



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN UN SECTOR DE LA CANTERA DE MATERIALES PÉTREOS “LAS VICTORIAS””

*Monografía previa a la
obtención del título
de Ingeniero Civil*

AUTORES:

Juan Bernardo Merchán Pesántez

Diego Rigoberto Sánchez Molina

TUTORES:

Ing. Maday Cartaya Pire, PhD

Ing. Roberto Cipriano Blanco Torrens, PhD

Cuenca – Ecuador

2013



RESUMEN

La estabilidad de los taludes en obras de ingeniería o de minería es de vital importancia para garantizar un normal, eficaz y seguro desarrollo de los trabajos ingenieriles y mineros.

EL presente trabajo presenta la evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera "Las Victorias", mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado y la determinación del factor de seguridad de los taludes; información que será evaluada mediante mediciones in situ e información existente, para esto se aplica: Método del círculo de fricción, Método de Markland y los software Dips v5.103 y GEO5.

Con los resultados que se obtienen se puede afirmar que existe estabilidad global en los taludes del macizo, así como mediante un estudio más minucioso se logra precisar que existe inestabilidad local en determinados sectores por causa de desprendimientos y voladuras.

Dentro de las recomendaciones que se proponen para la estabilidad están: Corrección Geométrica, Construcción de Bermas, Saneamiento y Control de Voladuras.

Palabras clave: Talud, deslizamiento, factor de seguridad, Markland, Círculo de Fricción, Las Victorias, cantera, estabilidad.



Abstract

The slope stability in engineering or mining is vital to ensure normal development of effective and safe engineering and mining works.

THE present work presents the evaluation of the stability of slopes in an area of the quarry "The Victories" by geomechanical characterization of the rock mass affected and determination of the safety factor of the slope, information which will be assessed by measurements in situ and existing information, for this applies: friction circle method, method Markland and Dips v5.103 and GEO5 software.

With the results obtained we can say that there is overall stability in the slopes of the massif, and by closer study pointed out that there is achieved local instability in certain areas because of landslides and blasting.

Among the recommendations proposed for stability are: Geometric Correction, building berms, cleansing and Blasting Control.

Keywords: slope, slide, safety factor, Markland, Friction Circle, Las Victorias, quarry stability.



CONTENIDO

CAPITULO 1. ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA	16
1.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	16
1.1.1 TALUD, CONCEPTO Y DEFINICIÓN.....	19
1.1.2 LAS CANTERAS	20
1.1.3 MATERIALES PÉTREOS.....	22
1.1.4 TIPOS DE FALLAS MÁS FRECUENTES EN TERRENOS.....	24
1.2 ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA EN EL MUNDO	28
CAPITULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	33
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y PRINCIPALES REDES DE COMUNICACIÓN.....	33
2.2 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.....	34
2.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL	35
2.2.2 TECTÓNICA REGIONAL	37
2.2.3 GEOMORFOLOGÍA	38
2.2.4 HIDROGEOLOGÍA	38
CAPITULO 3. EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA CANTERA “LAS VICTORIAS”	40
3.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ROCA.....	40
3.1.1 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LAS ROCA.....	40
3.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGRIETAMIENTO.....	45
3.1.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA	51
3.1.2.1 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS ROCAS.....	51
3.2 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL SECTOR ANALIZADO EN LA CANTERA “LAS VICTORIAS”	57
3.2.1 TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTOS EN LA CANTERA.....	57
3.2.2 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES APLICANDO EL MÉTODO DE LOS CÍRCULOS DE FRICCIÓN (ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL TALUD).....	57
3.2.3 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD APLICANDO EL PAQUETE DE SOFTWARE GEO5 v16 DEMO	66



CAPITULO 4. MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN	72
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Métodos del Cálculo de Estabilidad de Taludes.....	17
Figura 2 Partes constitutivas de talud a) artificial y b) natural, (Suárez, 1998).....	19
Figura 3 Partes constitutivas de los movimientos, (Suarez, 1998).	24
Figura 4 Desprendimiento y Volcadura de bloques.....	26
Figura 5 Tipos de deslizamientos en un macizo rocoso.....	26
Figura 6 Ubicación geográfica de la cantera “Las Victorias” (Google earth, 2013).....	33
Figura 7 Accesos hacia la cantera “Las Victorias”, (Google earth, 2013).....	34
Figura 8 Esquema del Talud de Estudio.	35
Figura 9 Ubicación de la mina en el Mapa Geológico del Ecuador Hoja#73 IGM Azogues.	36
Figura 10 Ensayo a compresión simple de los testigos tallados.	41
Figura 11 Ensayo a tracción de los testigos tallados.....	43
Figura 12 Obtención Gráfica de C y ϕ , en base a resultados de Ensayos.....	44
Figura 13 Discontinuidades Familia I.	47
Figura 14 Discontinuidades Familia II.	47
Figura 15 Discontinuidades Familia III.	48
Figura 16 Proyección estereográfica de las tres familias de discontinuidades.....	50
Figura 17 Datos para la aplicación del Método de Markland.....	59
Figura 18 Aplicación del Método del Círculo de Fricción plano de deslizamiento I_{1-2}	62
Figura 19 Aplicación del Método del Círculo de Fricción plano de deslizamiento I_{1-3}	63
Figura 20 Aplicación del Método del Círculo de Fricción plano de deslizamiento I_{2-3}	64



