de inestabilidad más frecuentes. Estos en ocasiones han producido la obstrucción y la destrucción de tramos de las vías de comunicación, por ejemplo ocasionando un riesgo para las personas y un grave perjuicio económico, como es en caso de varias vías del departamento de Tarija. probablemente las medidas de estabilización en dicha obra y en tantas otras que la requieren, no fueron consideradas por su alto costo, sin embargo esto depende mucho de la alternativa seleccionada, que estará en función a las características del suelo y del estado del área deslizable. Existe entonces una alta gama de alternativas.

La justificación se basa a la problemática a ser estudiada lo que es los deslizamientos de taludes. Sabiendo que es un defecto que se presenta en la actualidad y que afecta a nuestras vías de comunicación que vinculan a la capital del departamento con su provincia Gran chaco y así mismo con los demás departamentos.

En el transcurso del tiempo se ha detectado gran cantidad de accidentes de tránsito por la carretera al chaco, algunos casos hasta la muerte. La cual se debe la presencia de material suelto (conformado por material granular y sedimentos gruesos o por canto rodado) que se desprende por alta presencia de vientos y por otros factores. Para lo cual se debe mejorar la estabilidad del talud y el suelo.

El aporte que se hizo fue una investigación sobre la evaluación de taludes si cumple o no cumple el factor de seguridad de los taludes del tramo Entre Ríos- Palos Blancos en el departamento de Tarija. Y los problemas que se soluciono fue evitar que haya deslizamientos o derrumbes en la carretera que se estudió aplicando algunos métodos como ser instalación de mallas, siembra de pasto, cambio de la topografía etc.

1.4 OBJETIVOS

Objetivos planteados para la investigación son los siguientes:

Objetivo general

Evaluar la estabilización de taludes en riesgo de deslizamiento mayor a 12 m mediante métodos apropiadas que permitan prevenir derrumbes en el tramo Entre Ríos - Palos Blancos en el departamento de Tarija.

Objetivos específicos

- Identificar cuáles son las zonas donde presentan posibles deslizamientos.
- Realizar laboratorios para caracterizar el tipo de suelo que presenta en el lugar.
- Desarrollar los cálculos necesarios para determinar el factor de seguridad de los taludes en estudio.
- Comparar los distintos factores de seguridad con los valores tabulados.

1.5 HIPOTESIS

- Si evaluamos los riesgos de estabilidad en los taludes de la zona de estudio Entre Ríos – Palos Blancos aplicando un método apropiado, entonces obtenemos la información necesaria para plantear acciones que nos permitan garantizar que los taludes sean más estables.

1.6 OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES

El proyecto consta de 2 tipos de variables que son:

Variable independiente

- Tipo de suelo

Variable dependiente

La variable dependiente es la estabilidad de taludes. A través de Soluciones que garanticen un factor de seguridad adecuado, y por ende, la transitabilidad de la vía.

1.7 TIPO DE INVESTIGACION

El proyecto consta de un tipo de investigación descriptiva.

La investigación descriptiva trata principalmente de la identificación de la situación es la que se utiliza, tal como el nombre lo dice, para describir la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos o comunidades que se estén abordando y que se pretenda analizar.

1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISION MUESTRAL

La unidad de estudio es que es lo que voy a necesitar es la información que voy a necesitar para mi análisis de estudio.

Unidad de estudio

- Estabilidad de taludes en vías rurales.
- Factor de seguridad
- Topografía del terreno

Población

Taludes de la carretera Entre Ríos - Palos blancos que encuentren en riesgos de inestabilidad.

Muestra

Mucho riesgo de inestabilidad

Selección de las técnicas de muestreo

- se realizara una clasificación de las características del tipo suelo, también ensayos de granulometría, límites líquidos y plástico, contenido de humedad, peso específico y corte directo.
- para los laboratorios sacare 3 muestras del pie del talud 3 muestras del cuerpo y 3 muestras de la corona del talud. de los 10 taludes en estudio.

1.9 METODOS Y TECNICAS EMPLEADAS

1.9.1 Métodos

Los ensayos se realizarán en los laboratorios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho los mismos cuentan con todo el equipo necesario que se requiere en la presente investigación, los resultados obtenidos serán avalados por los encargados de laboratorio.

Los instrumentos que utilizare para la obtención de datos son:

- estación total (proporcionado por la universidad)
- wincha
- flexo y otros.

Herramientas disponibles

Para el análisis de estabilidad de taludes se dispone de varias herramientas tales como:
(SUAREZ DIAZ, pág. 128)

Análisis gráficos

Históricamente, se han utilizado procedimientos gráficos o de polígonos de fuerzas para calcular las condiciones de estabilidad de los taludes. Estos sistemas gráficos son poco usados actualmente.

Cálculos manuales

La mayoría de métodos de análisis se desarrollaron para cálculos matemáticos manuales o con calculadora, de acuerdo con fórmulas simplificadas.

Hojas de cálculo

Algunos autores han desarrollado hojas de cálculo, las cuales pueden utilizarse para el análisis de taludes sencillos o con bajo nivel de complejidad.

Uso de “Software”

La técnica de análisis que se escoja depende de las características de los sitios y del modo potencial de falla; dando especial consideración a las fortalezas, las debilidades y las limitaciones de cada metodología de análisis. Hasta el año 1975, la mayoría de los análisis de estabilidad se realizaban en forma gráfica o utilizando calculadoras manuales.

1.9.2 Técnicas

La técnica experimental es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para determinar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. En este método se recopila datos para comparar mediciones y comportamientos.

Esquema 1 laboratorios a realizar



Fuente: fuente propia

1.10 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización y de las pruebas de riesgos, se procede al tabulado y si es necesario corregir los resultados obtenidos de cada ensayo.

Con los ensayos de caracterización determinamos el cumplimiento de requisitos mínimos según las normas de clasificación de suelos USC y clasificación AASHTO.

El análisis estadístico se realizara según el procedimiento de la información obtenida para determinar parámetros estadísticos se utiliza las siguientes ecuaciones:

Media aritmético

La media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Es el promedio de una serie de números.

n = Es igual al número de datos.

X₁, X₂, X₃ y X_n = son los valores de las observaciones que se promedian

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – (SUCS) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casagrande. (Braja, M. 2001)

Tabla Clasificación SUCS (Braja, M. 2001)

Divisiones mayores		Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos más del 50% retenido en el tamiz n°200 (0.075 mm)	Grava > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz n°4 (4.75 mm)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	GW Grava bien graduada, grava fina a gruesa
			GP Grava pobremente graduada
		Grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200	GM Grava limosa
			GC Grava arcillosa
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n°4	Arena limpia	SW Arena bien graduada, arena fina a gruesa.
			SP Arena pobremente graduada
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200	SM Arena limosa
			SC Arena arcillosa
Suelos de grano fino más del 50% pasa el tamiz No.200	Limos y arcillas límite líquido < 50	Inorgánico	ML Limo
		Orgánico	CL arcilla
	Limo y arcilla límite líquido ≥ 50	Inorgánico	OL Limo orgánico, arcilla orgánica
			MH Limo de alta plasticidad, limo elástico
		Orgánico	CH Arcilla de alta plasticidad
			OH Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba

Fuente: Nora Melissa Arteaga Fernández, Perú 2017 pág. 14

CLASIFICACION MEDIANTE LA (AASHTO)

La American Association of State Highway Officials adoptó este sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145), tras varias revisiones del sistema adoptado por el Bureau of Public Roads de Estados Unidos, en el que los suelos se agrupan en función de su

comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras.

En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2, ..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices nº 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz nº 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz nº 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz nº 200).

Tabla: Simbología AASTHO según granulometría.

CLASIFICACIÓN AASHTO

Clasificación general	Suelos granulosos (35% o menos que pasa el tamiz # 200)							Materiales limosos y arcillosos (más de 35% pasa el tamiz # 200)			
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7 A7-6 A7-5
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamices: % que pasa el Nº 10 (2 mm) Nº 40 (0.425 mm) Nº 200 (0.075 mm)	máx. 50 máx. 30 máx. 15	--- máx. 50 máx. 25	--- mín. 51 máx.10	--- ---	--- Máx.35	--- máx. 35	--- máx. 35	--- mín. 36	--- mín. 36	--- mín. 36	--- mín. 36
Consistencia Límite Líquido	---		---	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín.41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41
Índice de Plasticidad	máx. 6		No Plástico	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11 ⁽¹⁾
Tipos de materiales característicos	Fragmentos de Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	excelente a bueno							regular a malo			

Fuente: 1Tomado de Borselli, 2017

1.11 ALCANCE

El presente trabajo tiene como objeto de destacar algunos de los sistemas contributivos actuales, más usuales de contención y estabilización de taludes y laderas que han perdido su equilibrio por alguna acción natural o provocada externamente excavaciones, construcción etc.

La información recopilada tiene como finalidad evaluar la estabilidad de los taludes en corte, al igual de la ladera que los contiene considerando las fuerzas que actúan sobre ellos y las futuras condiciones a las que estarán sometidos.

Al final del capítulo se presenta con base en los resultados de los análisis y diseños como las recomendaciones que permiten garantizar el buen funcionamiento de la vía, desde el punto de vista de la estabilidad de taludes generales en la vía.

En resumen el alcance que tendrá este trabajo es la evaluación y control de taludes en riesgo de inestabilidad en la carretera entre ríos palos blancos. Mas propiamente en los 10 lugares determinados en dicha carretera

CAPITULO II

ESTABILIDAD DE TALUDES

2.1 GENERALIDADES

Dentro de los taludes artificiales también existen en las vías terrestres diferencias esenciales entre los cortes y los terraplenes. Estos últimos constituyen una estructura que se construye con un material relativamente controlado o que, o por lo menos en principio se puede controlar en los cortes.

Las fallas de talud se definen en términos de derrumbes o colapso de toda índole. El ingeniero como es usual, analiza estos problemas tratando de extraer los suficientes conocimientos de carácter general como para poder establecer mediante métodos de estabilización de talud.

El fenómeno de la inestabilidad de taludes, es uno de los procesos geológicos con más ocurrencia en la serranía de nuestro país, causando cuantiosas pérdidas económicas y, en muchos de los casos pérdidas humanas. Las ocurrencias de estos eventos tienen como causales la intervención de factores internos, tales como: la topografía, geología, humedad del suelo, etc.; así como de factores externos, como: clima y eventos sísmicos, que en su interacción generan desastres naturales, repercutiendo negativamente en el ámbito social, natural y económico. En consecuencia, recae la necesidad de identificar y determinar el estado, las causas y medidas a tener en cuenta, para su prevención oportuna; de modo que, teniendo en cuenta las zonas de riesgo y los eventos de la naturaleza que presenta el distrito de Cuenca.

La investigación, se ejecutó bajo los procedimientos del método de investigación científica, que se inicia en la identificación y diagnóstico de la zona de estudio, en el que se diferencian las variables de estudio (variable dependiente e independiente), que son sometidos a métodos de análisis.

2.1.1 Definición de estabilidad

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra o roca contra la falla o movimiento. (De Matteis, 2003, pág. 4)

A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material terreo por mover y por lo tanto diferentes costos. Podría imaginarse un caso en que por alguna razón el talud más conveniente fuese muy tendido y en el tal caso no habría motivo para pensar en “problema de estabilidad de taludes “, pero lo normal que cualquier talud funcione satisfactoriamente desde todos los punto de vista excepto el económico, de manera que las consideraciones de costos presiden la selección del idóneo, que resultara aquel al que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo el talud más empinado. probablemente mucha de las dificultades asociadas en la actualidad a los problemas de estabilidad de taludes radican en la que se involucran en tal denominación a demasiados temas diferentes, a veces radicalmente distintos, de manera que el estudio directo del problema sin diferenciar en forma clara tales variantes tiende a conducir a la cierta confesión es indudable que en lo anterior está contenida la afirmación de que los taludes son estructuras muy compleja que prestan muchos puntos de vista dignos de estudio y a través de los cuales la naturaleza se manifiesta de forma diversa. Esto hará que su estudio sea siempre complicado pero parece cierto también, que una parte de las dificultades presentes se debe a una falta de correcto deslinde de las diferentes variantes con que el problema de estabilidad se puede presentar y se debe afrontar.

Los problemas relacionados con la estabilidad de laderas naturales difieren radicalmente de los que se presentan en taludes construidos por el ingeniero. Dentro de estos verse como esencialmente distintos los problemas de los cortes de laderas y los de terraplenes. (De Matteis, 2003, pág. 4)

2.1.2 Definición de talud

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya que adoptar permanentemente las estructuras de tierra. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánicas de suelos y mecánicas de rocas.

Cuando el talud se produce de forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan corte o taludes artificiales.

Los taludes son superficies inclinadas que adoptan esta posición de manera permanente o en muchos casos, temporalmente. La estructura es de suelo o rocosa. Es vital saber distinguir los tipos de taludes debido a que cada uno de los problemas que se pueden presentar por la inestabilidad, deben ser tratados de diferente forma, dependiendo siempre del origen y composición del talud. (De Matteis, 2003, pág. 3)

Define aun terreno como una superficie de terreno que posee un ángulo de referencia con la horizontal. Puede ser naturales o artificiales, los taludes naturales se los conoce en campo usualmente como laderas a diferencia de las artificiales, se les conoce como terraplén y desmonte. (Jiménez S. 1891).

2.1.3 Definición de deslizamiento

Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia afuera de toda la masa que participa del mismo. Los deslizamientos pueden producirse de distintas maneras, es decir en forma lenta y rápida con o sin provocación aparente, etc. generalmente se producen como consecuencia de excavación o socavación en el pie de talud. Sin embargo existen otros casos donde la falla se produce por desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua, etc.

Cualquier talud está sujeto fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo. Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo, y por lo general lento de deslizamiento ladera abajo que presenta en la zona superficial de algunos taludes naturales. (De Matteis, 2003, pág. 5)

2.1.4 Definición de estabilidad de taludes

La estabilidad de taludes puede ser abordado desde distintos aspectos. Cuando se habla de estabilidad, se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de suelo dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud, así como las condiciones de filtración y agua subterránea, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica. Más allá del problema de la modelación material del suelo, está presente el problema del estudio de los criterios de evaluación de sistemas estructurales. En este sentido es necesario, una vez calibrados y verificado la capacidad predictiva de los modelos computacionales desarrollados, Llevar a cabo el análisis computarizado de sistemas estructurales que involucren complejidades relevantes, frente a acciones estáticas y dinámicas a fin de contribuir al avance del conocimiento en lo referente a la formulación de criterios de diseño más eficientes y realistas. Dentro de este marco, se estudió el comportamiento de suelos cohesivo-friccionales con distintos niveles de humedad y condiciones de borde.

Para el estudio de la estabilidad de un talud se hace uso de un factor de seguridad (FS), el cual se obtiene de un análisis matemático de estabilidad. Este debe tener en cuenta factores como la geometría del talud, parámetros geológicos, cargas sísmicas, flujo de agua, propiedades gravimétricas de los suelos entre otras. Aunque es una herramienta muy veraz para el Ingeniero no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar, tales como la acción antropogénica, para incluirlos en un modelo matemático. Por lo tanto hay situaciones y debilidades en los modelos que no permiten la obtención de resultados satisfactorios. (Diaz, 2001)

2.2 PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y MASISOS ROCOSOS.

Las propiedades geomecánicas están definidas por los valores de resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción que lo definen con suelos de baja consistencia limo arenosos, grano mediano propensos a la erosión y socavación. La roca analizada presenta una resistencia a la compresión simple equivalente a 637 Kg./cm²., que se considera aceptable, considerando su origen intrusivo o granodiorita. (Burgos, 2008, pág. 38)

Es común definir la estabilidad de un talud en términos de un Factor de Seguridad (F.S.), obtenido de un análisis matemático determinístico; cuyos modelos, deben tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad, como son la geometría del talud, parámetros de cargas estáticas, flujos de agua, propiedades de los suelo, etc. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 44)

2.2.1 Angulo de fricción

Define el ángulo de fricción, como representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual depende de varios factores, los más importantes son: tamaño de granos, forma de granos, distribución de tamaño de granos y densidad. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 44)

Es una propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular. En un material granuloso cualquiera, el ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas son muy pequeñas en relación al tamaño de conjunto el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno.

La fricción interna de un suelo está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada sobre dicho plano. (CHAPMAN, 2017, pág. 21)

Tabla 1 Valores del ángulo de fricción interna en suelos granulares no plásticos, en función de la granulometría y la compactación.

Tipo de suelo	Angulo de fricción interna en función de la densidad (°)		
	suelto	mediamente denso	Compacto
Limo no plástico	24-28	28-32	30-34
Arena uniforme fina a media	26-30	30-34	32-36
Arena bien graduada	30-34	34-40	38-46
Mesclas de arena y grava	32-36	36-42	40-48
Grava	36-40	38-42	42-50

Hough (1957) sugiere emplear los valores más bajos de cada rango para los suelos redondeados o para aquellos que poseen partículas débiles y los más elevados para suelos con partículas angulosas y resistentes.

2.2.2 Cohesión

Define la cohesión, como una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo; además representa la resistencia al cortante producida por la cementación. En suelos granulares, no existe ningún tipo de material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a '0' y a estos suelos se los denomina como suelos no cohesivos. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 44)

Es la propiedad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno. (CHAPMAN, 2017, pág. 20)

Tabla 2 Valores de Cohesión por tipo de suelo.

COHESION (KPa)	
Arcilla rígida	20 – 25
Arcilla semirrígida	8 – 12
Arcilla blanda	0 – 4
Arcilla arenosa	2 – 8
limo rígido o duro	0 – 5

Fuente: Carlos Enrique Sackschewski Chapman Lima Perú

Tabla 3 Valores de cohesión y ángulo de fricción interna en suelos.

Tipos de suelos		Angulo de fricción interna en grados	Cohesión C.
Granulares o no cohesivos	Arena suelta	30	
	Arena de compacidad media	32.5	
	Arena densa	35	
	Grava	35	
	Grava arenosa heterogénea	35	
	Bloques de piedra	35	
Suelos cohesivos	Arcilla semidura	15	0.25
	Arcilla firmes	16	0.1
	Arcilla blandas	17	0
	Arcilla arenosa firme	22.5	0.05
	Arcilla arenosa blando	23.5	0
	limo firme	24.5	0.002
	limo blando	25.5	0
	arcilla orgánica, limo y cieno, no fibroso	10	0
	Turba	15	0

Fuente: Tomado de Terzaghi y Peck (1980)

2.2.3 Factor de seguridad

La identificación y determinación del factor de seguridad obedecen a la aplicación de los diversos métodos de cálculo matemático; sirven para la Evaluación del fenómeno de estabilidad de taludes, sumando fuerzas y momentos en relación a una superficie de falla asumida que desliza con respecto al resto de la masa de suelo. En consideración a lo descrito.

, Considera que la determinación del factor de seguridad puede ser abordada mediante el empleo de teorías simplificadas de resistencia de materiales, como los métodos de equilibrio límite, o bien, mediante técnicas más precisas como el Método de los Elementos Finitos, conduciendo, en ambos casos, a soluciones determinística (...), en estos casos pueden emplearse técnicas iterativas de búsqueda donde la solución no es única, sino que está acotada en un intervalo."

En efecto, el factor de seguridad es empleado para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla: (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 45)

$$F.S.=RESISTENCIA\ AL\ CORTANTE\ DISPONIBLE/ESFUERZO\ AL\ CORTANTE$$

El factor de seguridad, calculado para el Análisis Estático (Equilibrio Límite y Elementos Finitos) nos indica que: (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 46)

- Si el factor de seguridad es menor a la unidad ($FS < 1$), el talud es inestable o ya colapsado.
- Si el factor de seguridad es mayor a la unidad ($FS > 1$), el talud es estable.
- Si el factor de seguridad es igual a la unidad ($FS = 1$), el talud presenta el riesgo de una falla inminente.
- El factor de seguridad, calculado para el Análisis Dinámico (Elementos Finitos), tiene la siguiente premisa:

- El Reglamento Nacional de Estructuras en la Norma E, 050 recomienda que el Factor de Seguridad mínimo para taludes en condiciones sísmicas es de 1.2.

Tabla 4 Valoración de la estabilidad

Intervalo de clasificación de factores de seguridad	
Clasificación	F.S. Estático
Inadmisible	< 0.75
Muy Bajo	$0.75 - 1.00$
Bajo	$1.00 - 1.25$
Aceptable	$1.2 - 1.50$
Ideal	> 1.50

Fuente: EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE CORTE Y TERRAPLÉN, Sociedad Colombiana de Geotecnia y universidad nacional de Colombia

Tabla 5 Escalas recomendadas para la zonificación de amenaza por deslizamientos.

Intervalos de clasificación de factores de seguridad	
Amenazas	F.S. Estático
Muy alta	$FS < 1$
Alta	$FS = 1$
Moderada	$FS = 1.2$
Baja	$FS = 1.5$
Muy baja	$FS > 3$

Fuente: GEOMINAS, Vol. 45, N° 74, diciembre 2017

Figura Nro. 5 Valores de los coeficientes de seguridad para el ELU de estabilidad global en diferentes documentos españoles.

Documento	Combinaciones de acciones/Situación de dimensionado	Factor de seguridad
Guía de cimentaciones obras de carreteras	Cuasi - permanente	>1.5
	Fundamental	≥1.2
	Accidental o sísmica	>1.1

Fuente: Factores de seguridad en la estabilidad de taludes (EC7 y Anejo Nacional Español) José Estaire

2.3 ELEMENTOS DE UN TALUD

Base firme: La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

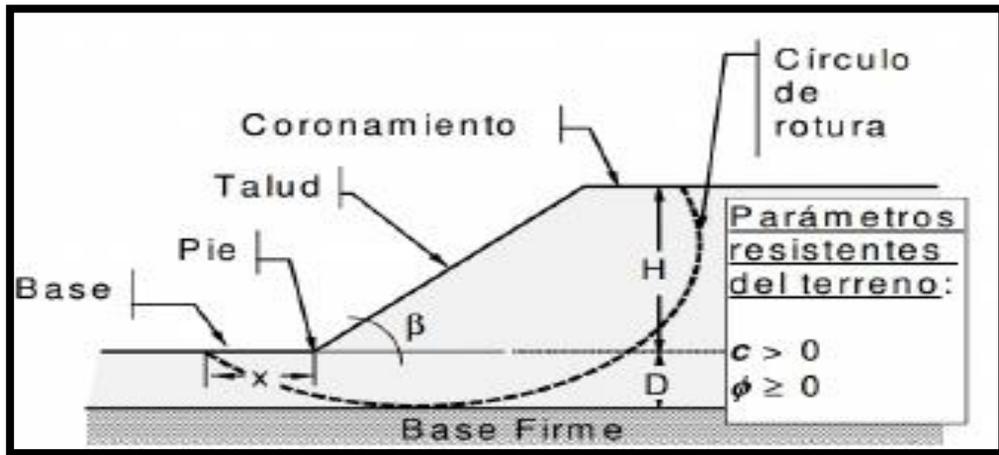
Base: El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

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

Altura: Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados. Talud: Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m: 1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: $45^\circ = 100\% = 1H: 1V$. Los suelos o rocas más resistentes generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos, tienden a formar laderas de baja pendiente.

Coronamiento: Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi- vertical o de alta pendiente, se le denomina Escarpe. Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza generalmente es convexa. (QUIROZ BARROZO , 2015)

Figura Nro. 6 Círculo de rotura o rotura en la base



Fuente: Quiroz Barrozo Michel

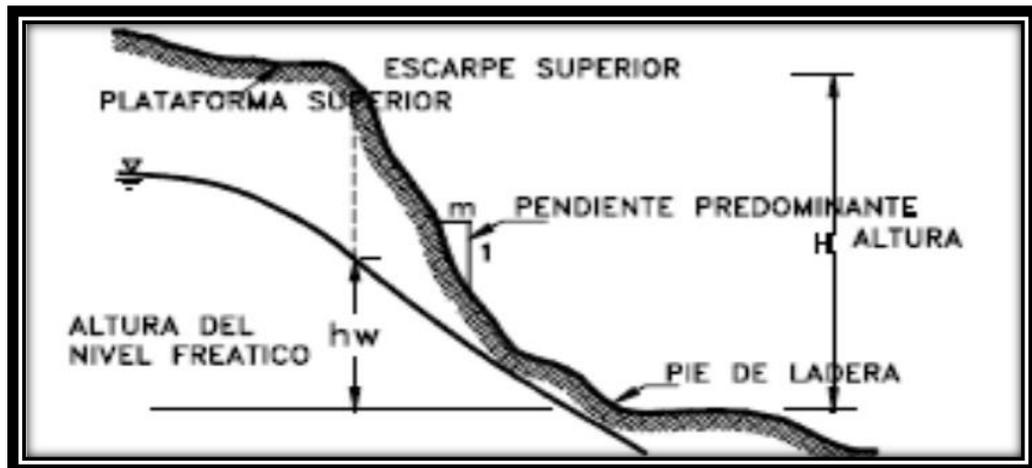
2.4 TIPOS DE TALUDES

Los tipos de taludes son dos.