Figura 21 Formación de la cuña mediante proyección estereográfica en el software Dips v5.103, (Rocscience, 2009a).....	66
Figura 22 Resultados aplicación software GEO5 v16 Demo.....	68
Figura 23 Resultados aplicación del software GEO5 v16 Demo.....	69
Figura 24 Cuña de falla resultado de la aplicación del software GEO5 v16 Demo.	70
Figura 25 Esquema de Diseño de Bermas Intermedias de Seguridad.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de resultados del ensayo a compresión simple.....	42
Tabla 2 Tabla de resultados del ensayo a tracción.	43
Tabla 3 Resumen de Propiedades Físico Mecánicas de las Rocas.....	45
Tabla 4 Familias de planos de discontinuidades.....	45
Tabla 5 Familias de Grietas medidas in situ.....	46
Tabla 6 Tamaño de grietas en función del número de grietas por metro cúbico. ...	48
Tabla 7 Espaciamiento de discontinuidades para cada sistema de grietas	49
Tabla 8 Condición de las Discontinuidades.....	49
Tabla 9 Clasificación del agrietamiento basado en las dimensiones promedio del bloque estructural.....	50
Tabla 10 Clasificación de las rocas en función del RQD.....	51
Tabla 11 Tabla de Calificación de Parámetros de Bieniawski (1979).....	52
Tabla 12 Corrección del RMR mediante ajuste por orientación de discontinuidades.	53
Tabla 13 Parámetros valorados para Bieniawski.	53
Tabla 14 Valoración del RMR.....	54
Tabla 15 Cálculo de los parámetros SMR.....	55
Tabla 16 Clases de estabilidad según el SRM de Romana (1992).	56
Tabla 17 Correlación de los métodos de Bieniawski-Romana	57
Tabla 18 Propiedades del Talud I analizado.	58
Tabla 19 Tabla Resumen de Resultados	71



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Juan Bernardo Merchán Pesántez**, autor de la tesis "EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN UN SECTOR DE LA CANTERA DE MATERIALES PÉTREOS LAS VICTORIAS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 12 de Agosto de 2013

Juan Bernardo Merchán Pesántez
C.I. 0103186888

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

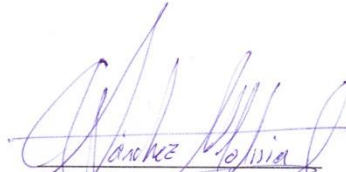


UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Diego Rigoberto Sánchez Molina**, autor de la tesis "EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN UN SECTOR DE LA CANTERA DE MATERIALES PÉTREOS LAS VICTORIAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 12 de Agosto de 2013



Diego Rigoberto Sánchez Molina
C.I. 0104059415

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Diego Rigoberto Sánchez Molina**, autor de la tesis "EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN UN SECTOR DE LA CANTERA DE MATERIALES PÉTREOS LAS VICTORIAS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 12 de Agosto de 2013

Diego Rigoberto Sánchez Molina
C.I. 0104059415

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres Eulalia y Miguel, a mi familia, a mis amigos, y de manera especial a mi tío Rodrigo, ya que gracias a su apoyo se hizo posible este trabajo.

Juan Bernardo Merchán Pesántez



DEDICATORIA

Dedico este trabajo y todo mi esfuerzo a Dios que me brindó la sabiduría para afrontar todos los retos encontrados a lo largo del camino.

A mi madre Alicia por ser el faro incansable de amor, esfuerzo y lucha.

A mi padre Rigoberto por ser ejemplo de rectitud y perseverancia en vida.

A mi tía Betty por todas las palabras de aliento y fe que me brinda siempre.

A toda mi familia y amigos mi gratitud y estima.

Diego Rigoberto Sánchez Molina



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra querida Facultad de Ingeniería por impartirnos el respeto y dedicación al trabajo.

A nuestros profesores guías Maday y Roberto que gracias a su apoyo este trabajo vio la luz, dado su esfuerzo y amistad brindada en cada momento.

A nuestros padres, tíos, hermanos, amigos y demás familiares que siempre estuvieron para brindarnos su apoyo incondicional.

Juan Bernardo Merchán Pesántez

Diego Rigoberto Sánchez Molina



INTRODUCCIÓN

A pesar de que los recursos mineros pétreos son estratégicos e indispensables dentro del desarrollo de nuestro país, el diseño adecuado de los taludes de las canteras para su explotación no se lo estudia a cabalidad, de manera que conduzca a una utilización eficiente dentro de su aprovechamiento. Contar con un adecuado estudio sería especialmente conveniente para la toma de decisiones con respecto al abastecimiento de materiales de construcción dentro de nuestra provincia.