2.4.1 Talud natural

Son taludes formados por la naturaleza a lo largo de la historia geológica. No requieren de la intervención humana para formarse, se pueden establecer como consecuencia de procesos erosivos. Estos ocasionan la formación de acantilados. Resulta un poco complicado el cálculo de la altura debido a lo irregular que es.

Figura Nro. 7 Talud natural

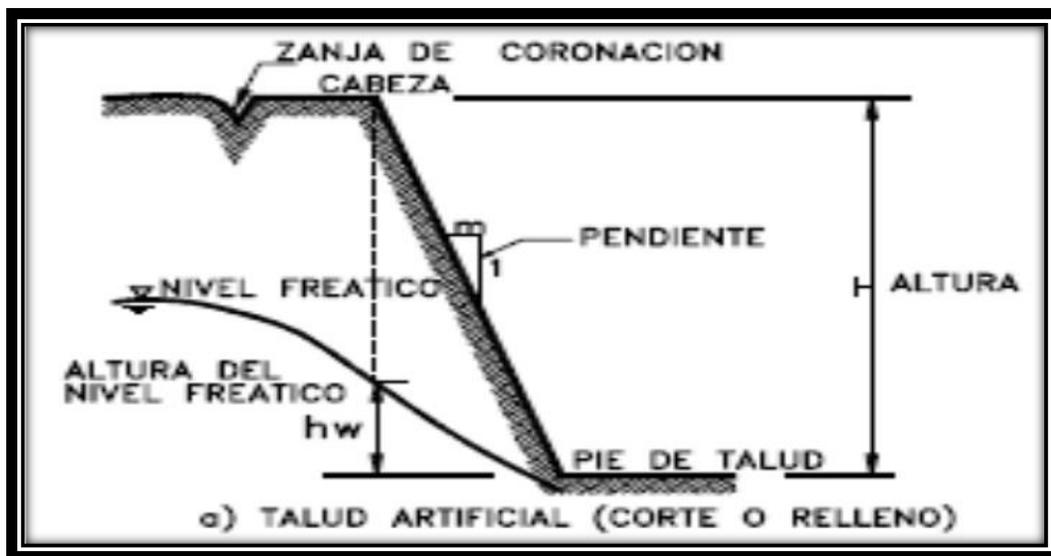


Fuente: Jaime Suarez Díaz

2.4.2 Talud artificial

Para la formación de este tipo de taludes se requiere de la intervención del hombre. La formación dependerá del desarrollo de obras de ingeniería, cuando se requiere de una superficie plana en cierta zona inclinada. Es muy común en obras de infraestructuras o de presas. Los taludes artificiales se diferencian en dos grupos, los terraplenes y los cortes. Al estar bien definido se puede calcular fácilmente su altura.

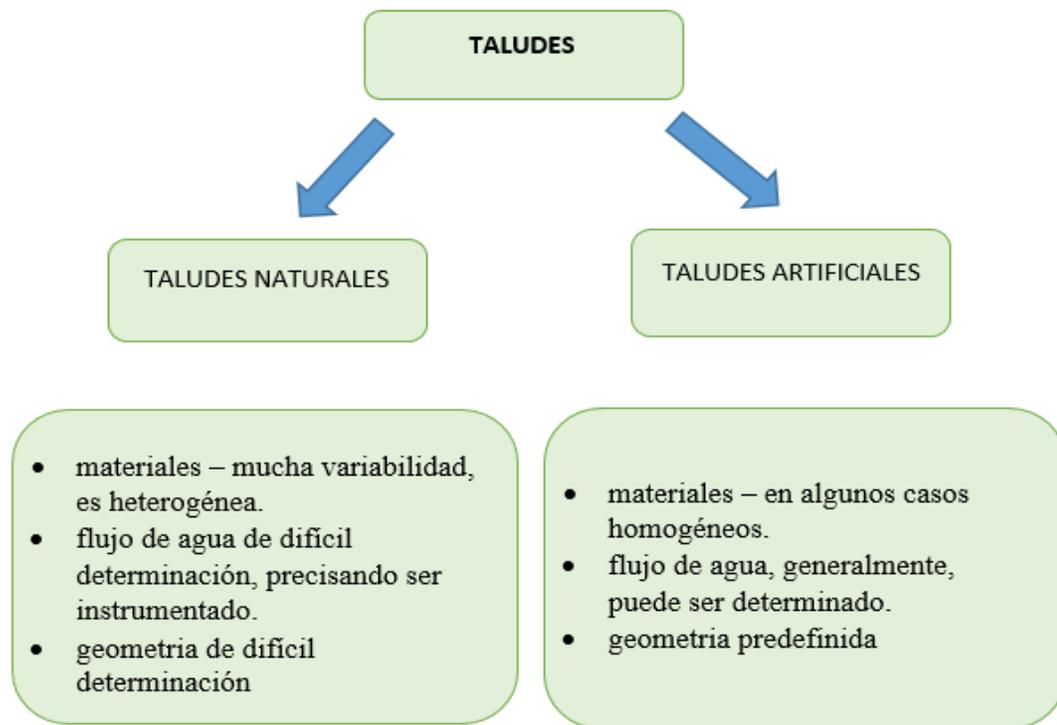
Figura Nro. 8 Talud artificial



Fuente: Jaime Suarez Díaz

Principales diferencias entre taludes

Esquema 2 Diferencias entre taludes.



Fuente: Elaboración propia.

2.5 MODO DE FALLA.

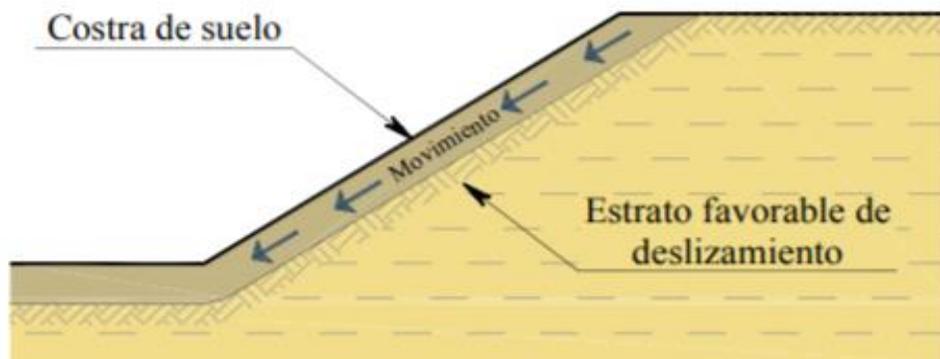
Existen diversos modos en los que un talud puede fallar; para fines de este trabajo haremos una breve descripción de los modos de falla más comunes, aunque debe considerarse que muchas veces las fallas ocurren como una combinación de los mismos. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 22)

2.5.1 Falla por deslizamiento superficial

Cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo; el fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud a causa de la falta de presión normal confinante que allí existe. Como una consecuencia, la zona mencionada puede quedar sujeta a un flujo viscoso hacia abajo que, generalmente, se desarrolla con extraordinaria lentitud.

El desequilibrio puede producirse por un aumento en las cargas actuantes en la corona del talud, por una disminución en la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o, en el caso de laderas naturales, por razones de conformación geológica que escapan a un análisis local detallado. La Figura 2.5 ilustra este modo de falla. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 22)

Figura N ro. 9 Fallas por deslizamiento superficial



Fuente: Alberto Jaime Paredes (México, abril 2009)

Este fenómeno es muy frecuente y peligroso en laderas naturales, y generalmente abarca grandes áreas, asimismo éste se pone de manifiesto ante la vista debido a las inclinaciones de elementos verticales que se encuentran en las laderas como son árboles, postes, etc.; otra manifestación es la acumulación de suelos en las depresiones y valles y la falta de los mismos en las zonas altas.

2.5.2 Deslizamientos sobre superficies de falla preexistentes.

Estos deslizamientos usualmente se producen lentamente, es por eso que pasan inadvertidos; la mayor parte de estos movimientos están asociados a ciertas estratigrafías favorables a ellos, al mismo tiempo que a flujos estacionales de agua en el interior de la ladera. La Figura 10 ilustra este modo de falla.

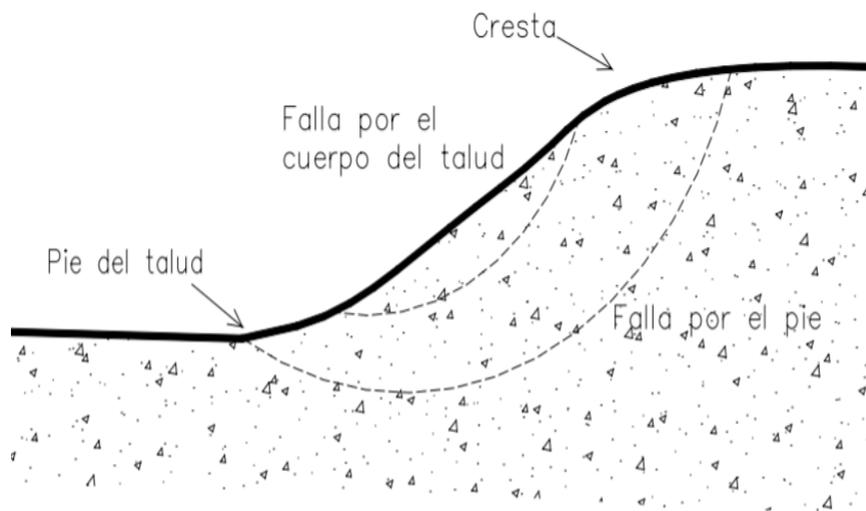
Este ocurre frecuentemente en las laderas formadas por depósitos de talud sobre otros materiales firmes estratificados, que tienen aproximadamente la misma inclinación, es por

eso que las superficies de fallas que se forman son prácticamente planas, ya que están formadas entre los depósitos estratificados y los materiales depositados recientemente. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 23)

2.5.3 Falla por movimiento del cuerpo del talud.

En este modo de deslizamiento se forma una superficie de falla curva, a lo largo de la cual se genera el movimiento del talud; a este modo de falla se le llama por rotación. Existen también otras fallas de este mismo tipo, en las cuales el movimiento ocurre a lo largo de superficies débiles, las cuales pueden estar en el cuerpo del talud o en su terreno de fundación; estos planos débiles suelen ser horizontales o muy poco inclinados respecto a la horizontal; a este tipo de falla se les llama por traslación. Las fallas por rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie de talud, sin interesar el terreno de fundación o pasando a través de éste, afectando el terreno de cimentación o base de talud; además, también. Se pueden presentar fallas locales las cuales afectan al cuerpo del talud, pero en zonas relativamente superficiales. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 24)

Figura Nro. 10 Falla por movimiento del cuerpo del talud



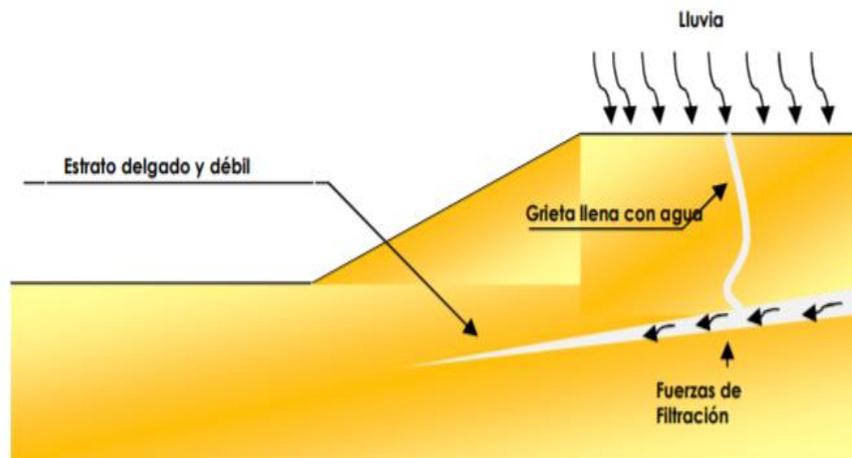
Fuente: Alvaro F. De Matteis año 2003 pág. 7

2.5.4 Falla por flujos

Estas fallas consisten en movimientos más o menos rápidos de zonas localizadas de una ladera natural, de manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de las velocidades y los desplazamientos asemejan el fluir de un líquido viscoso. No presentan superficie de falla, o ésta se desarrolla en un lapso muy breve al inicio del fenómeno.

Estos desplazamientos pueden ocurrir en cualquier formación no cementada, desde fragmentos de roca, hasta arcillas; suceden tanto en materiales secos, como húmedos. Muchos flujos rápidos en materiales secos ocurren asociados a fenómenos de presión de aire, en los que este juega un papel análogo al del agua en los fenómenos de licuación de suelos; mientras que otros fenómenos, en suelos muy húmedos son verdaderos procesos de licuación. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 25)

Figura Nro. 11 Talud sometido a lluvia.



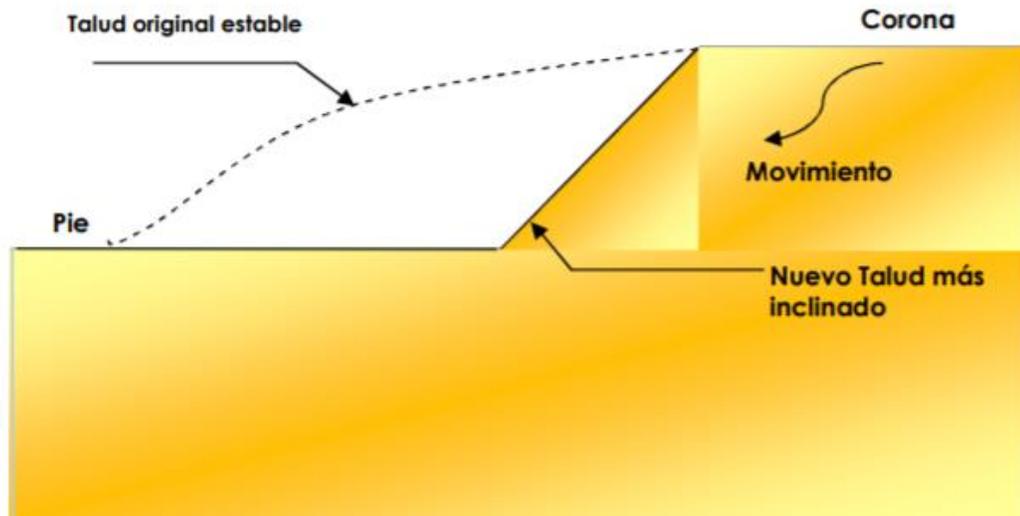
Fuente: (Montoya, 2009)

2.5.5 Fallas por erosión

Estas son también fallas de tipo superficial provocadas por arrastres de viento, agua, etc., en los taludes. El fenómeno es tanto más notorio cuanto más empinadas sean las laderas de los taludes. Una manifestación típica del fenómeno suele ser la aparición de irregularidades en el talud, originalmente uniforme. Desde el punto de vista teórico esta falla suele ser imposible de cuantificar detalladamente, pero la experiencia ha

proporcionado normas que la atenúan grandemente si se les aplica con cuidado. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 26)

Figura Nro. 12 Variación de la geometría de un talud por erosión.



Fuente: (Montoya, 2009)

2.5.6 Falla por licuación.

Estas fallas ocurren cuando en la zona del deslizamiento el suelo pasa rápidamente de una condición más o menos firme a la correspondiente a una suspensión con pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante. El fenómeno puede ocurrir tanto en arcillas extra sensitivas como en arenas poco compactas saturadas ante la acción de un movimiento sísmico severo. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 26)

2.5.7 Fallas por presión de poros

Cuando se aplica un esfuerzo externo a una masa de suelo cuyos poros están saturados de agua, el efecto inmediato es un aumento de la presión de poros, lo cual hace que el agua en los poros fluya hacia fuera de estos a través de los vacíos circundantes, con el resultado de que la presión de poros disminuye y el esfuerzo aplicado se transfiere a la estructura granular del suelo. Esta transferencia puede ser rápida, como en el caso de los suelos granulares y ocurrir poco tiempo después de la aplicación, con lo cual el esfuerzo total aplicado quedará equilibrado por los dos componentes del esfuerzo interno; sin embargo,

en suelos de baja permeabilidad como las arcillas esta transferencia de presión puede durar mucho tiempo, lo que origina el fenómeno de consolidación. (TARDEO DE LA CRUZ, 2016, pág. 27)

2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD DE TALUD

Factores constantes

- Naturaleza de los materiales
- Relación estructura-ladera
- Pendiente topográfica
- Vegetación

Factores variables

- Climatología
- Meteorización
- Agua
- Erosión fluvial y costera
- Acciones antrópicas

2.6.1 Factores constantes

Los factores constantes son los siguientes:

2.6.1.1 Naturaleza de los materiales

Desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo.

En los taludes donde aparecen varios materiales diferentes se debe elaborar un modelo que debe incluir todo los materiales, cada cual con su comportamiento característico, pero al mismo tiempo se debe analizar el comportamiento conjunto de los diversos materiales por ejemplo un material permeable sobre otro menos permeable, puede generar niveles de agua colgados. Un suelo duro puede fallar al cortante o deslizarse al deformarse un material subyacente menos duro. Generalmente en una formación geológica se encuentran

varios tipos de material y varios patrones de estructura, los cuales conjuntamente, determinan las características de los deslizamientos.

2.6.1.2 La estructura geológica.

Menciona que 'otro aspecto de gran importancia a considerar frente a la estabilidad es la relación y combinación de la disposición geométrica de los materiales aflorantes, con respecto a la orientación, pendiente y altura de la ladera natural (estructuras geológicas). En este sentido deberán observarse las discontinuidades presentes (planos de estratificación, fallas, di asieses, esquistosidad), atendiendo su inclinación, orientación, número, densidad, naturaleza, y morfología.

Estas características tienen gran importancia en el caso de materiales rocosos (calicatas, areniscas, etc.). Estas circunstancias se verán favorecidas por la circulación de agua de infiltración a través de las discontinuidades, que pueden actuar durante los periodos de lluvia como superficie de despegue".

2.6.1.3 La pendiente y topografía.

"La pendiente topográfica y la altura de las laderas son factores que condicionan el desarrollo de procesos de deslizamiento por su contribución a la inestabilidad de los materiales; tanto es así parámetros utilizados sistemáticamente en la mayoría de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes.

La pendiente o inclinación del talud depende, principalmente del tipo de material con que esté constituido y el estado del mismo. A este parámetro se le conoce como ángulo β . Existen distintos métodos para determinar la inclinación máxima posible del talud, como por ejemplo el Ábaco de Taylor, donde toma en cuenta la altura del talud, la cohesión, ángulo de rozamiento interno, peso específico y coeficiente de seguridad.

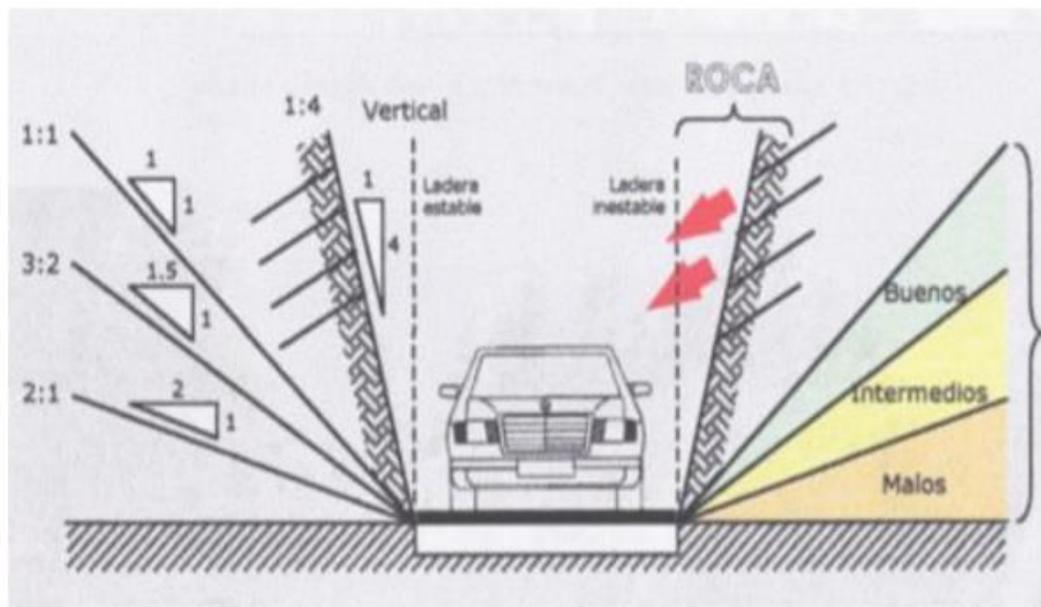
En el caso de taludes en roca la inclinación o relación (V/H) va entre 1 a 5.

- Granito, Basalto y lava, utilizan inclinaciones de 2 a 5.
- Arenisca masiva y caliza de 2 a 4.
- Sedimentarias Ineterestratificada entre 1.3 a 2.
- Arcillolita y limonita entre 1 a 1.3.
- Gneis, esquistos y mármol de 2 a 4.

- Pizarra de 1.3 a 2.

De acuerdo a Luis Bañón en taludes no rocosos la inclinación se determina por el ángulo de rozamiento interno, siendo habituales en obras de carreteras taludes de 1:1 para suelos granulares, 3:2 para intermedios y 2:1 para arcillosos, limos o con características especiales. Un ejemplo de esto se observa en la siguiente figura. (MADRIGAL, julio del 2015, pág. 5)

Figura Nro. 13 Taludes recomendados en zonas de desmonte.



Fuente: Karla Fabiola Ugalde Madrigal (Alternativas sobre estabilidad de taludes pág. 5)

Una topografía abrupta con valles profundos, grandes diferencias de altura entre yeguas, alto gradiente hidráulico, relieve esparcado, red de drenaje densa y laderas con morfología cóncava, es indicativa de zonas de alto potencial de inestabilidad.

2.6.1.4 Vegetación

Es éste un factor controvertido, tanto en su uso como parámetro a intervenir en la estabilidad, como en el papel que desempeña. Esto es debido tanto a las distintas circunstancias que se producen en la presencia de la amplia variedad de especies vegetales existentes, dentro de las cuales algunas tienen un marcado carácter estacional, como a los efectos que en ellas se manifiestan.

La presencia de una cobertera vegetal también favorece el drenaje por la absorción del agua superficial del terreno, al tiempo que disminuye el efecto producido por la erosión hídrica. Como contribución negativa, está la producida por el efecto de cuña realizado por algunas raíces al desagregar el suelo, provocando los consiguientes efectos mecánicos en grietas y fracturas.

2.6.2 Factores variables

Tenemos 5 factores variables que son las siguientes:

2.6.2.1 Clima e hidrología

Las causas que intervienen en los movimientos del terreno están muy influidas por las características climatológicas de la zona, que deben ser consideradas como agentes que influyen en la formación del relieve por su repercusión en los procesos geomorfológicos. Los efectos del clima se derivan principalmente de la pluviometría y temperatura. Por lo que respecta a las precipitaciones, no sólo influye el volumen total anual, sino también la distribución estacional, el régimen y su intensidad.

Durante el periodo de lluvias, los taludes se ven afectados al saturarse los suelos que los forman, provocando un aumento de peso de la masa, una disminución en la resistencia al esfuerzo cortante y la erosión de la superficie expuesta. Al introducirse agua en las grietas que presente el talud se origina un incremento en las fuerzas actuantes o aparición de fuerzas de filtración, pudiendo provocar la falla del mismo.

En general existe una buena correlación entre la frecuencia de deslizamientos y la estación del año, correspondiendo un mayor número de aquéllos a los meses más lluviosos. Este fenómeno se incrementa en zonas muy húmedas y durante los periodos con lluvias más

extensas e intensas aumenta también la magnitud de los movimientos, ya que el terreno presenta un elevado grado de saturación como consecuencia de lluvias anteriores.

2.6.2.2 Meteorización

Este factor produce una alteración de la roca o del sedimento original de la ladera, cambiando su resistencia y permeabilidad. Las transformaciones químicas, mineralógicas y texturales que se generan durante el desarrollo de este proceso, por la acción de reacciones de disolución, oxidación, hidrólisis, etc., destruyen el empaquetamiento de los materiales, disgregan el conjunto y generan una pérdida de la cohesión, lo que lleva en definitiva a una disminución de su resistencia.

2.6.2.3 Agua

El agua es el agente que contribuye con mayor peso a la modificación de las condiciones de estabilidad de una ladera. Por una parte, provoca la disgregación física de la estructura de las partículas del suelo, así como su alteración química mediante procesos de disolución, oxidación, etc. Todo ello genera cambios mineralógicos, composicionales y texturales, lo que da como resultado, en ambos casos, una disminución de sus parámetros resistivos. Por otra parte, cuando el agua se infiltra y percola en el subsuelo a través de poros y fisuras, puede formarse un nivel de saturación variable, con un drenaje y un flujo determinado. A nivel intuitivo, puede pensarse entonces, que el papel desestabilizador del agua procede del efecto lubricante que ésta produce sobre las partículas y discontinuidades del terreno.

¿Y por qué afecta la estabilidad?

- El agua aumenta el peso volumétrico de los materiales.
- Reduce la resistencia al esfuerzo cortante.
- Provoca problemas de erosión interna.

2.6.2.4 Erosión

Las laderas escarpadas de las riberas de los valles fluviales se ven afectadas por el caudal y nivel de agua. Durante las crecidas se modifican las condiciones geométricas y erosivas y puede cambiar la posición y extensión del cauce, al tiempo que aumenta la carga hidráulica y la capacidad erosiva del río. De este modo, se induce una socavación lateral en las márgenes y cambia la morfología inicial de las vertientes, aumentando su verticalidad. Todo ello genera una disminución de su soporte por la base, desarrollándose deformaciones elásticas e incrementándose el esfuerzo de corte sobre los materiales. El mismo efecto de socavación se produce en la base de los acantilados costeros por la acción del violento choque de las olas durante los periodos de tormenta, lo que actúa como factor modificador y desestabilizador del relieve y de la línea de costa.

2.6.2.5 El afecto antrópico

La inestabilidad de laderas puede ser producida por la actividad humana al alternar y modificar el equilibrio que existe en la naturaleza, debido a cortes y excavaciones para la construcción de caminos, vertido de rellenos de material suelto en los taludes y escarpe de las laderas.

El hombre induce cambios en el medio ambiente de un talud, pues las actividades humanas tienen una gran influencia sobre su comportamiento y especialmente, sobre la activación de los deslizamientos.

Las actividades humanas pueden modificar parte de los factores que se han tratado anteriormente. La intervención en laderas naturales o la construcción de taludes artificiales, tenderá a variar las condiciones de equilibrio iniciales, y podrá originar procesos de inestabilidad.

2.7 TIPOS DE ESTABILIZACION

Actualmente, se puede encontrar distintas medidas correctivas o tipos de estabilización de suelos; cada estabilización requiere un análisis y diseño teniendo en cuenta la topografía del área afectada, propiedades de los suelos y rocas, patrón de drenaje natural, modo de falla y un respectivo análisis de estabilidad además de la hidrología, vegetación, clima, entre otros. (UGALDE MADRIGAL , 2015, pág. 5)

- Modificación de geometría: Eliminación de terreno, Descabezamiento, Bermas.
- Corrección Superficial: Mallas, gunita (concreto proyectado), siembras.
- Corrección por drenajes: Drenajes superficiales, drenajes profundos.
- Elementos resistentes: Muros, anclajes, pantallas de pilotes o continuas.

2.7.1 Modificación de geometria.

El cambio de la geometría de un determinado talud puede realizarse mediante soluciones tales como la disminución de la pendiente a un ángulo menor, la reducción de la altura (especialmente en suelos con comportamiento cohesivo) y la colocación de material en la base o pie del talud (construcción de una berma); en esta última solución es común usar material de las partes superiores del talud

La consecuencia directa de realizar un cambio favorable en la geometria de un talud es disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y, en el caso de la implantación de una berma, el aumento de la fuerza resistente. Es importante destacar que la construcción de una berma al pie de un talud debe tomar en cuenta la posibilidad de causar inestabilidad en los taludes que se encuentren debajo, además, se deben tomar las previsiones para drenar el agua que pueda almacenarse dentro de la berma, ya que es probable que pueda haber un aumento de la presión de los poros en los sectores inferiores de la superficie de falla, lo que acrecienta la inestabilidad.

2.7.1.1 La eliminación del terreno.

Consiste en remover material de tal forma que se logre la estabilidad modificando la geometría por lo general se logra disminuyendo la pendiente del talud o con la creación de terrazas. Para taludes de relleno con problemas de asentamiento o estabilidad se utiliza la sustitución, donde se remueve el terreno y se reemplaza con material en condiciones mejores a las del terreno existente; no obstante, es un proceso largo dependiendo del área a manipular, ya que se debe realizar un proceso de compactación entre capa y capa de suelo.

2.7.1.2 El descabezamiento.

Radica en retirar material de la corona o cabeza del talud, ya que por lo general [...] es en la zona donde el peso del material contribuye más al deslizamiento y menos a la resistencia del mismo, dado que en la parte superior de la superficie de deslizamiento es donde esta tiene su máxima inclinación. Por ello, la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad. (Ayala Carcedo, 2006). No se debe remover el material deslizado (que se encuentra en el pie del talud), ya que el peso del material colocado en el pie del talud.

2.7.1.3 Las bermas.

Son cortes en la cara del talud en forma de “escalera”. Dividiendo el talud en múltiples taludes de dimensiones y tamaño controlables, además se recomienda el uso de drenajes transversales para el control de las aguas “La presencia de bermas en taludes da origen a dos tipos de taludes básicos, el talud de banco que oscila entre 75° y 90° y talud global o de corta entre 10° y 50° ”

2.7.2 Corrección superficial

Definición de protección con mallas de acero

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

Por su naturaleza, permite un rápido drenaje del agua que satura el terreno y ayuda a la reforestación más fácilmente. Es un hecho que el aspecto de los taludes debe ser lo más natural e integrado posible con el medio circundante. De esta forma las mallas de acero de alta resistencia establecen un efectivo y económico sistema de protección del suelo en taludes contra la erosión.

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

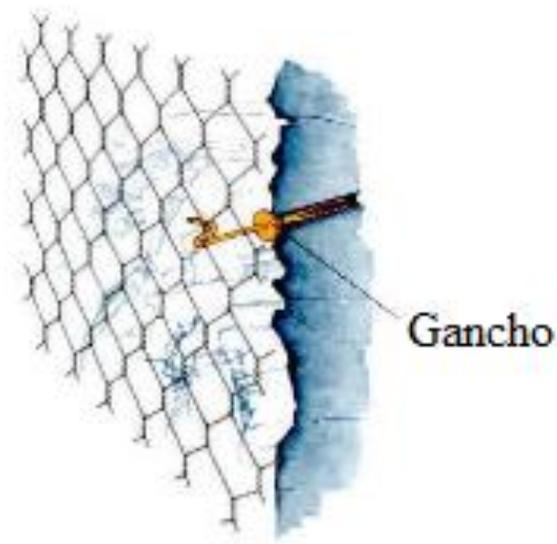
Usos generales de mallas de acero de alta resistencia

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

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

- Cuando existen rocas sueltas con tamaños menores de 0,6 – 1 m hay la posibilidad de reforzar la superficie del talud usando malla hexagonal anclada, sirve como refuerzo de la superficie.
- En el caso de rocas compactas, para poder prevenir que estas tengan rupturas, se puede usar la malla de triple torsión simplemente enganchada a la superficie.
(ver figura 12)
- En los casos de roca fracturada o en presencia de tierra y piedras sueltas, la red puede ser sujeta a través de barras de acero clavadas en el talud. En estas situaciones el revestimiento con red en malla hexagonal de triple torsión permite el rápido crecimiento de la vegetación. A través de las mallas pueden, inclusive crecer árboles, de tal manera que en poco tiempo el talud revestido tendrá la apariencia de una ladera natural.

Figura Nro. 14 Estabilización usando ganchos en la malla.



Fuente: Folleto Maccaferri

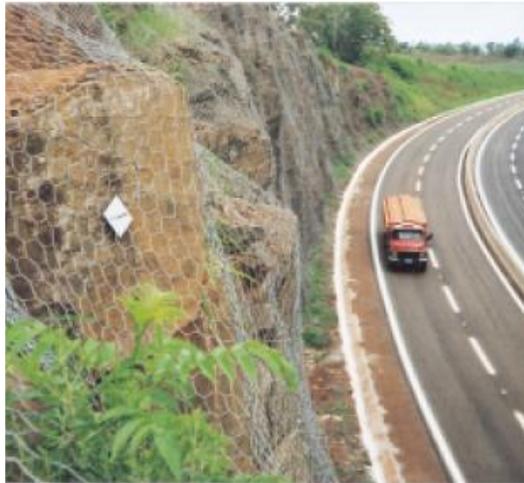
Características y ventajas

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

Su configuración geométrica (hexagonal de triple torsión) impide, en caso de ruptura, que los alambres se deshilen y, por ser tejida (no soldada) acompaña fácilmente la conformación de la superficie del talud. (ver figura 13)

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

Figura Nro. 15 Protección con malla



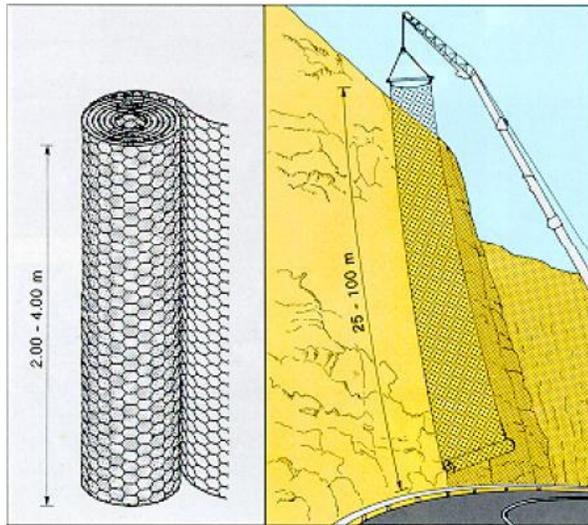
Fuente: Folleto Maccaferri

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

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

Otra de las ventajas más sobresalientes de las mallas de acero de alta resistencia usadas para la estabilidad de taludes es el bajo costo de instalación, dependiendo del tamaño del rollo de malla (figura 2.14). Se puede decir también que actúa como revestimiento y favorece la recomposición ambiental.

Figura Nro. 16 Instalación de mallas en caídos



Fuente: Folleto Maccaferri.

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

Figura Nro. 17 Estabilización con mallas



Fuente: Folleto Maccaferri.

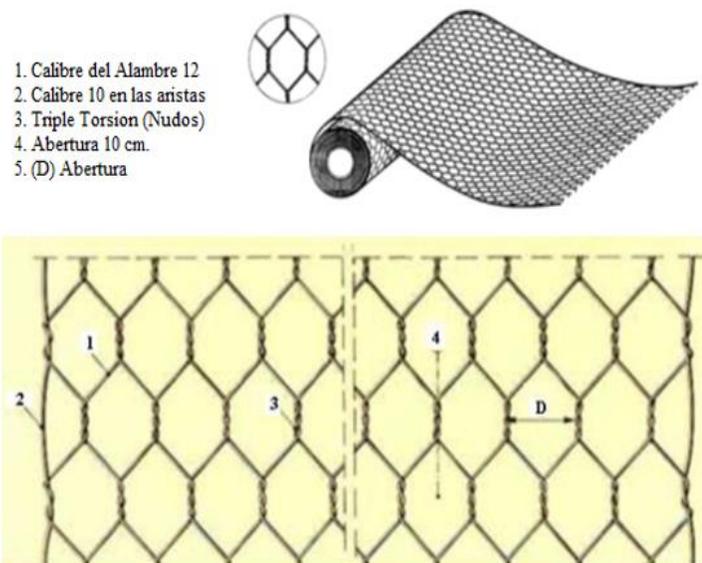
Especificación de malla metálica triple torsión

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

Todas las mallas son fabricadas con alambre galvanizado clase III, calibre de alambre 12, reforzado con calibre 10 en las aristas (triple galvanización) conforme con las normas para la resistencia mecánica (figura 16).

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

Figura Nro. 18 Malla de triple torsión.



Fuente: Folleto presentación de estabilización Maccaferri.

Descripción de la malla

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

Tabla 6 Especificación de la malla para control de caídos

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

Fuente: Folleto especificaciones malla Maccaferri

Esquema de aplicación y colocación

El modo de colocar las redes pueden ser varios y deben ser elegidos en función de la inclinación del talud, de su naturaleza geofísica, de las dimensiones de los materiales que normalmente pueden desprenderse y de la posibilidad de fijarse con anclas en las extremidades superiores e inferiores (fotografía 17).

Figura Nro. 19 Colocación de anclas en T.



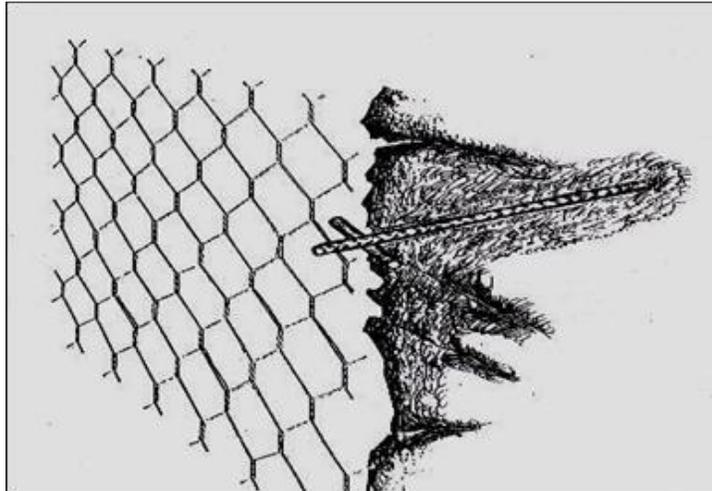
Fuente: Folleto protección contra caídos Maccaferri

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

Hay varios tipos de anclaje que se usan para la parte superior del talud; los más usados para fijar las mallas de acero de alta resistencia son las varillas en forma de “T” o placas

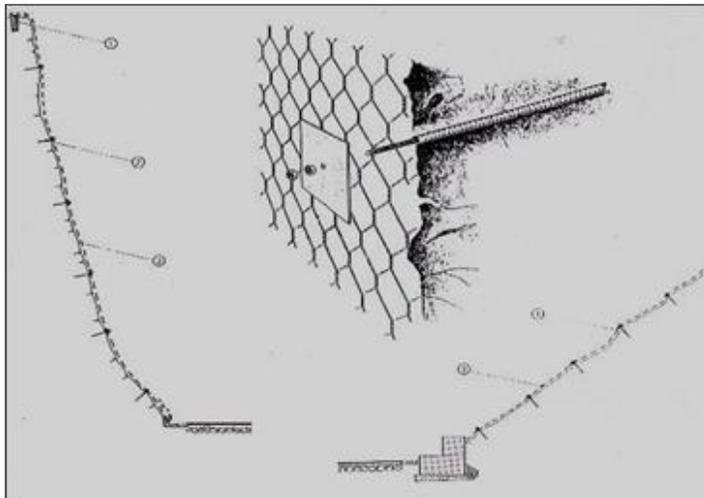
de acero colocadas a una profundidad de un metro y posteriormente ahogadas con mortero-cemento-arena.

Figura Nro. 20 anclajes con varillas en forma de T.



Fuente: Folleto Maccaferri

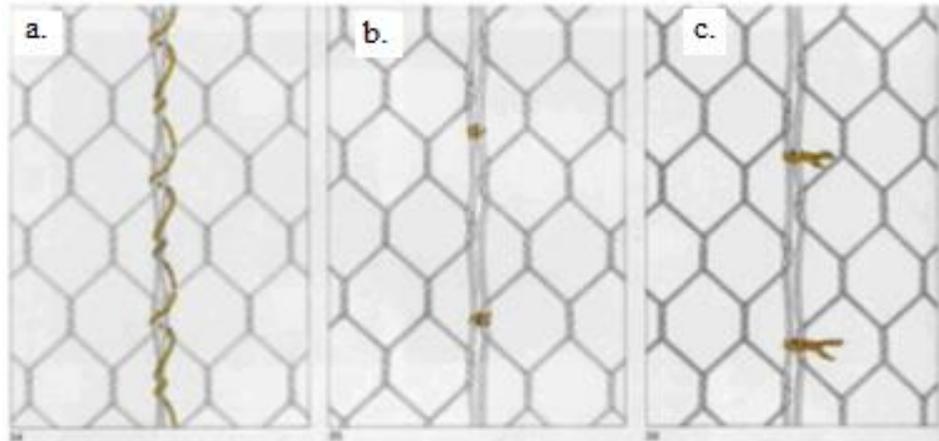
Figura Nro. 21 Anclaje con placa de acero



Fuente: Folleto Maccaferri

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

Figura Nro. 22 Tipos de amarre



Fuente: Folleto estabilización Maccaferri

Amarre continuo (espiral).

Amarre mecánico.

Amarre de moño.

2.7.2.1 El concreto proyectado.

Es un concreto rociado sobre la superficie de taludes de roca susceptible a la caída de bloques o deslizamiento de detritos, también se usa cuando la siembra no da una estabilidad a largo plazo o simplemente no es posible plantar el talud. Cuando la superficie de suelo es de granulometría menor a 2cm se utiliza una lechada conocida como Gunita. Cabe destacar, que el concreto lanzado o proyectado no está diseñado para resistir presiones de tierra es indispensable drenar el talud. “Este método se utiliza para el control de meteorización en roca y los desprendimientos en pequeña magnitud y al combinarlo con anclajes aumenta la resistencia frente a un deslizamiento”. (Instituto Geológico y Minero De España, 1986, pag 335).

El uso de hormigón lanzado puede ser usado en:

- Estructuras nuevas (especialmente secciones plegadas o curvas), Por ejemplo: techos, paredes, tanques pres forzados, recipientes, albercas, taludes, túneles y alcantarillas de aguas negras.

- Recubrimientos de mamposterías de ladrillo, concreto, piedra o acero para protección o presentación.
- Recubrimiento de taludes en carreteras.
- Recubrimiento de estructura de concreto, losas, muros de concreto y mampostería, bóvedas de ladrillo y mampostería.
- Reparación de estructuras de concreto dañadas, tales como puentes, revestimientos de tanques, presas, túneles, chimeneas y estructuras marítimas.
- Reparaciones generales de concreto descascarado en edificios antiguos de concreto reforzado.
- Reparaciones de estructuras de concreto y mampostería dañadas por sismos o incendios.

Propiedades

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

Generalmente se recomienda dosificar los materiales en peso. La curva de composición deberá tener una granulometría máxima de 8 mm. Como primera aproximación, la dosificación de cemento será 400 kg/m³. Para la vía húmeda, la relación A/C (agua/cemento) estará comprendida generalmente entre 0,40 y 0,50.

Materiales

Cemento

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

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

Agregados

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

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

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

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

Agua

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

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

Aditivos

Puede ser deseable incluir aditivos en el hormigón lanzado para usos y condiciones de colocación especiales. Empleando con cuidado los aditivos que pueden producir

resultados muy satisfactorios, pero algunos aditivos que han sido satisfactorios en el hormigón normal, pueden no ser útiles en el hormigón lanzado.

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

Aplicación

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

Superficies blandas o mojadas por infiltraciones deberán recibir solamente chorros de aire comprimido (figura 21).

Figura Nro. 23 Limpieza del talud con aire comprimido



Fuente: Folleto Maccaferri

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

El operador deberá mantener la punta de lanzamiento a 1 m de distancia del punto de aplicación y conservar el chorro en dirección normal a la superficie de incidencia (figura 22).

Figura Nro. 24 Aplicación de hormigón lanzado



Fuente: Folleto de Maccaferri

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

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

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

Para obtener los espesores especificados por el proyecto, el hormigón lanzado deberá ser ejecutado en sub.-camadas, debiendo el cemento del hormigón de la sub-camada anterior estar entre la fase inicial y final, y dar adherencia cuando la aplicación siguiente tenga un espesor no superior a cinco (5) centímetros. El intervalo entre dos aplicaciones, deberá estar comprendido entre treinta (30) minutos a una hora. Las sub-camadas aplicadas deberán tener la misma dosificación y la misma relación agua/cemento.

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

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

2.7.3 Corrección por drenaje

Los drenajes se encuentran presentes en casi todos los métodos de corrección debido a que son una forma de preservar las propiedades iniciales de diseño, de no ser así el agua puede aumentar drásticamente la presión de poro incurriendo en la inestabilidad y provocando que el método de corrección utilizado ya no sea funcional; aunque por si solos los drenes funcionan muy bien como método de corrección, algunos ejemplos son las zanjas en la corona, canales de conducción de agua, cunetas y zanjas combinadas con bermas, con estacas y vegetación. “Tienen como objetivo reducir las fuerzas causantes del deslizamiento y aumentar los esfuerzos normales efectivos sobre la superficie de falla.”

2.7.3.1 Los drenajes superficiales.

Son utilizados para el control de erosión, corresponden zanjas transversales construidas en la cabeza del talud que desvían el agua evitando que se infiltre o baje por la cara del talud. Existen diversos diseños y procesos constructivos de drenajes, desde una simple excavación hasta sistemas con tuberías y geo textiles en la figura 5 se aprecia distintos diseños los cuales dependen del terreno y el presupuesto. En el caso de detectarse grietas de tracción en la cabecera del talud deben ser selladas con material impermeable, si la grieta posee un ancho entre 5 y 10cm se debe sellar previamente y rellenarse de grava u otro material permeable permitiendo que el agua que se filtra pueda alejarse rápidamente de la zona. Esto se debe a que una grieta rellena totalmente de agua genera presiones intersticiales importantes provocando problemas de estabilidad.

2.7.3.2 Drenaje profundo.

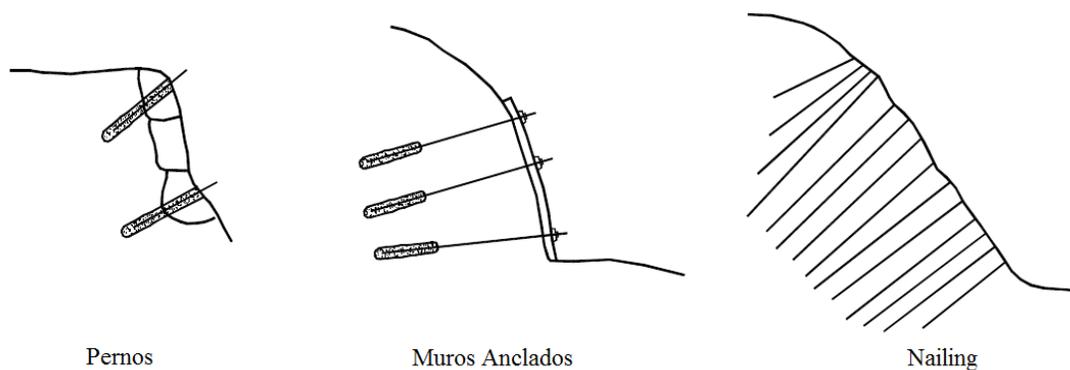
Por lo general se utilizan en taludes excavados y en taludes naturales inestables, consiste en orificios que penetran el terreno y recolectan el agua atrayendo líneas de corriente y deprimiendo el nivel freático. Se clasifican en drenajes horizontales, posos verticales, galerías de drenaje y zanjas de relleno drenante.

2.7.4 Corrección por elementos resistentes

Los anclajes.

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

Figura Nro. 25 Esquema de estructuras ancladas



Fuente: Suarez, Dias 1998.

Tabla 7 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructuras ancladas.

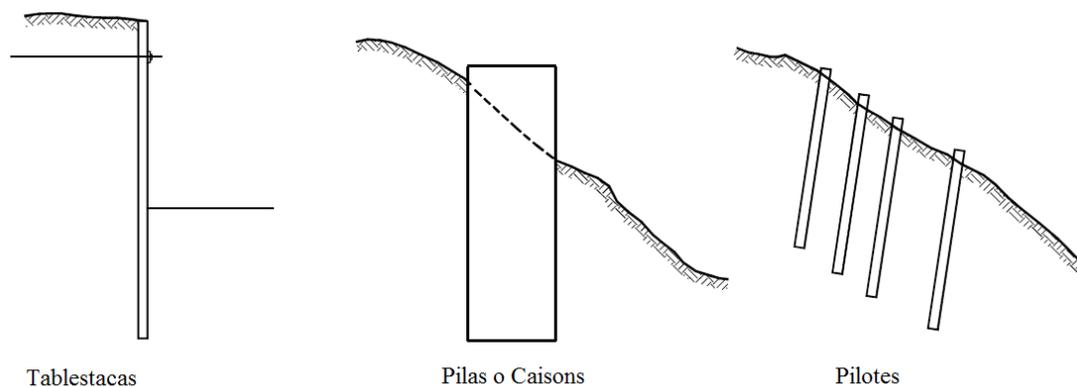
Estructura	Ventajas	Desventajas
Anclajes y pernos individuales	Permiten la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo de roca.	Pueden sufrir corrosión.
Muros anclados	Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza con el proceso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

Fuente: Suarez DIAS 1998.

Estructuras enterradas

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

Figura Nro. 26 Esquemas de estructuras enterradas



Fuente: Suarez Díaz 1998

Tabla 8 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructuras enterradas.

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

Fuente: Suarez Díaz. 1998

Los muros.

Se emplean como elementos resistentes en taludes; así la construcción implica excavar en el pie del talud lo cual puede desestabilizar el talud hasta que el muro esté instalado. Los muros se pueden clasificar en tres grandes grupos: Muros de sostenimiento los cuales se construyen separados del terreno y luego se rellenan; muros de contención que van excavados y se construyen para contener un terreno inestable, y muro de revestimiento el cual protege el terreno de la erosión y meteorización, además de proporcionar un peso estabilizador.

2.8 METODOS DE ANALISIS

A continuación se presentan algunos métodos de análisis universalmente conocidos para el cálculo del factor de seguridad.

Para taludes simples homogéneos se han desarrollado tablas que permiten un cálculo rápido del factor de seguridad. Existen una gran cantidad de las tablas desarrolladas por Taylor en 1937 y 1948 las cuales son aplicables solamente para análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poros. Desde entonces varias tablas han sido sucesivamente presentadas por Bishop y Moegenstem (1960), Terzaghi y petk (1967).

Se basan exclusivamente en las leyes de estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza tota y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Se pueden clasificar a su vez en 2 grupos:

- Métodos exactos
- Métodos no exactos

Métodos exactos:

La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio limite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de

rotura, etc.). Esto solo es posible en taludes de geometría sencillas, como por ejemplo la rotura planar y a rotura por cuñas.

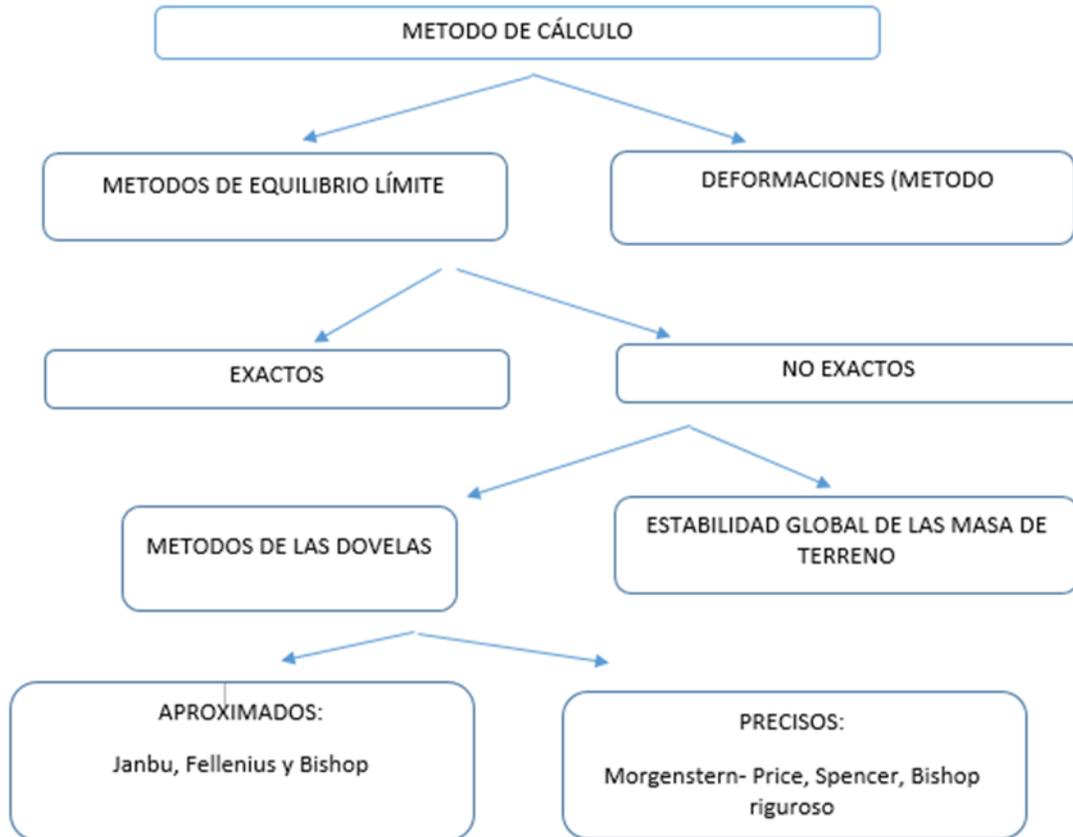
Métodos no exactos

En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de la rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es hiperestático y así de hacerte una simplificación o una hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de las dovelas o rebanas pueden clasificarse en dos grupos:

- Métodos aproximados: no cumplen todas las ecuaciones de la estática. se pueden citar por ejemplo los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.
- Métodos precisos o completos: cumplen todas las ecuaciones de la estática. los más conocidos son los de Morgenstern- Price, Spencer y Bishop riguroso. (FERNÁNDEZ, 2017, pág. 5)

Esquema 3 Muestra los diferentes métodos de cálculo.



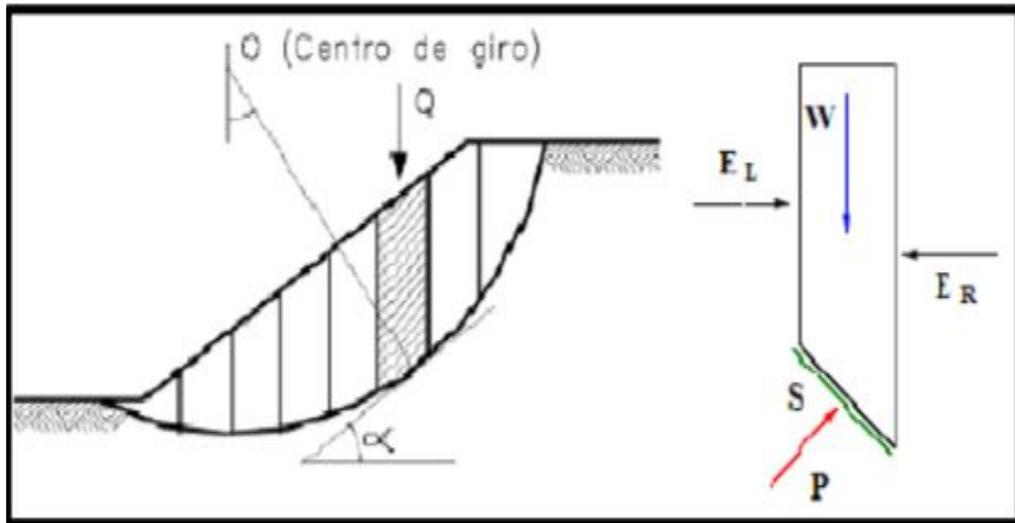
Fuente: Nora Melissa Arteaga Fernández para optar título de bachiller Ing. Geólogo
Cajamarca-Perú 2017

2.8.1 Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales. (SUAREZ DIAZ, pág. 155)

Es un método que supone una superficie de falla circular, en la cual la masa deslizante se divide en rebanadas verticales. En dichas dovelas se toman en cuenta las cargas externas y fuerzas normales, pero se ignora las tensiones tangenciales. Fig.12

Figura Nro. 27 Esquema de fuerzas actuantes en las dovelas método Bishop



Fuente: Mauricio Antonio Delgado Villagómez Quito junio 2018 Pag.42

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón, se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo con la expresión:

$$F.S. = \sum \frac{\{(C'b) + (W - ub) \tan \phi' / ma\}}{\sum W \text{Sen } \alpha}$$

Donde:

$$ma = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi'}{F.S.}\right)$$

b=Ancho de la dovela

W=Peso de cada dovela

C' φ =Parámetros de resistencia del suelo

u= Presión de poros en la base de cada dovela= w_y * h_w

α =ángulo del radio de la vertical en cada dovela

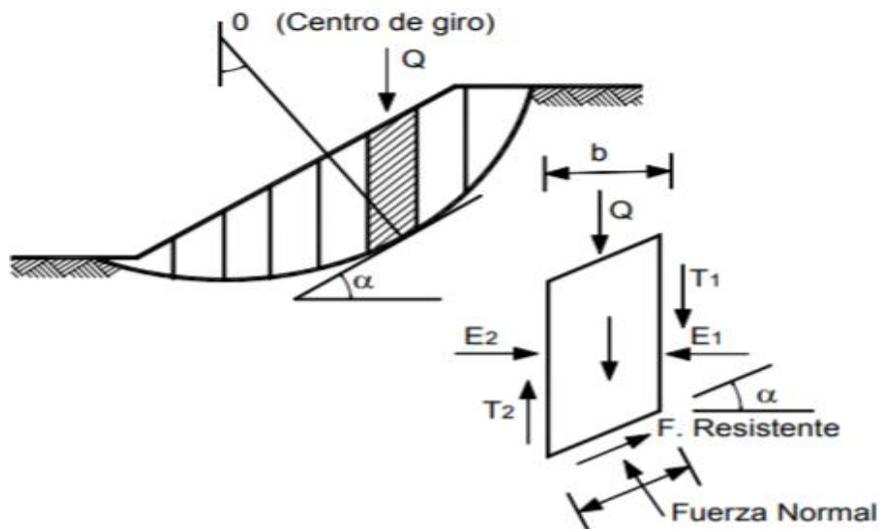
Es un método confiable pues su valor varía con un 5% con los métodos más precisos, puede ser aplicado también en superficies de falla no circulares. (VILLAGÓMEZ, 2018, pág. 42)

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes. Aunque el método sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario.

2.8.2 Método ordinario o de Fellenius

El método de Fellenius es conocido también como método Ordinario, método sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo (producidos por estas fuerzas) se obtiene el Factor de Seguridad. (SUAREZ DIAZ, pág. 153)

Figura Nro. 28 Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas.



Fuente: Deslizamientos análisis Geotécnico Jaime Suarez pag.154

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son:

- El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.
- Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.
- Las fuerzas de presión de tierra y cortante en las paredes entre dovelas, no son consideradas por Fellenius.

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

$$F.S. = \frac{\sum[(C' * \Delta l) + (W * \cos \alpha - u \Delta l \cos^2 \alpha) \tan \phi']}{\sum W * \sin \alpha}$$

Dónde:

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

W = Peso total de cada tajada.

u = Presión de poros = $\gamma_w h_w$

Δl = Longitud del arco de círculo en la base de la tajada

C' , ϕ' = Parámetros de resistencia del suelo. La ecuación anterior se conoce como ecuación de Fellenius.

El método ordinario o de Fellenius solamente satisface los equilibrios de momentos y no satisface el equilibrio de fuerzas. Para el caso de $\phi = 0$, el método ordinario da el mismo valor del factor de seguridad que el método del arco circular.

Los análisis del método de Fellenius son muy sencillos y se pueden realizar con métodos manuales o en el computador. Debe tenerse en cuenta que el método ordinario es menos

preciso que otros procedimientos y la precisión disminuye a medida que la presión de poros se hace mayor. (SUAREZ DIAZ, pág. 154)

2.8.3 Método de Janbu simplificado

El método simplificado de Janbú se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante.

La condición de equilibrio proporciona un factor de seguridad en el cual se aplica un factor de corrección f_0 para suplir la ausencia de fuerzas entre elementos de la dovela. La expresión matemática que relaciona el factor de seguridad entre fuerzas horizontales y fuerzas entre elementos es:

$$F_f = f_0 * F_0$$

Donde:

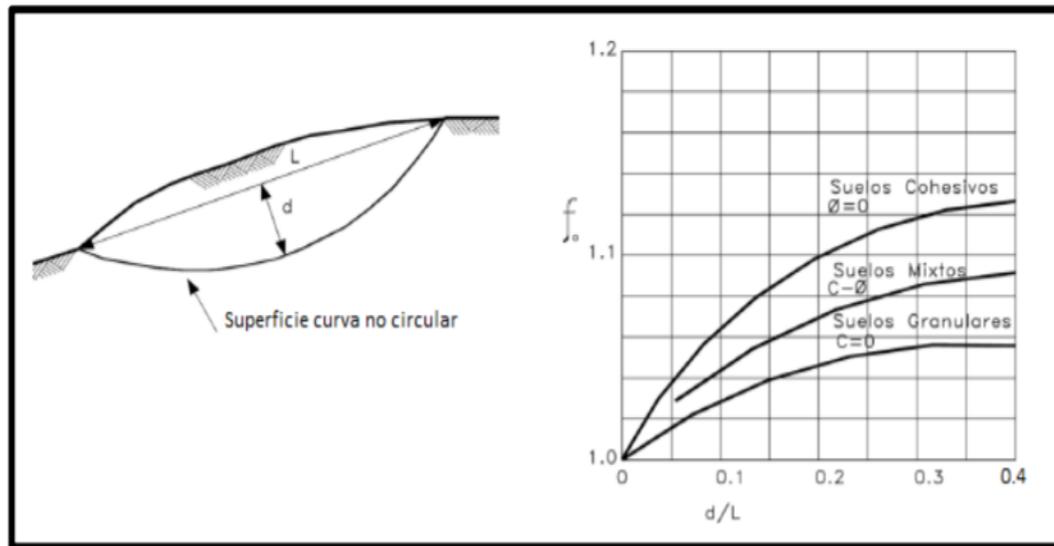
F_f = Equilibrio de fuerzas horizontales

f_0 = Factor de corrección

F_0 = Fuerzas entre elementos

Janbú considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección f_0 . El factor f_0 depende de la curvatura de la superficie de falla (tabla 9).

Tabla 9 de corrección fo en el método Janbu



Fuente: Mauricio Antonio Delgado Villagómez Quito 2018 pág. 43

El método de Janbú solamente satisface el equilibrio de esfuerzos y no satisface el equilibrio de momentos. De acuerdo con Janbú (ecuación modificada):

$$F.S. = \frac{f_o \sum [(C' * b) + (W - ub) \tan \phi] * \left(\frac{1}{\cos \alpha * m_a} \right)}{\sum (W * \tan \alpha)}$$

Donde:

$$m_a = \cos \alpha \left(1 + \frac{\{\tan \alpha * \tan \phi\}}{F.S.} \right)$$

b = Ancho de la dovela

W = Peso de cada dovela

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

u = Presión de poros en la base de cada dovela = $w\gamma * h_w$

α = ángulo del radio de la vertical en cada dovela.

A continuación se presenta un resumen de las tablas desarrolladas por Janbú (1968). Esta serie de tablas tiene en cuenta diferentes condiciones geotécnicas y factores de sobrecarga en la corona del talud, incluye sugerencia y grietas de tensión.

a) Para suelos $\varphi = 0$

Las tablas indicadas en la cuadro 5 pueden ser utilizadas para el análisis de estabilidad de taludes de suelos arcillosos sin fricción, de acuerdo a procedimiento desarrollado por Janbú (1968). El Factor de Seguridad se obtiene por la siguiente expresión:

$$F.S. = N_o (c / \gamma H)$$

Donde:

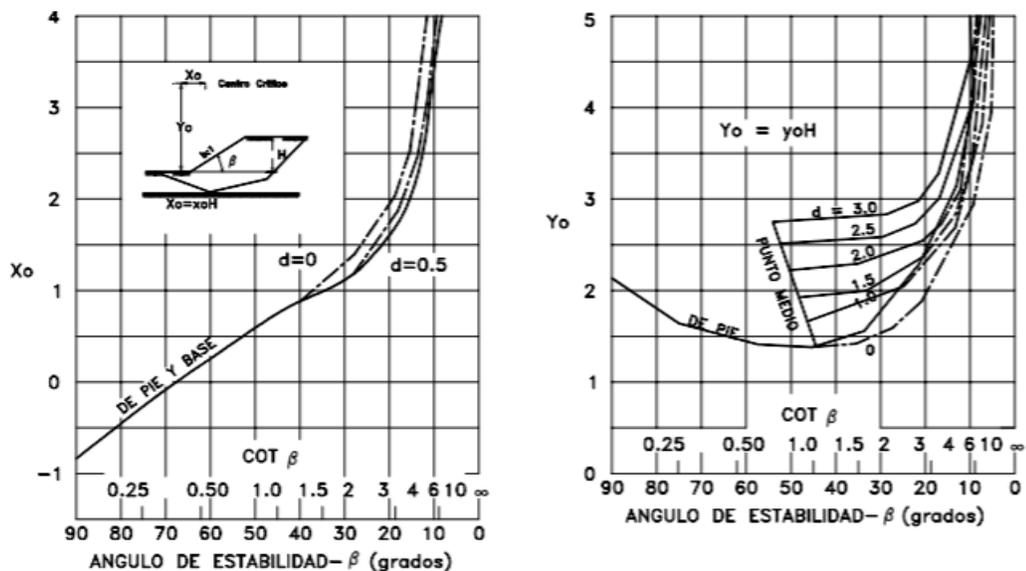
N_o = Número de estabilidad que se obtiene de la tabla

c = Cohesión

γ = Peso unitario del suelo

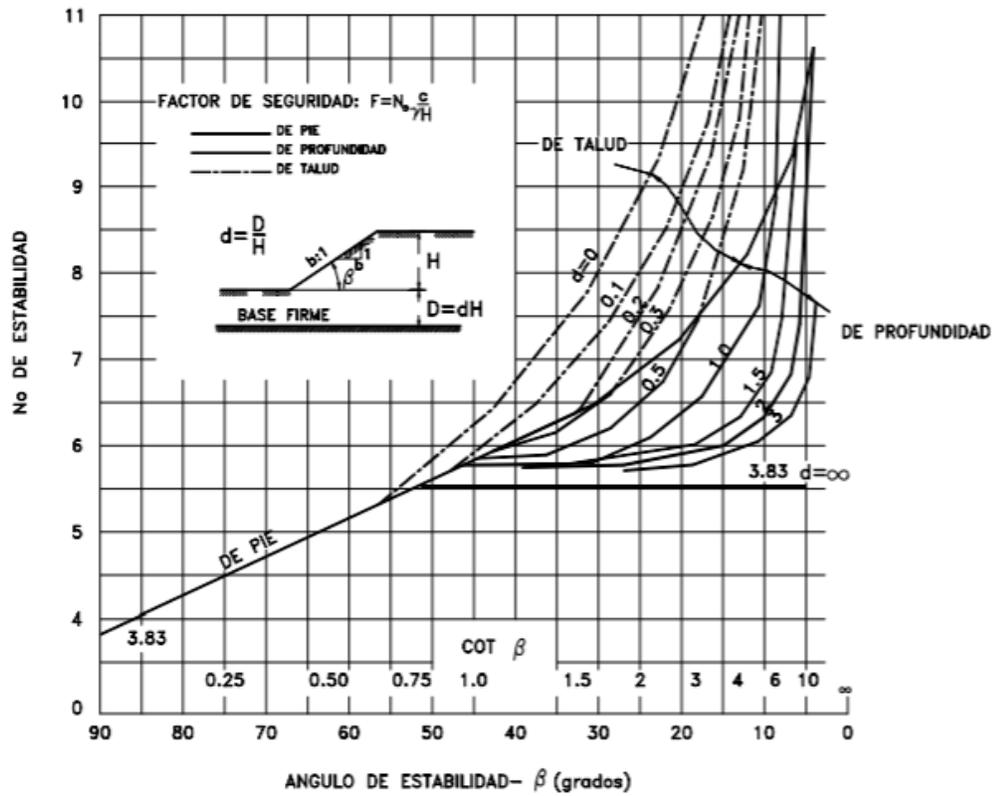
H = Altura del talud

Tabla 10 Tablas de estabilidad para suelos cohesivos ($\varphi = 0$) de acuerdo a Janbú.



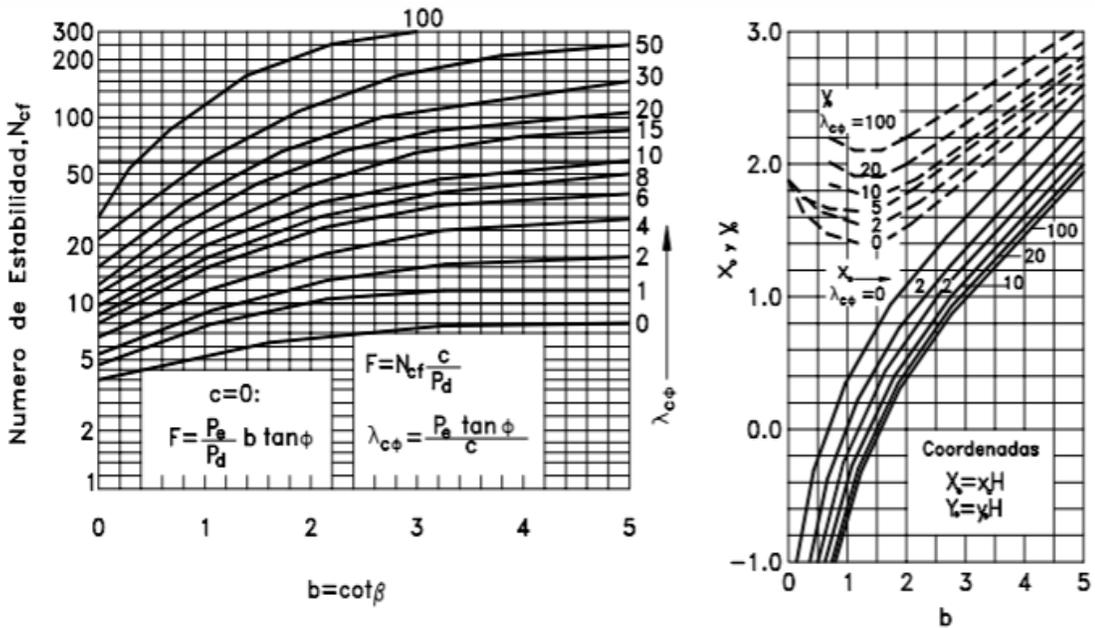
Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales Jaime Suarez

Tabla 11 Tablas de estabilidad para suelos cohesivos ($\varphi = 0$) de acuerdo a Janbú.

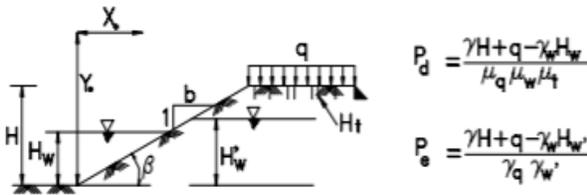


Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales Jaime Suarez

Tabla 12 Tablas de estabilidad para suelos no cohesivos $\phi > 0$ de acuerdo a Janbú (1968).



Centro Critico



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales Jaime Suarez

b. Para suelos $\phi > 0$

En la mayoría de los casos para suelos $\phi > 0$ el círculo crítico pasa por el pie del talud y la tabla de estabilidad que se muestra en la figura 11, se basa en esta suposición. El factor de seguridad F es calculado por la expresión:

$$F.S = Ncf (c / Pb)$$

Donde:

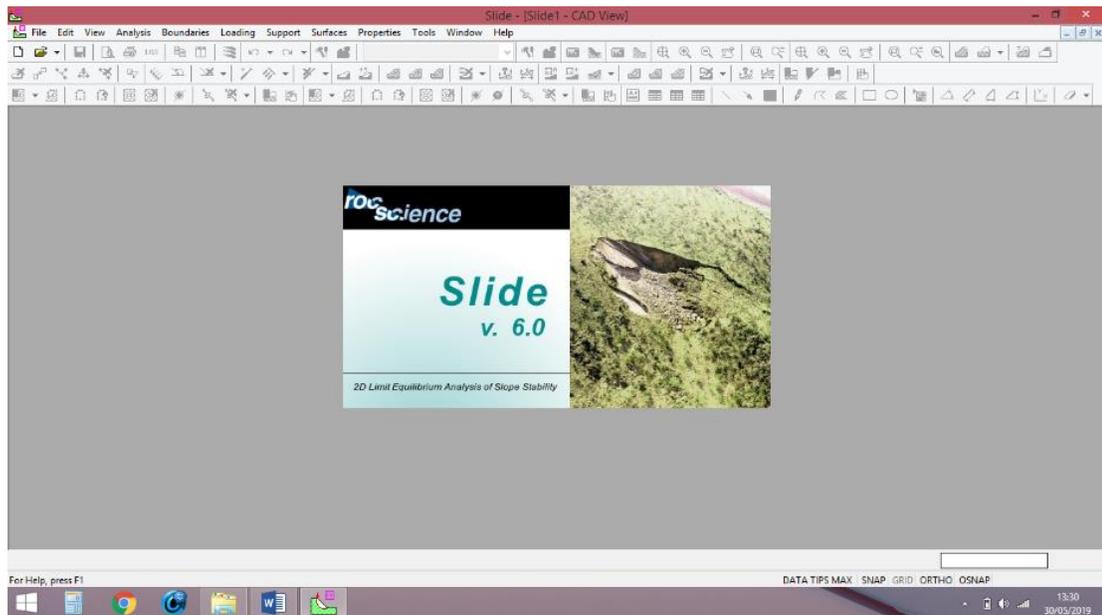
Ncf y Pd = Son los obtenidos en la gráfica

c = Es la cohesión promedio.

2.8.4 Slide v6.0 (Software)

Slide es un software de análisis de estabilidad de taludes en 2D utilizado por la ABC, que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.

Figura Nro. 29 Inicio del programa Slide V6.0



Fuente: Elaboración propia

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

2.8.4.1 Características

- Fácil de crear y editar geometría de modelo complejo.
- El modelador de múltiples escenarios permite al usuario ejecutar múltiples modelos en un solo archivo de Slide.
- Análisis de filtración de aguas subterráneas a través elementos finitos incorporados.

- Numerosas opciones de tipo de soporte (por ejemplo, perno anclado en el extremo, Tieback, geotextiles) incluyendo la integración con el nuevo módulo RSPile.

2.8.4.2 Aplicaciones

Su ámbito de aplicación es muy amplia, especialmente dirigido a obras civiles, geotecnia, minería y sísmica; permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas (figura 28), tales como:

- Estabilidad de terraplenes.
- estabilidad de presas.
- estabilidad de taludes
- los efectos de cargas externas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.
- análisis de filtración de aguas subterráneas.

Figura Nro. 30 Aplicaciones del software Slide



Fuente: Manual de Slide – Rocscience

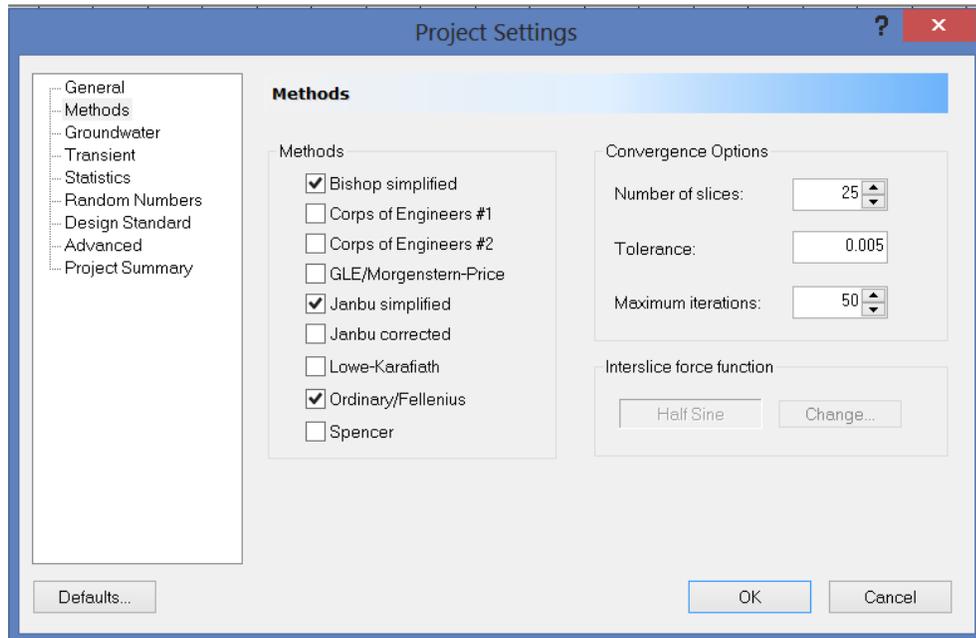
2.8.4.3 Metodos de analisis

En el software Slide se puede seleccionar entre diversos métodos de análisis (figura 29), dependiendo del tipo de análisis que se va a realizartales como:

- Método de Fellenius

- Método de Bishop simplificado
- Método de Janbu
- Método Spencer
- Método de Morgenstern – Price, entre otros.

Figura Nro. 31 Ventana de métodos de análisis en el software Slide



Fuente: Elaboración propia programa Slide

Para ver el factor de seguridad Mínimo Global y superficie para otros métodos de análisis, use el mouse para seleccionar un método desde la lista descendiente en la barra de herramientas. Por ejemplo, seleccionar el método de Janbu simplificado y observe los resultados. En general, el factor de seguridad Mínimo Global y superficie de deslizamiento, pueden ser diferentes para cada método de análisis

CAPITULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACION

3.1 METODOLOGIA

Este trabajo describe las etapas y metodologías relacionadas al estudio e identificación de zonas inestables, ya que su ocurrencia en diversas soluciones puede generar un alto riesgo en las vidas humanas así como la falla de estructuras en obras civiles.

El presente trabajo de investigación se realizara tanto ensayos en laboratorio como mediciones en campo y trabajo en gabinete, que se explicara a continuación.

Primeramente se procede a visitar el lugar para realizar una previa inspección y revisar los puntos de donde se obtendrá las muestras de suelos para los respectivos ensayos, luego a la extracción de suelo que se necesitara para poder realizar los distintos ensayos en laboratorio.

Se tomara muestras del pie, medio, cabeza de cada talud, posteriormente se realizara la granulometría de suelos de cada una de las muestras.

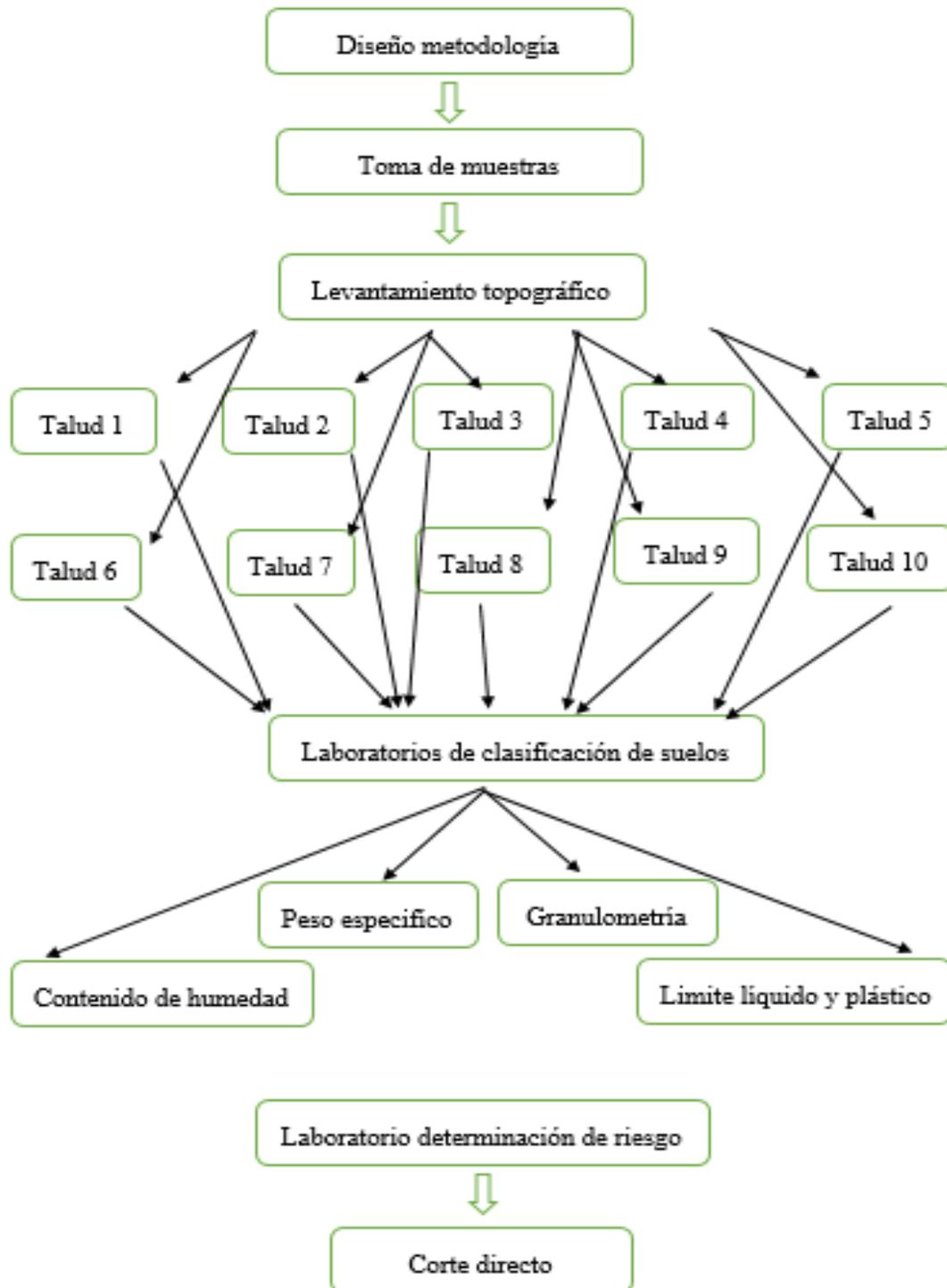
También se realizara los ensayos de peso específico, límites de Atterbertg – Plasticidad, contenido de humedad, y clasificación de suelos de cada parte de los taludes, lo cual permite tener una idea del comportamiento del suelo mediante la descripción de sus características propias dadas por la zona y tipo de suelo que lo conforman.

Concluida la caracterización de los materiales extraídos en campo se determinan los tipos de suelo de cada talud y se realizara el ensayo de corte para determinar los datos necesarios para sacar los factores de seguridad de cada talud en estudio y así para conocer de una forma más precisa la estabilidad o no de estos taludes en estudio.

Una vez realizados todos estos ensayos se deberá realizar un trabajo en gabinete donde se analizara los resultados si cumple o no el factor de seguridad de cada uno de los taludes y por ultimo llegar a conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo de investigación.

3.1.1 Esquema estructural

Esquema 4 Esquema estructural sobre los laboratorios a realizar



Fuente: Elaboracion propia

3.2 UBICACION

El proyecto está ubicado en el departamento de Tarija en la provincia O'Connor en el tramo de la carretera entre ríos – palos blancos aproximadamente 84 km de la ciudad de Tarija.

Figura Nro. 32 mapa político de Tarija



Fuente: mapas políticos

vista de la zona de estudio Entre Rios – Palos Blancos

Figura Nro. 33 Departamento de Tarija



Fuente: fuente google earth

3.2.1 Los taludes a analizar son 10 como muestra en la siguiente lista.

Talud # 1 Se encuentra en la subida a la abra de San simón aproximadamente a 81.6 km de la ciudad de Tarija

Talud # 2 Se encuentra en la cuesta de San simón aproximadamente a 86 km de la ciudad de Tarija.

Talud # 3 Se encuentra ubicado aproximadamente en Serere a 89 .4 Km de la ciudad de Tarija.

Talud # 4 Este talud se encuentra pasando la comunidad de Berety aproximadamente a 101.1 Km de la ciudad de Tarija

Talud # 5 Se encuentra en el tramo Berety – Tacuarandi aproximadamente a 103.4 km de la ciudad de Tarija

Talud # 6 Se encuentra en el cruce camino a Tarupayo aproximadamente a 108 km de la ciudad de Tarija.

Talud # 7 Se encuentra en la comunidad de Serere aproximadamente a 90.1 km de la ciudad de Tarija.

Talud # 8 Se encuentra en el cruce de Tarupayo aproximadamente a 105.7 km de la ciudad de Tarija.

Talud # 9 Se encuentra en la cuesta de San simón aproximadamente a 86.2 km de la ciudad de Tarija.

Talud # 10 Se encuentra en el cruce de Tarupayo aproximadamente a 105.7 km de la ciudad de Tarija.

3.2.2 Ubicación de los tramos de estudio

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

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

Tabla 13 Relevamiento tramo en estudio.

Progresiva km.		Punto interés	Observaciones
Inicio	Fin		
0+000	0+321	Talud 1	Talud de gran altura con mucho material suelto.
4+400	4+531	Talud 2	Talud con bastante material arcilla arenosa.
7+800	7+940	Talud 3	Talud con grietas y caída de material
19+500	19+555	Talud 4	Talud con desprendimiento de material arcilloso y caída de sedimentos.
21+800	21+938	Talud 5	Talud de gran longitud con desprendimiento de material arcilloso.
26+400	26+525	Talud 6	Talud de gran altura con gran desprendimiento de material suelto y presencia de humedad.
8+500	8+655	Talud 7	Talud con gran cantidad de material orgánico.
24+050	24+196	Talud 8	Talud de gran longitud con gran desprendimiento de material granular.
4+600	5+032	Talud 9	Talud de gran longitud con gran desprendimiento de material arcilloso.
24+100	24+259	Talud 10	Talud de gran altura con caída de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia

Figura Nro. 34 Ubicación de los taludes en estudio



Fuente: Google earth

Ubicación real del proyecto que se encuentra en carretera del departamento de Tarija hacia el chaco. En el tramo entre ríos – palos blancos.

Talud # 1.- tiene una latitud S $21^{\circ} 28'18.336''$ y una longitud de W $64^{\circ}8'56.448''$ con una altura de 1367 msnm.

Talud # 2.- tiene una latitud S $21^{\circ} 27'56.448''$ y una longitud de W $64^{\circ}7'49.786''$ con una altura de 1138 msnm.

Talud # 3.- tiene una latitud S $21^{\circ} 26'54.3156''$ y una longitud de W $64^{\circ}6'42.6708''$ con una altura de 1021 msnm.

Talud # 4.- tiene una latitud S $21^{\circ} 26'35.7072''$ y una longitud de W $64^{\circ}3'25.8156''$ con una altura de 1192 msnm.

Talud # 5.- tiene una latitud S $21^{\circ} 26'22.6932''$ y una longitud de W $64^{\circ}0'57.4236''$ con una altura de 990 msnm.

Talud # 6.- tiene una latitud S $21^{\circ} 25'24.56''$ y una longitud de W $63^{\circ}59'0.182''$ con una altura de 982 msnm.

Talud # 7.- tiene una latitud S $21^{\circ} 25'43.86''$ y una longitud de W $63^{\circ}55'12.5652''$ con una altura de 1486 msnm.

Talud # 8.- tiene una latitud S $21^{\circ} 25'44.80''$ y una longitud de W $63^{\circ}55'4.71''$ con una altura de 1501 msnm.

Talud # 9.- tiene una latitud S $21^{\circ} 28'18.336''$ y una longitud de W $64^{\circ}8'56.448''$ con una altura de 1367 msnm.

Talud # 10.- tiene una latitud S $21^{\circ} 26'27.6864''$ y una longitud de W $63^{\circ}52'9.66''$ con una altura de 1019 msnm.

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

3.2.3 Levantamiento topográfico

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

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

Figura Nro. 35 Estación total Sokkia set 5x, Levantamiento topográfico talud N°4



Fuente: Elaboración propia

Figura Nro. 36 Levantamiento topográfico talud N °10



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Levantamiento topográfico

Punto Interés	Progresiva km		Longitud de proyección m		Coordenadas UTM		Área de corte m ²
	Inicio	Fin	Long.	Altura	Este	Norte	
Talud 1	0+000	0+321	321	36.255	380948	7625203	8988
Talud 2	4+400	4+531	131	21.79	382871	7625890	1923.08
Talud 3	7+800	7+940	140	22.76	384790	7627814	2360.4
Talud 4	19+500	19+555	55	31.37	393444	7627932	1324.4
Talud 5	21+800	21+938	138	21.7	394722	7628854	2286.66
Talud 6	26+400	26+525	125	17.7	398085	7630663	1676.25
Talud 7	8+500	8+655	155	39.79	385499	7627952	4574.05
Talud 8	24+050	24+196	146	12.14	396364	7629554	1497.96
Talud 9	4+600	5+032	432	21.24	383124	7625936	4164.48
Talud 10	24+100	24+259	159	26.39	396370	7629553	3507.54

Fuente: Elaboración propia

La longitud del primer talud hasta el último es: 26.53 Km

La sumatoria de las longitudes de los 10 taludes es de 1802 m

Distancia de Entre Rios - Palos Blancos es: 63.8 km

3.2.4 Recolección de muestras

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

La toma de muestra se hizo de forma manual, con la ayuda de una picota, pala, luego una vez extraídas se introdujeron en bolsas plásticas identificadas con las nomenclaturas de cada talud y su ubicación de la extracción.

Figura Nro. 37 Extracción de muestra talud 1 (cuerpo)



Fuente: Elaboración propia

Figura Nro. 38 Extracción de muestras talud 2 (cuerpo)



Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Características generales del área de proyecto.

Entre ríos es la capital de la provincia de Burdet O'Connor en el departamento de Tarija.

En el tramo a estudiar contamos con diferentes tipos de suelos como ser tenemos suelos arcillosos, granulares, rocosos en gran magnitud y suelos con gran cantidad de sal

Se localiza a 1230 msnm la carretera a lo largo del tramo entre ríos – palos blancos esta bordeada por serranías montañosas.

La temperatura media anual de entre ríos es de 20,9 °C y las precipitaciones anuales rodean aproximadamente a los 1300 mm y baja hasta 674,8 mm en palos blancos, concentrándose en los meses de enero a marzo.

Los vientos en la provincia O'Connor los vientos tienen mayor presencia durante los meses de agosto a noviembre con un rango de 7,6 a 10,3 km/hr en el resto del año las velocidades tan solo alcanzan aproximadamente un promedio de 5,5 km/hr.

3.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

3.3.1 Contenido de humedad

Determinar la cantidad de agua que posee una muestra de suelo, con respecto al peso seco de la muestra.

Definición: Contenido de humedad, es la relación del peso del agua entre el peso de los sólidos de un suelo.

Equipo y material que se utiliza:

- Horno eléctrico, que mantenga la temperatura Constante a 105 (°C)
- Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- Charola y cápsula de aluminio
- Espátula

Figura Nro. 39 Determinacion del contenido de humedad.



Fuente: Elaboracion propia.

3.3.2 Corte directo

Tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo. Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos, con muestras inalteradas y remoldeadas.

EQUIPO Y MATERIAL QUE SE UTILIZA:

- Dispositivo de carga. El dispositivo de carga debe ceñirse a lo siguiente. Sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella.
- Piedras porosas. Las piedras porosas deben ceñirse a lo siguiente:

- Deben ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o de un metal que no sea susceptible a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o la humedad del mismo.
- Dependiendo del tipo de suelo que se va a ensayar, las piedras porosas deben tener la calidad adecuada para desarrollar el contacto necesario con la muestra y, además, deben evitar la intrusión excesiva de partículas de suelo dentro de sus poros.
- Para ensayos con suelos normales, la calidad de las piedras debe permitir una permeabilidad de 0.5 mm/s a 1 mm/s.

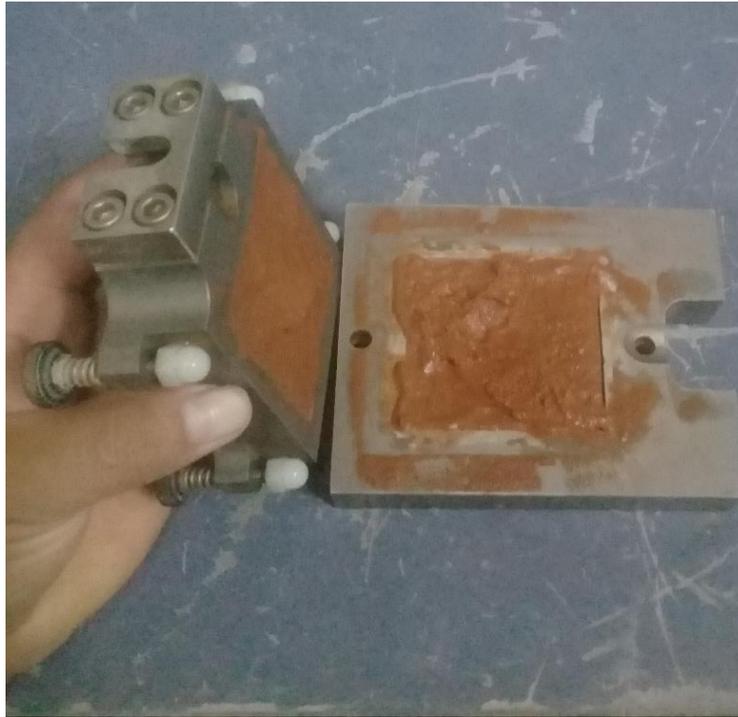
Figura Nro. 40 Sincronizacion del equipo de corte directo



Fuente: Elaboracion proppia

- Balanza. Debe tener una sensibilidad de 0.1 g o 0.1 % del peso de la probeta.
- Deformímetros o diales. Deben ser adecuados para medir los cambios en el espesor de la muestra con una sensibilidad de 0.002 mm (0.0001") y la deformación con sensibilidad de 0.02 mm (0.001").
- Estufa u Horno de secado. Capaz de mantenerse a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F)
- Recipientes para muestras de humedad.
- Equipo para el remoldeo.
- Misceláneos. Incluyen: cronómetro, sierra de alambre, espátula, cuchillos, enrasadores, agua y demás elementos necesarios.

Figura Nro. 41 Muestra de ensayo de corte directo



Fuente: Elaboracion propia

3.3.3 Granulometría

Este método de ensayo presenta dos procedimientos, uno usando sólo agua para la operación de lavado y el otro incluyendo un agente humectante que ayude a separar el material más fino que la malla de 75 μm (N° 200). La norma propone que cuando no se especifique por qué método ensayar, el procedimiento que deberá ser utilizado es el que usa solamente agua.

Determinar la cantidad de material más fino que 0.075mm en el agregado por lavado, dispersando las partículas de arcilla, materiales solubles en el agua, etc.

Equipo

- Balanza de torsión. Capacidad de 1Kg y 0.1g de precisión.
- Juego de mallas o tamices No 4, 8 16, 30, 50, 100 y 200, charola de fondo y tapa.
- Charola de lámina galvanizada.
- 300g de arena cuarteada.

- Brocha de cerda y cepillo de alambre.
- Brocha pequeña.
- Horno

Figura Nro. 42 Material para el ensayo de granulometria



Fuente: Elaboracion propia

3.3.4 Límites de consistencia

Determinar los Límites: Líquido, Plástico y de Contracción por el Método P.R.A. (Publico Road Administración), también obtener la prueba de Contracción lineal; esta última tiene aplicación en los estudio de materiales

El Límite líquido y el Límite plástico se emplean para clasificar un suelo, de acuerdo a su plasticidad.

Límite Líquido (LL).- Es la frontera comprendida entre los estados Semi-liquido y Plástico, definiéndose como el contenido de humedad que requiere un suelo previamente remoldeado, en el que al darle una forma trapecial sus taludes fallen simultáneamente, cerrándose la ranura longitudinalmente 13mm., sin resbalar sus apoyos, al sufrir el impacto de 25 golpes consecutivos, con una frecuencia de 2 golpes por segundo, en la Copa de Casagrande, teniendo una altura de caída de 1 cm.

El Límite Líquido, se define también como el contenido de humedad que requiere un suelo para presentar una resistencia al esfuerzo cortante de aproximadamente 25 gr/cm² independientemente de su mineralogía.

Figura Nro. 43 Ensayo de limite liquido



Fuente: Elaboracion propia

Límite Plástico (LP).-Es la frontera comprendida entre el estado plástico y semi-sólido. Se define como el contenido de humedad que posee un cilindro de material en estudio de 11 cms. de longitud y 3.2 mm. De diámetro (formado al girarlo o rolarlo con la palma de la mano sobre una superficie lisa) al presentar agrietamientos en su estructura.

Figura Nro. 44 Ensayo del limite plastico



Fuente: Elaboracion propia

Límite De Contracción (LC).-Es la denominación que recibe arbitrariamente el material que se encuentra entre los estados semi-sólido y sólido, quedando definido su valor con el contenido de humedad que tiene el suelo, en el cual tras un secado posterior ya no provoca disminución de volumen.

Equipo y material que se utiliza:

- Copa de Casagrande
- Ranurador laminar o ranurador curvo
- Cápsula de porcelana
- Espátula
- Charolas de aluminio o vidrio de reloj
- Malla No. 40
- Horno con temperatura constante de 105°C
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.

- Molde para Contracción lineal
- Calibrador con Vernier
- Placa de vidrio
- Alambre con un diámetro de 3.2 mm.
- Pipeta
- Franela
- Agua

3.3.5 Peso específico relativo

Determinar la densidad de una arena y/o un suelo fino (dado que es el mismo procedimiento para ambos suelos), empleando para ello un matraz de fondo plano, con su correspondiente curva de calibración.

Generalmente la variación de la densidad de sólidos es de 2.60 a 2.80, aunque existen excepciones como en el caso de la turba en la que se han registrado valores de 1.5 y aún menores, debido a la presencia de materia orgánica. En cambio en suelos con cierta cantidad de minerales de hierro la densidad de sólidos ha llegado a 3.

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

Una de las aplicaciones más comunes de la densidad (S_s), es en la obtención del volumen de sólidos, cuando se calculan las relaciones gravimétricas y volumétricas de un suelo.

Figura Nro. 45 Controlando la temperatura para determinar el peso específico



Fuente: Elaboracion propia

Equipo y material que se utiliza:

- Matraz aforado a 500 ml.
- Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- Termómetro
- Embudo
- Probeta de 500 ml. de capacidad
- Pipeta
- Bomba de vacíos
- Horno o estufa
- Franela o papel absorbente
- Curva de calibración del matraz
- Canastilla
- Charola de aluminio
- Espátula
- Cristal de reloj

3.4 LISTA DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Tabla 15 Lista de resultados de laboratorio para la aplicacion del programa Slide

N° de Taludes	Identificacion	Peso especifico (g/cm ³)	Peso especifico (KN/m ³)	Cohesion (Kg/cm ²)	Cohesion (KN/m ²)	Angulo de friccion interna (φ) ^o
Talud 1	pie	2.75	26.98	0.19	18.64	28
	cuerpo	2.46	24.13	0.19	18.64	27
	corona	2.65	26.00	0.17	16.68	22
Talud 2	pie	2.47	24.23	0.2	19.62	7
	cuerpo	2.51	24.62	0.2	19.62	27
	corona	2.43	23.84	0.16	15.70	11
Talud 3	pie	2.27	22.27	0.17	16.68	33
	cuerpo	2.67	26.19	0.18	17.66	17
	corona	2.41	23.64	0.17	16.68	22
Talud 4	pie	2.46	24.13	0.15	14.72	17
	cuerpo	2.63	25.80	0.17	16.68	13
	corona	2.6	25.51	0.15	14.72	12
Talud 5	pie	2.26	22.17	0.15	14.72	9
	cuerpo	2.5	24.53	0.13	12.75	14
	corona	2.74	26.88	0.15	14.72	9
Talud 6	pie	2.75	26.98	0.16	15.70	7
	cuerpo	2.46	24.13	0.16	15.70	13
	corona	2.65	26.00	0.11	10.79	9
Talud 7	pie	2.68	26.29	0.19	18.64	28
	cuerpo	2.72	26.68	0.17	16.68	10
	corona	2.49	24.43	0.17	16.68	10
Talud 8	pie	2.27	22.27	0.15	14.72	12
	cuerpo	2.46	24.13	0.16	15.70	9
	corona	2.53	24.82	0.16	15.70	8
Talud 9	pie	2.52	24.72	0.16	15.70	9
	cuerpo	2.39	23.45	0.16	15.70	9
	corona	2.46	24.13	0.13	12.75	10
Talud 10	pie	2.44	23.94	0.2	19.62	33
	cuerpo	2.34	22.96	0.17	16.68	9
	corona	2.47	24.23	0.19	18.64	17

Fuente: Elaboracion propia

3.5 EJEMPLOS DE CALCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD MANUALMENTE

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

3.5.1 Método Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:

$$F.S. = \frac{\sum [C' b + (W - ub) \tan \phi' / ma]}{\sum W \text{sen} \alpha}$$

a) Parámetros necesarios para el cálculo de factor de seguridad.

Ancho de la dovela B = 0,64 m

Ángulo de fricción interna más desfavorable $\phi = 22^\circ$

Cohesión del suelo promedio C = 17 KN/m²

Altura del nivel freático Hw = 0 m

Presión de poro u = 0

Peso específico del suelo $\lambda = 24$ KN/m³

Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada dovela $\alpha = 55^\circ$

b) cálculo del factor de seguridad por el método de Bishop.

$$FS = \frac{[17 * 1.08 + (178.136 - 0 * 1.08 *) / ma]}{178.136 * \text{sen} 55}$$

$$ma = \cos 55 \left(1 + \frac{\tan 55 * \tan 22}{178.136 * \text{sen} 55} \right)$$

$$F.S. = 0.452$$

3.5.2 Método Fellenius

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

Parámetros que se requieren para el análisis:

Altura de cada suelo $H = 22.761 \text{ m}$

Pendiente del talud $\beta = 64^\circ$

Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada dovela $\alpha = 55^\circ$

Cohesión del suelo promedio $C = 17 \text{ KN/m}^2$

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

Presión de poro $u = 0$

Peso específico del suelo $\lambda = 24 \text{ KN/m}^3$

Peso de la dovela $W = 178.136 \text{ KN}$

Longitud del arco de círculo en la base de la dovela $\Delta l = 1.08 \text{ m}$

Cálculo del factor de seguridad mediante la fórmula Fellenius:

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

$$FS = \frac{[17 * 1.08 + (178.136 * \cos 55 - 0 * 1.08 * \cos 2 * 55) \cdot \tan 55]}{178.136 * \text{sen } 55}$$

$$F.S. = 0.826$$

Se puede observar un factor de seguridad bajo y no cumple con lo reglamentario por lo tanto se considera “talud inestable”.

3.5.3 Método Janbu

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

Parámetros que se requieren para el análisis:

Altura talud $H = 22.761$ m

Ángulo de fricción interna más desfavorable $\phi = 22^\circ$

Cohesión del suelo promedio $C = 17$ KN/m²

Altura del nivel freático $H_w = 0$ m

Presión de poro $u = 0$

Peso específico del suelo $\lambda = 24$ KN/m³

Peso dovela más grande $W = 178.136$ KN/m

Ancho de la dovela $B = 0,64$ m

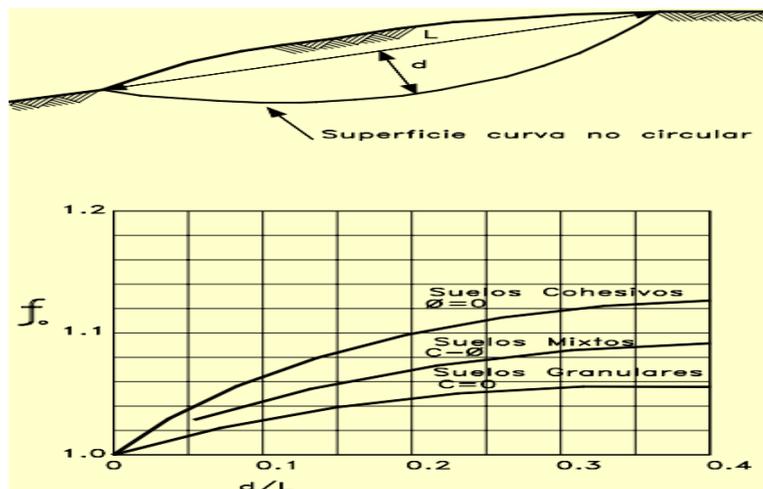
Ángulo de la base de la dovela con respecto a la horizontal $\alpha = 54.29^\circ$

Longitud de la base de la dovela $L = 26.34$ m

Distancia más grande a línea de falla con respecto a la línea de la base de la dovela $d = 0,5.29$ m

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

Figura Nro. 46 Abaco método Janbu



Fuente: Suarez Dias (1998)

Donde:

$$\frac{d}{L} = \frac{5.29}{26.34} = 0.2$$

$$fo = 1.1$$

Calculo del factor de seguridad.

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

$$FS = \frac{1.1 * (17 * 0.64 + (178.14 - 0 * 0.64) * \frac{\tan 22}{\cos 54.29 * (\cos 54.29 * (1 + \frac{\tan 54.29 * \tan 22}{FS}))})}{178.14 * \tan 54.29}$$

Iterando:

$$FS = 0.481$$

Se puede observar un factor de seguridad muy bajo por lo tanto se considera un “talud inestable”.

Programa Slide

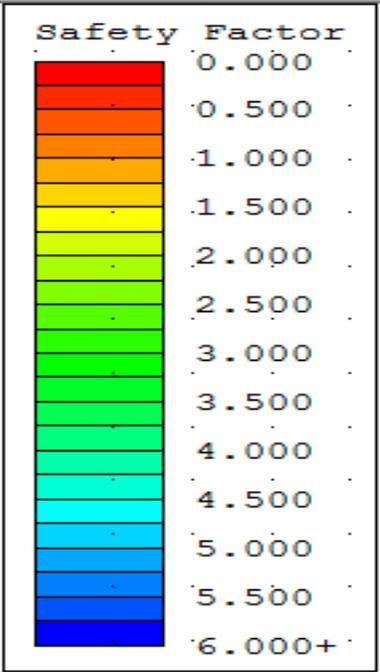
Slide es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en obras civiles es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de taludes, presas, taludes en edificaciones.

Se trata de un programa de **análisis de estabilidad de taludes**. A través de métodos de equilibrio límite es capaz de evaluar el factor de seguridad en superficies de roturas circulares y no circulares. El abanico de métodos de análisis es muy amplio, contemplando tantos métodos de fajas verticales (Fellenius, Bishop, Janbu). Para dichos métodos se

requiere de los siguientes datos de laboratorio: peso específico (g/cm^3), Cohesión (Kg/cm^2) y Angulo de fricción interna (ϕ) °.

Código de colores que identifica el programa para reconocer el grado de factor de seguridad que tiene el talud.

Tabla 16 Tabla de rangos de factor de seguridad

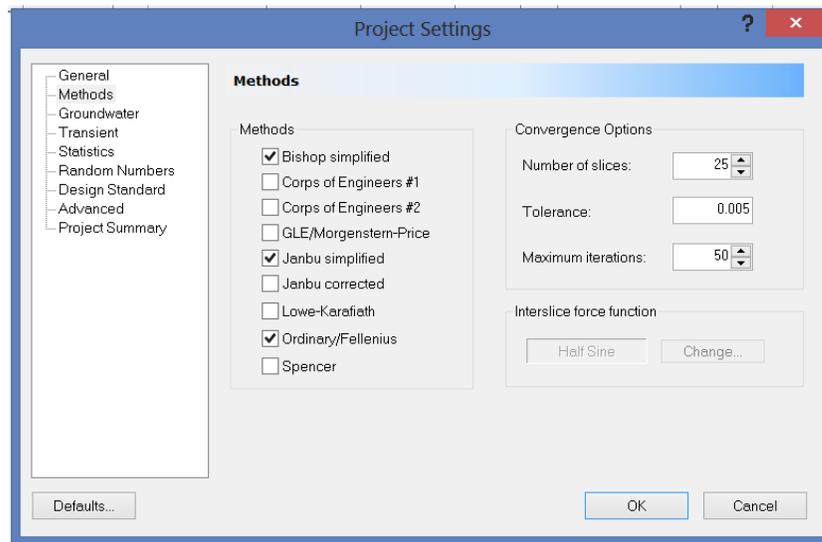


Fuente: Programa Slide

3.6 APLICACIÓN DEL PROGRAMA SLIDE EN EL TALUD 3 (EJEMPLO)

Ingresando al programa de Slide vamos a la pestaña de “análisis” y definimos las características del proyecto como ser: unidades, sentido de falla, método que se utilizara en el cálculo, etc.

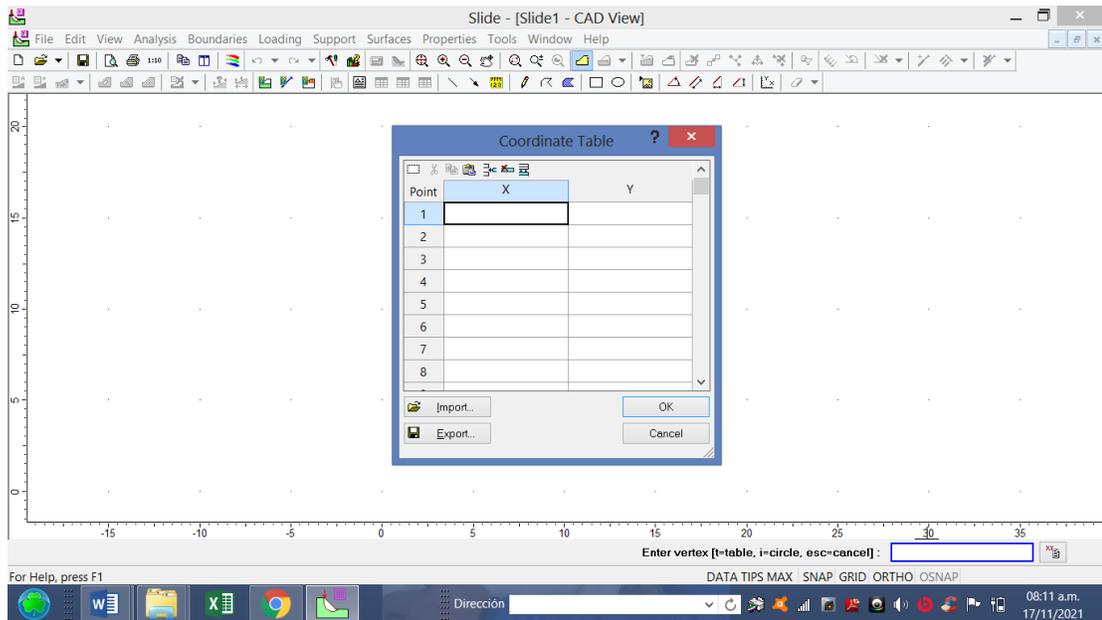
Figura Nro. 47 Características del proyecto



Fuente: Slide v6.0

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

Figura Nro. 48 Planilla de introducción de coordenadas del perfil del talud.



Fuente: Slide v6.0

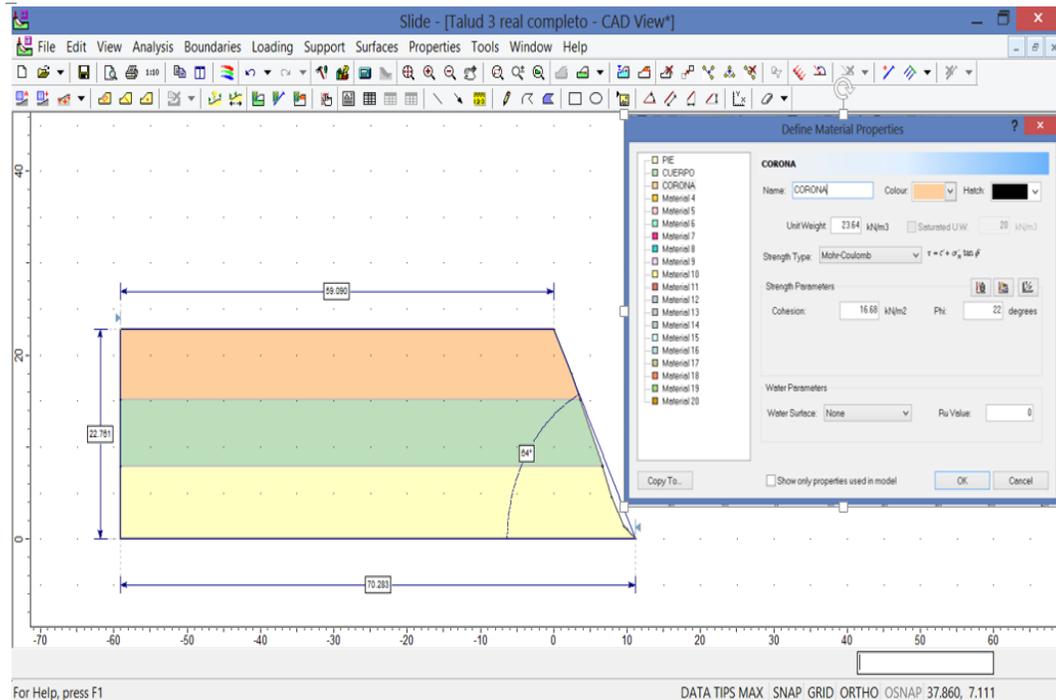
Tabla 17 Coordenadas reales del talud N° 3

Coordenadas reales	
X	Y
-59.09	22.761
-59.09	15.174
-59.09	7.87
-59.09	0
11.193	0
9.999	1.053
9.584	1.419
7.937	4.487
6.64638	7.87
6.58	8.044
3.57906	15.174
2.393	17.992
0	22.761

Fuente: Elaboración propia

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

Figura Nro. 49 Propiedades de los materiales



Fuente: Programa Slide

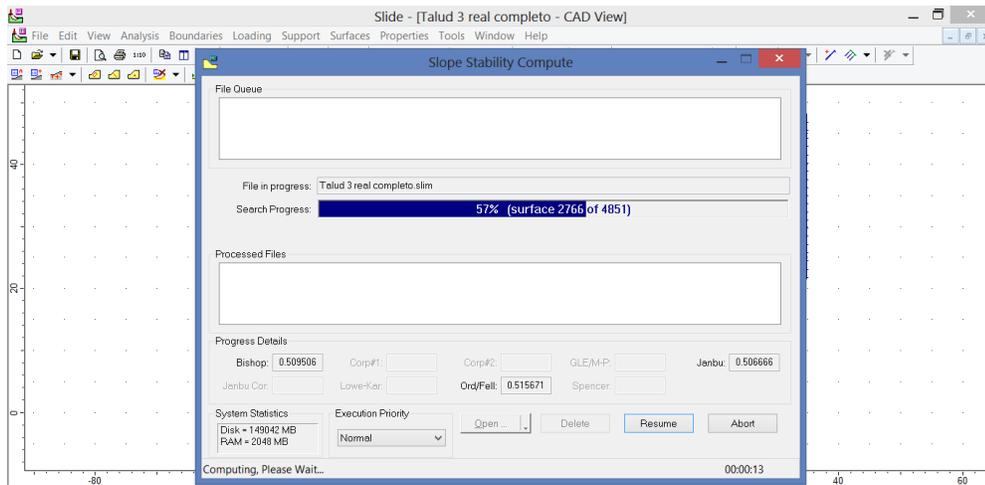
Tabla 18 Datos del talud 3 para el calculo del F.S.

N° de Taludes	Identificación	Peso específico (g/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)	Cohesión (Kg/cm)	Cohesión (KN/m ²)	Angulo de fricción interna (φ) ^o
Talud 3	pie	2.27	22.27	0.17	16.68	33
	cuerpo	2.67	26.19	0.18	17.66	17
	corona	2.41	23.64	0.17	16.68	22

Fuente: Elaboracion propia

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

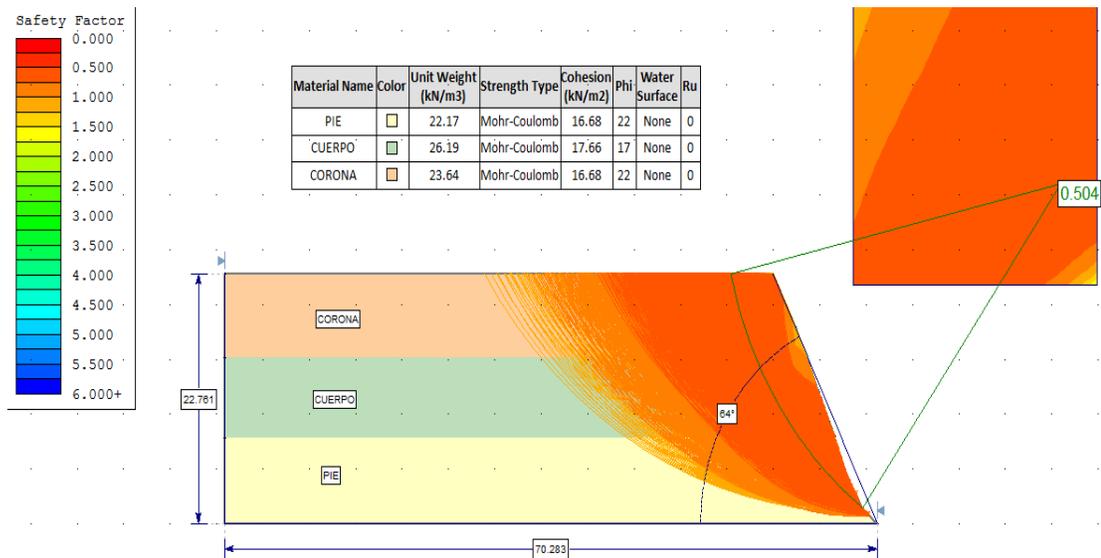
Figura Nro. 50 Analizando el programa del Slide



Fuente: Programa Slide

Ya analizado el talud se abrirá una ventana donde podemos ver los factores de seguridad mínimos del talud, sus líneas de falla, ubicación de las fallas, los valores del factor de seguridad por los diferentes métodos que se seleccionó al inicio de analizar el talud.

Figura Nro. 51 Interpretación de los resultados

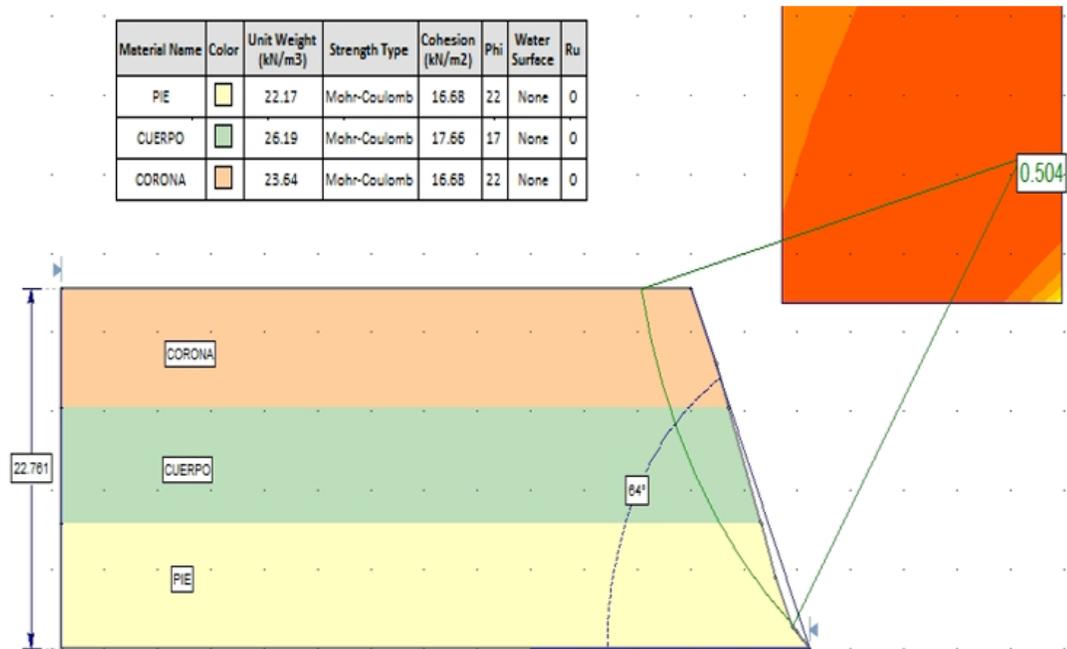


Fuente: Programa Slide

3.6.1 Cálculo del factor de seguridad por los 3 métodos analizados

Método de Bishop simplificado

Figura Nro. 52 Factor de seguridad del talud 3 método de Bishop con los datos reales

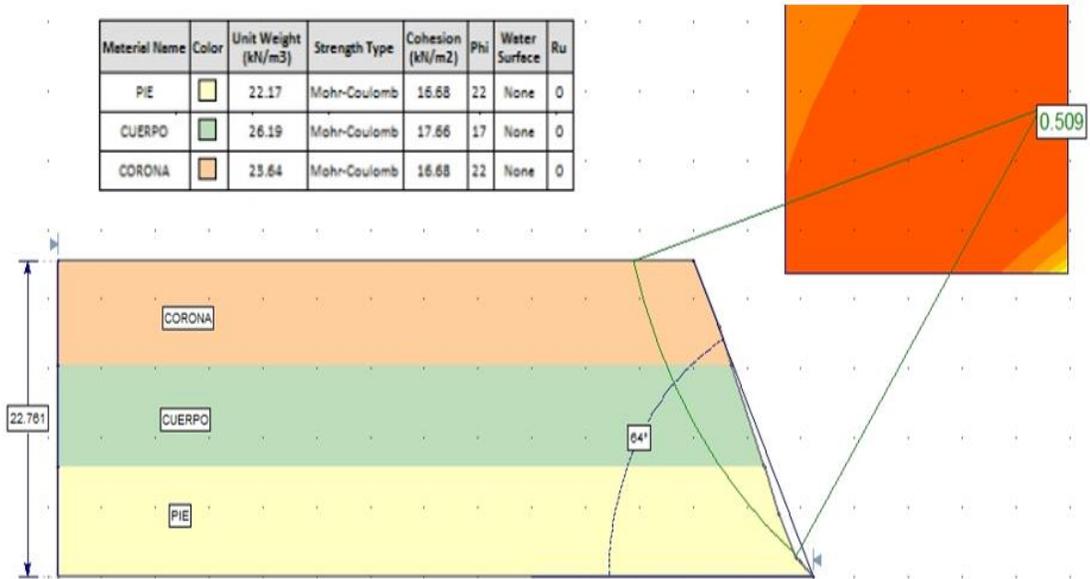


Fuente: Elaboración propia

"En base a este programa se calcula el factor de seguridad, Es importante denotar que el valor de factor de seguridad de 0.504 hace referencia al valor mínimo para una superficie de falla determinada, la cual por sus condiciones topográficas puede tender a fallar fácilmente."

Método de Fellenius

Figura Nro. 53 Factor de seguridad del talud 3 metodo Fellenius con datos reales



Fuente: Elaboracion propia

Método de Janbu Simplificado

Figura Nro. 54 Factor de seguridad del talud 3 metodo Janbu con datos reales



Fuente: Elaboracion propia

3.6.2 Comparación de resultados método manual y método computacional

Tabla 19 Resultados obtenidos manualmente y con el programa Slide v6.0

Talud N°	Método	Bishop	Fellenius	Janbu	Observaciones
3	Manual	0.452	0.826	0.481	Se observa que los métodos computacionales son más conservadores, esto es debido a que los métodos manuales hacen un promedio de los datos de peso específico y cohesión de los materiales que componen al talud.
	Slide v6.0	0.504	0.509	0.499	

Fuente: Elaboración propia

El resto de los cálculos se encuentran en anexos 7

Para las alternativas de solución se puede editar el perfil del talud modificando la topografía o añadiendo refuerzos al talud, que el mismo programa Slide nos ofrece.

Una vez establecidas las características y tipos de soportes, introducimos al programa posteriormente añadimos los soportes al perfil del talud que necesitamos.

TALUD 3 (Factor de seguridad coordenadas corregidos)

Tabla 20 Datos del talud 3 para el calculo del F.S.

N° de Taludes	Identificación	Peso específico (g/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)	Cohesión (Kg/cm)	Cohesión (KN/m ²)	Angulo de fricción interna (φ)°
Talud 3	pie	2.27	22.27	0.17	16.68	33
	cuerpo	2.67	26.19	0.18	17.66	17
	corona	2.41	23.64	0.17	16.68	22

Fuente: Elaboracion propia

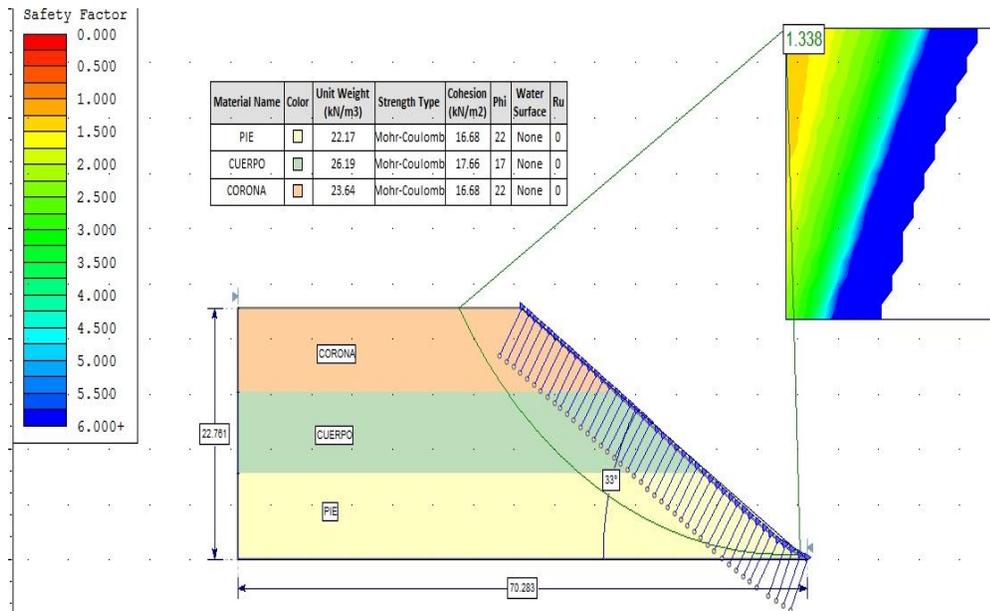
Tabla 21 Tabla de coordenadas corregidas

Coordenadas nuevas	
X	Y
-59.09	22.761
-59.09	15.174
-59.09	7.87
-59.09	0
11.193	0
8.88375	1.053
8.08112	1.419
3.18475	4.487
-1.68885	7.87
-1.93952	8.044
-12.4919	15.174
-16.6626	17.992
-24.1065	22.761

Fuente: Elaboracion propia

Método de Bishop simplificado

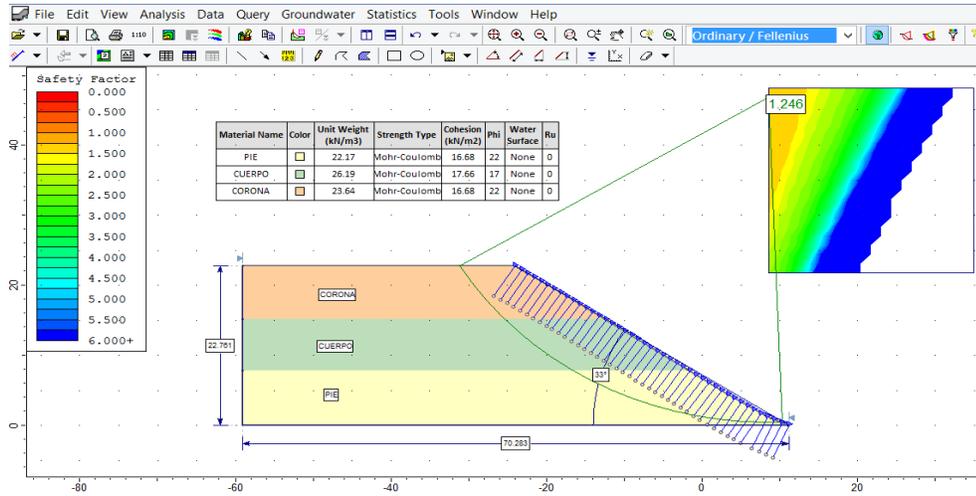
Figura Nro. 55 Factor de seguridad del talud 3 metodo de Bishop simplificado con los datos corregidos



Fuente: Elaboración propia

Método de Fellenius

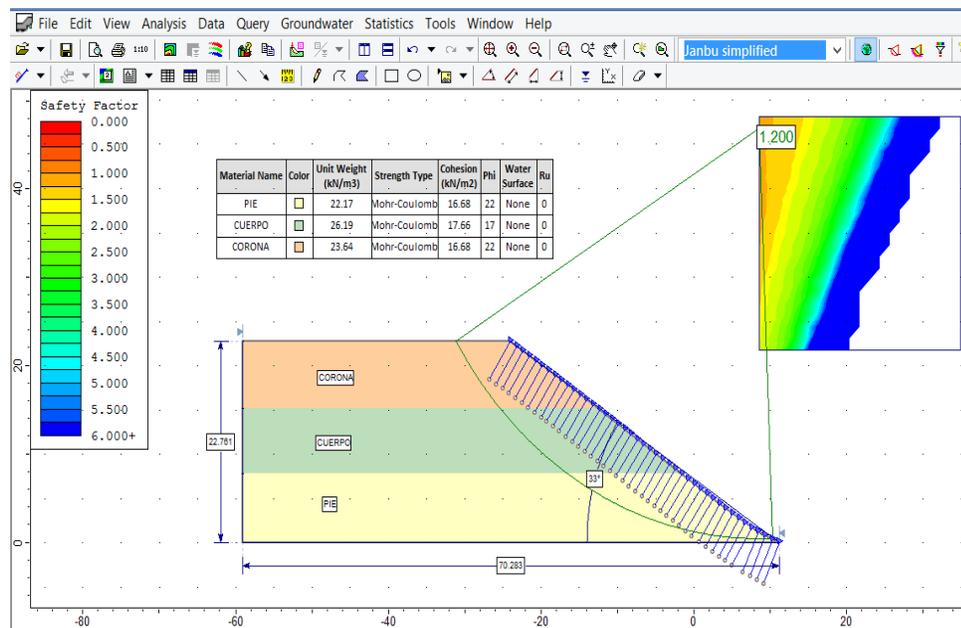
Figura Nro. 56 Factor de seguridad del talud 3 metodo de Fellenius con los datos corregidos



Fuente: Elaboracion propia

Método de Janbu simplificado

Figura Nro. 57 Factor de seguridad del talud 3 metodo de Janbu simplificado con los datos corregidos



Fuente: Elaboracion propia

Tabla 22 Tabla de comparacion de resultados del factor de seguridad del talud 3 por los diferentes metodos.

Identificación	Método Bishop simplificado	Método Fellenius	Método Janbu simplificado
coordenadas reales	F.S. = 0.504	F.S. = 0.509	F.S. = 0.499
coordenadas corregidas	F.S. = 1.338	F.S. = 1.246	F.S. = 1.20

Fuente: Elaboracion propia

Nota: El resto de los cálculos se encuentra en el anexo N° 7

3.7 ANALISIS Y RESULTADOS

Tabla 23 Resultados Reales Vs Corregidos y (%) diferencia

Métodos	Taludes	Resultados del factor de seguridad reales	Resultados del factor de seguridad corregidos	(%) diferencia
Método Bishop simplificado	Talud 1	1.113	1.42	21.620
	Talud 2	0.511	1.39	63.237
	Talud 3	0.504	1.34	62.388
	Talud 4	0.365	1.27	71.260
	Talud 5	0.441	1.46	69.795
	Talud 6	0.365	1.36	73.162
	Talud 7	0.391	1.22	67.951
	Talud 8	0.465	1.3	64.231
	Talud 9	0.61	1.4	56.429
	Talud 10	0.411	1.39	70.432
Método Fellenius	Talud 1	1.049	1.38	23.986
	Talud 2	0.522	1.34	61.045
	Talud 3	0.509	1.25	59.280
	Talud 4	0.362	1.22	70.328
	Talud 5	0.421	1.38	69.493
	Talud 6	0.362	1.28	71.719
	Talud 7	0.384	1.19	67.731
	Talud 8	0.482	1.23	60.813
	Talud 9	0.594	1.29	53.953
	Talud 10	0.433	1.34	67.687
Método Janbu simplificado	Talud 1	1.027	1.37	25.036
	Talud 2	0.536	1.27	57.795
	Talud 3	0.499	1.2	58.417
	Talud 4	0.357	1.2	70.250
	Talud 5	0.428	1.28	66.563
	Talud 6	0.372	1.2	69.000
	Talud 7	0.38	1.11	65.766
	Talud 8	0.501	1.07	53.178
	Talud 9	0.581	1.22	52.377
	Talud 10	0.426	1.17	63.590

Fuente: Elaboracion propia

Análisis del talud 2 por el método de Bishop

En base a esta tabla 22 del método Bishop analizando el talud 2 tenemos un factor de seguridad actual igual a: $F.S = 0.511$ sin embargo podemos apreciar que no cumple con un requerimiento mínimo ni con el recomendado y su factor de seguridad no es garantizado, Donde el factor de seguridad mínimo debería ser 1.2 según la tabla 4 y el factor de seguridad corregido es de 1.39 garantizando la libre transitabilidad de los automóviles que circulan por la zona y así también de los comunarios.

Análisis del talud 2 por el método de Fellenius

Para el método de Fellenius en la tabla 18 podemos observar que el factor de seguridad del talud 2 es de $F.S. = 0.522$ hay una pequeña variación con el método de Bishop con una diferencia de 0.011. Ahora si revisamos el factor de seguridad real de este método tampoco cumple con el factor de seguridad mínimo recomendado para una buena estabilidad ya que el factor de seguridad corregido es de 1.34 y también observamos que existe una diferencia de factor de seguridad corregido entre los 2 métodos de 0.05 es decir que ambos métodos son semejantes efectivos para la estimación del factor de seguridad.

Análisis del talud 2 por el método de Janbu

En el método Janbu el talud 2 observamos un factor de seguridad de 0.536 y podemos decir que tampoco cumple con el factor de seguridad mínimo requerido que nos muestra en la tabla 4 para que sea un talud garantizado y no tenga problemas posteriormente. Ya que el factor de seguridad corregido es igual a 1.27 donde cumple con el factor de seguridad mínimo.

Si observamos el error de los diferentes métodos referidos al factor de seguridad tenemos los siguientes valores:

Método Bishop = 62.050%

Método Fellenius= 60.603%

Método Janbu = 58.197%

Considerando una media de la diferencia de los 3 métodos tenemos un resultado de 60.28% de error.

Caracterización:

Talud N° 1.- Se encuentra en la subida de San Simón y se caracteriza por un suelo fino que corresponde a un A-6 arcilla inorgánica no tiene plasticidad y tienen las siguientes propiedades:

Peso específico de 2.62 gr/cm³

Cohesión de 0.18 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 25. 67°

Talud N° 2.- Se encuentra en la cuesta de San Simón y corresponde a un suelo A-6 arcilla inorgánica (CL), Con las siguientes características:

Peso específico de 2.47 gr/cm³

Cohesión de 0.19 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 15°

Talud N° 3.- Esta ubicado en la comunidad de Serere corresponde a un suelo fino A-4 arcilla baja o mediana compresibilidad cuenta con las siguientes características:

Peso específico de 2.45 gr/cm³

Cohesión de 0.20 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 24°

Talud N° 4.- Esta ubicado en la comunidad de Berety se caracteriza por suelo fino su

clasificación mediante el método AASTHO es un A-6 arcilla inorgánica y tiene las siguientes características:

Peso específico de 2.56 gr/cm³

Cohesión de 0.16 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 14°

Talud N°5.- El talud N° 5 se encuentra en el tramo Berety – Tacuarandy y se identifica por un suelo fino mediante el método AASTHO es un A-2-6 arena arcillosa y cuentan con las siguientes características:

Peso específico de 2.50 gr/cm³

Cohesión de 0.14 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 11°

Talud N°6.- El talud N° 6 se encuentra en el cruce a Tarupayo y se identifica por un suelo fino mediante el método AASTHO es un A-6 arcilla inorgánica de baja plasticidad y cuentan con las siguientes características:

Peso específico de 2.62 gr/cm³

Cohesión de 0.14 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 10°

Talud N°7.- se encuentra en el cruce a la comunidad de Tarupayo y se identifica por un suelo fino mediante el método AASTHO es un A-6 (CL) arcilla inorgánica con las siguientes características:

Peso específico de 2.63 gr/cm³

Cohesión de 0.18 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 16°

Talud N°8.- se encuentra en el cruce a la comunidad de Tarupayo y se identifica por un suelo fino mediante el método AASTHO es un A-6 (CL) arcilla inorgánica con las siguientes características:

Peso específico de 2.42 gr/cm³

Cohesión de 0.16 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 10°

Talud N°9.- se encuentra en la bajada del abra de San Simón y se identifica por un suelo fino mediante el método AASTHO es un A-6 (CL) arcilla inorgánica con las siguientes características:

Peso específico de 2.46 gr/cm³

Cohesión de 0.15 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 9°

Talud N°10.- se encuentra en el cruce a Tarupayo y se identifica por un suelo fino mediante el método AASTHO es un A-6 (CL) arcilla inorgánica con las siguientes características:

Peso específico de 2.42 gr/cm³

Cohesión de 0.19 kg/cm²

Angulo de fricción interna de 20°.

Tabla 24 Valores de angulo, pendiente y F.S. reales VS corregido metodo Bishop

Métodos	Taludes	Topografía real		Topografía corregida	
Método Bishop simplificado	Talud 1	$\alpha =$	35	$\alpha =$	29°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	70%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	55%
		F.S. =	1.113	F.S. =	1.42
	Talud 2	$\alpha =$	50°	$\alpha =$	24°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	119%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	44%
		F.S. =	0.511	F.S. =	1.39
	Talud 3	$\alpha =$	64°	$\alpha =$	33°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	205%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	65%
		F.S. =	0.504	F.S. =	1.34
	Talud 4	$\alpha =$	62°	$\alpha =$	27°
$m=(\text{tang.}\alpha)*100$		188%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	51%	
F.S. =		0.365	F.S. =	1.27	
Talud 5	$\alpha =$	48°	$\alpha =$	23°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	111%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	42%	
	F.S. =	0.441	F.S. =	1.46	
Talud 6	$\alpha =$	65°	$\alpha =$	27°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	214%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	51%	
	F.S. =	0.365	F.S. =	1.36	
Talud 7	$\alpha =$	58°	$\alpha =$	31°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	160%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	60%	
	F.S. =	0.391	F.S. =	1.22	
Talud 8	$\alpha =$	72°	$\alpha =$	36°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	397%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	73%	
	F.S. =	0.465	F.S. =	1.3	
Talud 9	$\alpha =$	28°	$\alpha =$	21°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	53%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	38%	
	F.S. =	0.61	F.S. =	1.4	
Talud 10	$\alpha =$	59°	$\alpha =$	34°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	166%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	67%	
	F.S. =	0.411	F.S. =	1.39	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 25 Valores de angulo, pendiente y F.S. reales VS corregido metodo Fellenius

Método Fellenius	Talud 1	$\alpha =$	35°	$\alpha =$	31°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	70%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	60%
		F.S. =	1.049	F.S. =	1.38
	Talud 2	$\alpha =$	50°	$\alpha =$	22°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	119%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	40%
		F.S. =	0.522	F.S. =	1.34
	Talud 3	$\alpha =$	64°	$\alpha =$	29°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	205%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	55%
		F.S. =	0.509	F.S. =	1.25
	Talud 4	$\alpha =$	62°	$\alpha =$	26°
$m=(\text{tang.}\alpha)*100$		188%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	49%	
F.S. =		0.362	F.S. =	1.22	
Talud 5	$\alpha =$	48°	$\alpha =$	23°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	111%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	42%	
	F.S. =	0.421	F.S. =	1.38	
Talud 6	$\alpha =$	65°	$\alpha =$	22°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	214%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	40%	
	F.S. =	0.362	F.S. =	1.28	
Talud 7	$\alpha =$	58°	$\alpha =$	27°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	160%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	51%	
	F.S. =	0.384	F.S. =	1.19	
Talud 8	$\alpha =$	72°	$\alpha =$	30°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	397%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	58%	
	F.S. =	0.482	F.S. =	1.23	
Talud 9	$\alpha =$	28°	$\alpha =$	19°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	53%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	34%	
	F.S. =	0.594	F.S. =	1.29	
Talud 10	$\alpha =$	59°	$\alpha =$	29°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	166%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	55%	
	F.S. =	0.433	F.S. =	1.34	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 26 Valores de ángulo, pendiente y F.S. reales VS corregido método Janbu

Método Janbu simplificado	Talud 1	$\alpha =$	35°	$\alpha =$	31°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	35%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	60%
		F.S. =	1.027	F.S. =	1.37
	Talud 2	$\alpha =$	50°	$\alpha =$	22°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	119%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	40%
		F.S. =	0.536	F.S. =	1.27
	Talud 3	$\alpha =$	64°	$\alpha =$	29°
		$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	205%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	55%
		F.S. =	0.499	F.S. =	1.2
	Talud 4	$\alpha =$	62°	$\alpha =$	26°
$m=(\text{tang.}\alpha)*100$		188%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	49%	
F.S. =		0.357	F.S. =	1.2	
Talud 5	$\alpha =$	48°	$\alpha =$	23°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	111%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	42%	
	F.S. =	0.428	F.S. =	1.28	
Talud 6	$\alpha =$	65°	$\alpha =$	22°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	214%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	40%	
	F.S. =	0.372	F.S. =	1.2	
Talud 7	$\alpha =$	58°	$\alpha =$	27°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	160%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	51%	
	F.S. =	0.38	F.S. =	1.11	
Talud 8	$\alpha =$	72°	$\alpha =$	30°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	397%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	58%	
	F.S. =	0.501	F.S. =	1.07	
Talud 9	$\alpha =$	28°	$\alpha =$	19°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	53%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	34%	
	F.S. =	0.581	F.S. =	1.222	
Talud 10	$\alpha =$	59°	$\alpha =$	29°	
	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	166%	$m=(\text{tang.}\alpha)*100$	55%	
	F.S. =	0.426	F.S. =	1.17	

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 23 podemos identificar los datos más resaltantes en cuanto al factor de seguridad respecto al ángulo de los 3 métodos en estudio.

TALUD N°8 (Método Bishop)

Analizando el Talud N° 8 con los datos de las coordenadas reales vemos que tiene un ángulo elevado de 72° y por ende el factor de seguridad es demasiado bajo con un valor de 0.465 y por lo tanto el talud presentara dificultades de deslizamientos sabiendo que a mayor ángulo de inclinación va ser mayor el porcentaje de erros y por ende menor el factor de seguridad.

Si observamos claramente el ángulo del talud N° 8 con las coordenadas corregidas verificamos que el valor del ángulo reduce a 36° y el factor de seguridad aumenta 1.3 por lo tanto supera al factor de seguridad mínimo requerido.

TALUD N° 6 (Método Fellenius)

En el talud N° 6 observamos que el ángulo de las coordenadas reales es igual a 65° y el factor de seguridad que nos presenta es sumamente bajo igual a 0.362 esto demuestra que el talud actualmente se encuentra en posibles deslizamientos.

Revisando el mismo talud con las nuevas coordenadas corregidas vemos que se obtiene un ángulo de 22° y así mismo un factor de seguridad de 1.28 que cumple dentro del rango recomendado garantizando la estabilidad del talud.

TALUD N° 3 (Método Janbu)

Del método de Janbu se observa que el talud 3 presenta un ángulo de 65 ° con las coordenadas actuales y así mismo un factor de seguridad bajo de 0.499 estos valores muestran que el talud se encuentra inestable. Por otra parte analizamos que el nuevo ángulo calculado con las coordenadas corregidas reduce a 29 ° y por ende el factor de seguridad aumenta a un valor de 1.2.

en análisis se comprende que los taludes con ese tipo de suelo se estabilizara cuando cumplan un ángulo entre 20° a 30° para tener un talud estable y sin tener inconvenientes de derrumbes.

Analizando El Talud 7

Tabla 27 Comparacion de resultados del F.S. del talud N° 7

Talud	Métodos	Resultados del factor de seguridad reales
Talud N°7	Bishop simplificado	0.391
	Fellenius	0.384
	Janbu simplificado	0.38

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se han presentado los resultados obtenidos para el talud 7 en estudio, en la cual se han considerado los modelos de Fellenius, Bishop y Janbú, para calcular su factor de seguridad.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se ha podido observar que para todos los análisis, el modelo propuesto por Fellenius, el cual plantea equilibrio de momentos, ha sido aquel que ha proporcionado el factor de seguridad más bajo.

Cabe destacar que, para todos los casos estudiados, el talud 7 es inestable puesto que no cumple con FS ($FS < 1.20$), lo que refleja que el talud sufre o puede sufrir desplazamientos bajo las condiciones de los cálculos considerados.

Por otro lado, de la tabla 26 se observa que el modelo planteado por Bishop y Janbu resulta ser el más conservador de todos, al proporcionar los mayores FS. Esto se puede explicar debido a que es uno de los métodos que más simplificaciones considera en el cálculo.

Dado que los tres modelos considerados han entregado distintos valores del FS para la condición estática, se ha realizado una comparación entre ellos, la que se resume en la tabla 27.

Tabla 28 Variación porcentual del F.S. del talud 7 entre los distintos métodos de análisis.

Talud	Modelos comparados	Variación porcentual del F.S. (%)
Talud N°7	Fellenius / Bishop	1.79
	Bishop / Janbu	2.81
	Janbu / Fellenius	1.04

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior, se puede establecer que, Fellenius y Janbú son aquellos que presentan una menor variación entre sus resultados, mientras que Bishop y Janbú la mayor, lo que se puede explicar porque, si bien se basan en hipótesis distintas.

CAPITULO IV

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS TECNICAS PARA LA PROTECCION DE TALUDES

4.1 ALTERNATIVAS

Analizando las alternativas posibles y hacer un estudio más detallado de cada una de ellas, se realizara el planteamiento de solución en los taludes para poder garantizar la estabilidad del mismo.

4.2 ALTERNATIVAS POSIBLES

Por motivos técnicos y económicos, nos queda el análisis de las medidas de estabilización de consolidación de suelos mediante mallas o membranas con anclajes que impidan el desprendimiento de material como por ejemplo malla doble torsión, malla triple torsión reforzada, modificación de la topografía.

4.3 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE PROTECCION

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

Costo económico.

Viabilidad técnica.

Grado de seguridad.

4.3.1 Malla TT reforzada

Definición:

Se define malla de triple torsión anclada y reforzada con cables, como un sistema de componentes anclado sobre una superficie, capacitado para evitar y controlar

desprendimientos y aportar estabilidad superficial al terreno, con una capacidad de carga definida.

Tabla 29 Malla triple torsión reforzada

Tratamiento	Bulonado	Cuadrícula del bulonado m	Capacidad de carga del sistema KN/m² Fs=1.67	Resistencia límite de la membrana KN/m
Malla de triple torsión anclada y reforzada con cables	Gewi plus 18	3,0 x 5,0	Hasta 5,40	40,80

Fuente: Desnivel obras 2012

Descripción:

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

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

Malla de alambre de triple torsión:

Malla de alambres de acero galvanizado que entrelazados entre sí por medio del sistema conocido por “triple torsión”, forma un tejido susceptible de ser sometido a determinados

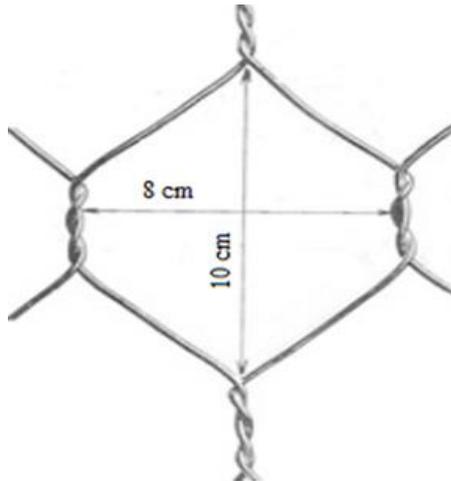
esfuerzos de tracción si se encuentra convenientemente vinculado. Tiene las siguientes características:

Tabla 30 Características de la malla triple torsión reforzada

Tipo malla	N° alambre	Diámetro alambre mm	Contenido Zn gr/m ²	Resistencia a tracción KN/ml por m de ancho	Largo m	Ancho m	Peso kg/m ²
8x10/16	16	2,70	260	40,80	100	4	1,35

Fuente: Desnivel obras 2012

Figura Nro. 58 Detalle malla



Fuente: Desnivel obras 2012

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

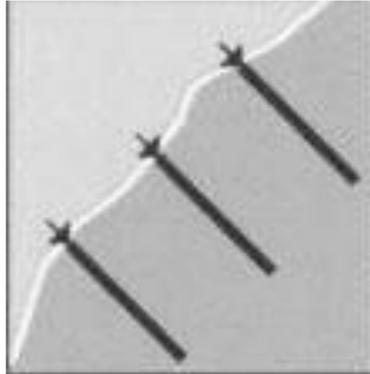
El calibre del alambre galvanizado es del número 16 que equivale a 2,70 mm de diámetro. En el diámetro del alambre se admite una tolerancia después de tejido de $\pm 2,5\%$. En las demás características, incluidas tolerancias dimensionales.

Anclajes interiores y de cabecera (bulones)

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

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

Figura Nro. 59 Detalle bulones



Fuente: Desnivel obras 2012

Figura Nro. 60 Detalle placa hexagonal



Fuente: Desnivel obras 2012

Anclajes de pie

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

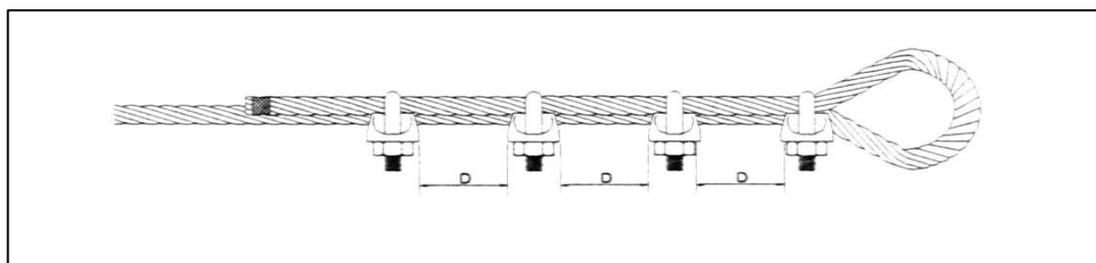
Cables de acero

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

Sujeta cables

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

Figura Nro. 61 Detalle cable



Fuente: Desnivel obras 2012

Coste económico

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

Viabilidad técnica

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

Las ventajas de este sistema son:

Aumenta la estabilización superficial.

Impide acumulación de fragmentos desprendidos en el pie.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación.

Grado de seguridad

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

4.3.2 MALLA DOBLE TORSION GalMac® 4R

Definición

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

Tabla 31 Características malla GalMac® 4R

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

Fuente: Maccaferri

Descripción

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

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

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

Costo económico

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

Viabilidad técnica

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

Libertad de adopción de cuadrícula.

Capacidad de carga garantizada en toda la superficie.

Permite el drenaje natural.

Ejecución rápida.

Escaso impacto visual de la actuación, permite revegetación.

Grado de seguridad

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

4.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

4.4.1 Talud N°1 (Progresiva km 0+000)

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

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
1	35°	1.11	1.05	1.03	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 29°.

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
1	29°	1.42	1.38	1.37	Cumple

4.4.1.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 35°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 29° que se

aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 62 Movimiento de tierras en taludes



Fuente: Taludes en autopistas noviembre 2013

4.4.2 Talud N°2 (Progresiva km 4+400)

El presente talud presenta caída de sedimentos en las cunetas que ocasiona estancamiento de agua en las mismas, y corre el riesgo de tener deslizamientos mayores y ocasionando peligro para los que transitan ya que el trazo de la carretera se encuentra cerca de la vía.

Después de hacer un estudio de suelos y posteriormente calculamos el factor de seguridad mediante el (Slide) se obtuvo los siguientes resultados por los diferentes métodos.

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
2	50°	0.511	0.522	0.536	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un talud inestable donde la medida de actuación para estabilizar el talud es reduciendo la pendiente del talud modificando la topografía.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
2	24°	1.39	1.43	1.34	Cumple

4.4.2.1 Sistema de estabilización aplicando movimientos de tierra

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 50°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente más estable que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

4.4.3 Talud N°3 (Progresiva km 7+800)

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

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
3	64°	0.504	0.509	0.499	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un talud inestable donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS es colocar una Sistema de estabilización malla doble torsión GalMac 4R.

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
3	33°	1.34	1.25	1.2	Cumple

4.4.3.1 Sistema de estabilización malla doble torsión GalMac 4R.

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

4.4.3.2 Sistema de estabilización aplicando movimientos de tierra

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 64°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente más estable (33°) que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

4.4.4 Talud N°4 (Progresiva km 19+500)

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

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
4	62°	0.365	0.362	0.357	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un talud inestable donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del talud a 27°.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
4	27°	1.27	1.22	1.2	Cumple

4.4.4.1 Sistema de estabilización aplicando movimientos de tierra

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 62°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente más estable que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 63 Movimiento de tierras en taludes



Fuente: Maccaferri

4.4.5 Talud N°5 (Progresiva km 21+800)

Se observó que el talud presenta desprendimientos de una masa demasiado considerable que ocasionan obstrucción en parte en la vía, también produce derrame de sedimentos en las cunetas que ocasionan su obstrucción.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
5	48°	0.441	0.421	0.428	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del talud a 23°.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
5	23°	1.46	1.38	1.28	Cumple

4.4.5.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 48°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 23° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 64 Movimiento de tierras en taludes



Fuente: Maccaferri

4.4.6 Talud N°6 (Progresiva km 26+400)

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

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
6	65°	0.365	0.362	0.372	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un talud inestable donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 27° y reforzarlo con mallas antierosivas MacMat® R3 sostenidas con pequeños anclajes desde el pie hasta la cabeza del talud.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
6	27°	1.36	1.28	1.2	Cumple

4.4.6.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 65°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 27° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 65 Disposición de maquinaria en la excavación de la vía interna en Valle Sur – Municipio de Itagüí



Fuente: guía práctica de maquinaria adecuada para la construcción de proyectos viales (medellín 2011)

4.4.6.2 Sistema de estabilización mediante mallas tipo MacMat R3

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

4.4.7 Talud N°7 (Progresiva km 8+500)

Este talud se tendría que modificar la topografía para que si se encuentre estable por que la falla es en época de lluvia ahí es donde se presentan diferentes tipos de deslizamientos ocasionando daños en la carretera como así también a los que transitan, desprendiendo grandes cantidades de material suelto y también masas de suelo en la calzada y cunetas.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
7	58°	0.391	0.384	0.38	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un **talud inestable** donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del talud a 31°.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
7	31°	1.22	1.2	1.2	Cumple

4.4.7.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 58°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 31° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 66 Talud en corte (reducción de pendiente)



Fuente: Maccaferri

4.4.8 Talud N°8 (Progresiva km 24+050)

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

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
8	72°	0.465	0.482	0.501	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un talud inestable donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 36° y reforzarlo con mallas doble torsión GalMac® 4R de 8x10 de abertura y 3mm de espesor, con una resistencia a tracción de 60 KN/m y pequeños anclajes cada 50 cm.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
8	36°	1.3	1.23	1.2	Cumple

4.4.8.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierra

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 72° , al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 36° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 67 Reducción de talud para estabilizar



Fuente: Maccaferri

4.4.8.2 Sistema de estabilización doble torsión GalMac 4R.

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

Figura Nro. 68 doble torsión GalMac 4R.



Fuente: Maccaferri

4.4.9 Talud N°9 (Progresiva km 4+600)

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

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
9	28°	0.61	0.594	0.581	No cumple

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

Partiendo del resultado del FS es considerado un talud inestable donde la medida de actuación para estabilizar el talud según su FS fue de bajar la pendiente del mismo y bajar considerablemente la pendiente de la cabeza del talud mediante movimiento de tierras dando una pendiente de 28°.

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
9	21°	1.4	1.22	1.22	Cumple

4.4.9.1 Sistema de estabilización de taludes mediante movimiento de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de dimensiones grandes y de una pendiente de 28°, al realizar la acción mencionada se logró bajar a una pendiente de 21° que se aproxima al ángulo de fricción del talud dándonos un grado de seguridad aceptable garantizando el impedimento de algún deslizamiento, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 69 Reducción del talud



Fuente: Maccaferri

4.4.10 Talud N°10 (Progresiva km 24+100)

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

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

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS \geq 1.2
10	59°	0.411	0.433	0.426	No cumple

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

Partiendo del resultado la medida de actuación para estabilizar el talud según su F.S. fue el de bajar la pendiente del talud a 34° con el ensanchamiento de la banquina e implementar sistemas de mallas antierosivas MacMat® R3 sostenidas con pequeños anclajes desde el pie hasta la cabeza del talud con una cobertura del 100%, gracias a estas medidas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad:

Talud N°	Ángulo	Bishop	Fellenius	Janbu	Observación:
					FS ≥ 1.2
10	34°	1.39	1.34	1.2	Cumple

4.4.10.1 Sistema de estabilización mediante mallas tipo MacMat R3

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

Figura Nro. 70 Malla geo manta antierosiva reforzada



Fuente: Maccaferri

4.4.10.2 Sistema de estabilización mediante movimientos de tierras

Se eligió este sistema ya que al ser un talud de grandes dimensiones al realizar la acción mencionada generara un coste no muy elevado, se bajó la pendiente del talud a 34° y se mejoró la banquina para una mejor estabilidad del talud dándonos un grado de seguridad aceptable, el sistema es de rápida ejecución.

Figura Nro. 71 Reducción del talud



Fuente: Maccaferri

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

Tabla 32 Valores de factor de seguridad obtenidos con alternativas propuestas

Talud N°	Bishop	Fellenius	método Janbu	FS ≥ 1.2	Ángulo talud	Alternativa
1	1.42	1.38	1.37	Cumple	29°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras
2	1.39	1.43	1.34	Cumple	24°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras
3	1,130	1.34	1.25	Cumple	33°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas doble torsión GalMac® 4R.
4	1.27	1.22	1.2	Cumple	27°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras. Y se trabajó banquetas.
5	1.46	1.38	1.28	Cumple	23°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se realizó banquetas para evitar daños en la carretera
6	1.36	1.28	1.2	Cumple	27°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas MacMat® R3 antierosiva.
7	1.22	1.2	1.2	Cumple	31°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras.
8	1.3	1.23	1.2	Cumple	36°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas doble torsión GalMac® 4R.
9	1.4	1.22	1.22	Cumple	21°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras.
10	1.39	1.34	1.2	Cumple	34°	Se bajó la pendiente del talud mediante movimiento de tierras y se reforzó con mallas MacMat® R3 antierosiva.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis De Costos De Las Alternativas Del Talud 10

Descripción		Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)	% de costos
Vs	Malla MacMat® R3	m ²	3,507.54	93.55	328,130.37	79.70
	Movimiento de tierra con maquinaria	m ³	40,423.53	40.07	1,619,770.85	
Vs	Malla doble torsión GalMac® 4R 8x10 cm x 3 mm	m ²	3,507.54	54.88	192,493.80	88.11
	Movimiento de tierra con maquinaria	m ³	40,423.53	40.07	1,619,770.85	
Vs	Malla doble torsión GalMac® 4R 8x10 cm x 3 mm	m ²	3,507.54	54.88	192,493.80	41.34
	Malla MacMat® R3	m ²	3,507.54	93.55	328,130.37	

4.5 COMCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LAS ALTERNATIVAS

- La variación del Angulo de inclinación máximo del talud 10 en porcentaje una vez estabilizado es de 42.37 %.y en el factor de seguridad un porcentaje de 67.46%.
- Se puede observar que a mayor ángulo del talud, es mayor la inestabilidad del mismo, menor el factor de seguridad y a menor ángulo de inclinación mayor la estabilidad del talud y por el ende el factor de seguridad mayor.
- La diferencia de los costos en porcentaje de las alternativas "Malla MacMat® R3" vs Movimiento de tierra con maquinaria es de 79.70 %.
- La diferencia de los costos en porcentaje de las alternativas Malla doble torsión GalMac® 4R 8x10 cm x 3 mm Vs Movimiento de tierra con maquinaria es de 88.11 %.
- La diferencia de los costos en porcentaje de las alternativas Malla doble torsión GalMac® 4R 8x10 cm x 3 mm Vs "Malla MacMat® R3 "es de 41.34% y la diferencia en bolivianos es 135630.57.
- Se recomienda utilizar la alternativa de Malla doble torsión GalMac® 4R 8x10 cm x 3 mm. de que es más económica lo cual tendrá importancia en los costos general, total del proyecto.
- Se eligió este sistema ya que su alta viabilidad técnica en la ejecución de taludes de gran altura garantiza la capacidad de controlar y evitar los desprendimientos de material, el costo es bajo y el sistema garantiza la seguridad con un costo de mantenimiento casi nulo.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Se logró identificar varios taludes en zona de riesgo en el tramo Entre Rios – Palos Blancos de la provincia O’Connor de la ciudad de Tarija, se realizó los laboratorios necesarios para determinar el peso específico y los ensayos de corte directo como resultado obtuvimos la cohesión y el ángulo de fricción interna para poder aplicar en el programa Slide.
- Para obtener los factores de seguridad de los diferentes taludes y como resultados tenemos un rango muy bajo que oscilan entre 0.357 al 1.113 esto demuestra que no cumplen con el factor de seguridad tabulado, el factor de seguridad dentro de ese rango no compromete la estabilidad del talud en su totalidad por que puede generar desprendimientos de masa de suelo de forma gradual a través del tiempo.
- Los datos obtenidos de los taludes seleccionados y representativos dentro del tramo en estudio se verifico que la gran parte de la inestabilidad de los taludes se debe a la inclinaciones de los taludes, teniendo un promedio de 54° y por la exageradas alturas en los taludes, poniendo en la susceptibilidad de desprendimiento en caso que no se hagan trabajos de mantenimiento o control de las obras.

En la siguiente tabla se logró obtener los datos más importantes para la comparación del factor de seguridad

Resultados principales de los taludes con coordenadas reales.

Identificacion	Longitud (m)	Altura (m)	Inclinacion (°)	Peso Especifico (g/cm ³)	Cohesion (Kg/cm ²)	Angulo de friccion (°)	Factor de seguridad real	Estado del talud
Talud 1	321	36.26	35	2.62	0.18	26	1.06	Inestable
Talud2	131	21.79	50	2.47	0.19	15	0.523	Inestable
Talud 3	140	22.76	64	2.45	0.20	24	0.504	Inestable
Talud 4	55	31.37	62	2.56	0.16	14	0.361	Inestable
Talud 5	138	21.7	48	2.50	0.14	11	0.430	Inestable
Talud 6	125	17.7	65	2.62	0.14	10	0.366	Inestable
Talud 7	155	39.79	58	2.63	0.18	16	0.385	Inestable
Talud 8	146	12.14	72	2.42	0.16	10	0.483	Inestable
Talud 9	432	21.24	28	2.46	0.15	9	0.595	Inestable
Talud 10	159	26.39	59	2.42	0.19	20	0.423	Inestable

Resultados principales de los taludes con coordenadas corregidas.

Identificacion	Longitud (m)	Altura (m)	Inclinacion (°)	Peso Especifico (g/cm ³)	Cohesion (Kg/cm ²)	Angulo de friccion (°)	Factor de seguridad corregido	Estado del talud
Talud 1	121	36.26	29	2.62	0.18	26	1.39	Estable
Talud2	130	21.79	24	2.47	0.19	15	1.33	Estable
Talud 3	140	22.76	33	2.45	0.20	24	1.26	Estable
Talud 4	55	31.37	27	2.56	0.16	14	1.23	Estable
Talud 5	138	21.7	23	2.50	0.14	11	1.37	Estable
Talud 6	120	17.7	27	2.62	0.14	10	1.28	Estable
Talud 7	155	39.79	31	2.63	0.18	16	1.17	Estable
Talud 8	118	12.14	36	2.42	0.16	10	1.20	Estable
Talud 9	250	21.24	21	2.46	0.15	9	1.30	Estable
Talud 10	159	26.39	34	2.42	0.19	20	1.30	Estable

Fuente: Elaboración propia

- La variación del Angulo de inclinación máximo del talud 8 en porcentaje una vez estabilizado es de 50 %.y en el factor de seguridad un porcentaje de 59.75%.
- La variación del Angulo de inclinación mínimo del talud 9 en porcentaje una vez estabilizado es de 25 %. y la diferencia del factor de seguridad en porcentaje es de 54.32 %.
- Siguiendo con este planteamiento se establece con las coordenadas corregidas un factor de seguridad, los nuevos resultados varían entre 1.20 al 1.399.estos resultados si cumplen con los valores que tiene en norma garantizando la estabilidad de los taludes.
- Se verifico que el factor de seguridad depende de la inclinación del talud y se observó que a menor ángulo de inclinación del talud el factor de seguridad aumenta, por esta razón establecemos una relación para los taludes en estudio que corresponde a una muestra de suelos A-4 (arcilla baja o mediana comprensibilidad) A-6 (arcilla inorgánica) donde los ángulos necesarios varían entre 20 ° a 30 ° para obtener un factor de seguridad confiable.
- La utilización del software Slide especializado en el análisis de estabilidad de taludes permitió observar de forma más clara la interacción entre el factor de seguridad calculado por cada uno de los métodos (Fellenius, Bishop Simplificado, Janbú Simplificado) y las superficies de falla distribuidas en toda la masa de suelo. Esto generó que se pudiera visualizar de forma más sencilla las zonas más inestables del talud y las que por sus propiedades y geometría poseían un mayor grado de estabilidad.
- El costo estimado del proyecto es de 16,847,789.59 Bs dieciséis millones ochocientos cuarenta y siete mil setecientos cuarenta y nueve con cincuenta y nueve centavos 59/100. donde el costo por metro cuadrado en Bs 521. 88 bs/m² y en dólares 74.98 \$us/m².
- la duración del proyecto según el cronograma de obras es de 518 días calendario.

- durante la evaluación de la estabilidad de taludes la variación manual vs software (Slide) del talud 3 por el método de Bishop es de 10.32 %
- la diferencia de los resultados del factor de seguridad Slide vs manual del talud 3 según el método de Fellenius es de 38.98 %
- durante la evaluación de la estabilidad de taludes la diferencia manual vs software (Slide) del talud 3 por el método de Janbu simplificado es de 3.61 %
- Se observa que los métodos computacionales son más conservadores, esto es debido a que los métodos manuales hacen un promedio de los datos de peso específico y cohesión de los materiales que componen al talud. mismo que mi criterio más aceptable o recomendado es el método de Janbu simplificado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Reducir la pendiente de los taludes modificando la topografía, para que aumente el factor de seguridad por ende garantizar la estabilidad del mismo y evitar futuros derrumbes, ocasionando problemas a los que circulan por la zona poniendo en riesgo de sus vidas.
- Es necesario realizar un mantenimiento preventivo en la zona y medidas de prevención para evitar los deslizamientos ocasionando perjuicios en especial en época de lluvia y así garantizar la libre circulación.
- Se recomienda un control muy riguroso de los ítems, en las especificaciones técnicas del proyecto durante su ejecución del proyecto.
- En la etapa de la ejecución del proyecto se debe contar con mano de obra calificada, en dirección y supervisión para evitar futuras fallas.
- Tomar en cuenta todas las medidas de seguridad necesarias en la ejecución de los taludes (cortes) durante en la época de lluvia ya que en esta época existen mayores riesgos para los transeúntes, peatones, personal del proyecto y equipos de construcción.
- Se sugiere que el tema de estabilidad de taludes entre más a profundo en una de las asignaturas ya que es muy importante para el cálculo de taludes eh implica en el área de vías como ser en carreteras, en aguas que también abarca en el tema de taludes en presas y en obras civiles como ser en edificaciones como ser en terraplenes etc.
- Al realizar la estabilidad de los taludes se recomienda cumplir con los factores de seguridad recomendados igual a 1.2 (EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE CORTE Y TERRAPLÉN, Sociedad Colombiana de Geotecnia y universidad nacional de Colombia)
- Es necesario realizar la verificación manual de la estabilidad de taludes y la comprobación de los mismos con un software. para la fiabilidad de nuestro diseño.

Bibliografía

(s.f.).

Burgos, V. U. (2008). *MODELO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES*.
Ambato - Ecuador.9

CASTAÑÓN GARAY , P. A. (s.f.). *ESTABILIDAD DE TALUDES*.

CHAPMAN, C. E. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes*. Lima - Peru.

De Matteis, A. (2003). *Estabilidad de taludes*. Rosario.

Diaz), (. (s.f.). *Control de erosion en zonas*.

Diaz, S. (2001). , *Control de erosion en zonas tropicales* .

FERNÁNDEZ, N. M. (2017). *ANÁLISIS GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO EN LOS TALUDES* . Cajamarca-Peru.

MADRIGAL, K. F. (julio del 2015). *Alternativas para la estabilización en l canton de leon costes*.

QUIROZ BARROZO , M. (2015). *ESTABILIDAD E TALUDES*. CHIMBOTE.

RODRIGUEZ, F. (2000).

SUAREZ DIAZ, J. (s.f.). *deslizamiento - analisis geotecnico*.

TARDEO DE LA CRUZ, C. (2016). *ANALISIS DINAMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES*. LIRCAY- PERU.

UGALDE MADRIGAL , K. (2015). *ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE TALUDES*. COSTA RICA.

VILLAGÓMEZ, M. A. (2018). *ESTUDIO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES*.
Quito.