Las dificultades son, sin embargo, múltiples. Para empezar, las propiedades de las rocas y de los macizos que van a ser afectados deberían ser investigados a cabalidad lo cual conlleva dificultades, desde el punto de vista de las técnicas comunes utilizadas para el pronóstico de estas propiedades, así como los costos que involucran costo tiempo, costo equipo, costo personal. Luego de esto, es necesario un adecuado plan de explotación dentro del cual una de las partes que conlleva especial esfuerzo está en el diseño de los taludes y en el caso de canteras ya activas en la evaluación constante de la estabilidad de sus taludes, ya que por ellos se permite el acceso y traslado de material a través de la cantera.

Cabe mencionar que el presente trabajo es el primer estudio de este tipo realizado en la zona; si bien existen estudios en el cual el análisis comprende similitudes, el mismo se diferencia en que la cantera en estudio es una cantera en explotación, con datos reales y no estimados con respecto a otros estudios en donde las canteras estaban por iniciar su explotación.

La elaboración de estas investigaciones y evaluaciones presenta, por su lado, retos adicionales. Se requiere, en primer lugar, un manejo de conceptos de geotécnica, geología, geomecánica, minería y técnicas para ensayos in situ y en laboratorio, para lo cual se enfrenta el siguiente problema:

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de evaluar la estabilidad de los taludes de la cantera “Las Victorias”.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera “Las Victorias” y proponer las medidas para su estabilización.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es el macizo rocoso de la cantera “Las Victorias”.



HIPÓTESIS

Si se realiza la caracterización geomecánica del macizo rocoso es posible determinar el factor de seguridad de los taludes y proponer las medidas adecuadas de estabilización.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso del talud a partir de la información existente y mediciones in situ.
- Evaluar la estabilidad de los taludes en la cantera.
- Proponer medidas de estabilización.

RESULTADOS ESPERADOS

Llegar a pronosticar el factor de seguridad de los taludes de la cantera así como del sistema en general, en lo que respecta a la parte de diseño y evaluación de taludes existentes o no, así como proponer las medidas más adecuadas de estabilización y conformación.

METODOLOGÍA

Dentro del conjunto de métodos y técnicas que usaremos durante el proceso de investigación, es decir dentro de la actividad que se orienta a obtener nuevos conocimientos para la solución del problema se lo realiza mediante:

- El método científico para obtener la información deseada.
- Para nuestro estudio aplicaremos una investigación básica o teórica ya que el marco teórico se lo utiliza en la investigación.
- Según los medios para la obtención de datos se realiza una investigación documental, al trabajar con fuentes documentales (bibliografía, hemerografía, archivística), y de campo ya que se requiere de observaciones en el lugar de estudio in situ.
- Por el nivel de conocimiento que se adquiere se realiza una investigación explorativa la misma que se desarrolla con el propósito de destacar aspectos fundamentales de nuestra problemática, para así encontrar procedimientos para futuras líneas de investigación.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de evaluar la estabilidad de los taludes dentro de la cantera “Las Victorias” es de mucha utilidad e importancia, la misma que garantiza: el aprovechamiento de los materiales pétreos, el brindar seguridad en el traslado de



equipos y personas, asegurar una producción constante, mantener la estabilidad global de la mina, aprovechamiento sustentable y económico.

ALCANCE

Se desarrolla este estudio de evaluación de la estabilidad de los taludes de la cantera “Las Victorias” a fin de obtener un adecuado conocimiento de su situación geomecánica y de sus potenciales inestabilidades, que pueden influir en el aprovechamiento de la cantera, de manera que los taludes se valoran de manera adecuada. Esta evaluación constará de parámetros investigados in situ y de un análisis del factor de seguridad para así generar el pronóstico de la estabilidad de los taludes de la cantera.



CAPITULO 1. ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA

1.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

El primer capítulo de este trabajo expone la base teoría y conceptos previos que permitan argumentar la propuesta, también se realiza una revisión bibliográfica sobre la temática en el mundo y en Ecuador.

De tal forma se aprecia que durante la explotación de vías, presas, yacimientos minerales, etc., se han presentado problemas de deslizamientos causados por diferentes agentes ya sean naturales o humanos.

Durante la explotación de diferentes obras como: vías, presas, yacimientos minerales, etc., se han evidenciado problemas de deslizamientos los mismos que probablemente fueron causados por aspectos como: condiciones climáticas adversas, condiciones geológicas desfavorables, zonas de alta sismicidad, intervenciones antrópicas. Todo esto aportando desfavorablemente para las obras en las que se trabaje, (Bock, 1983).

En zonas que presentan activación de deslizamientos por sismos y volcanes se pueden precisar varios como: Ecuador 5 de Marzo de 1987 sismo que a lo largo de las faldas orientales de los Andes, comparativamente los daños sociales y económicos provocados por el sismo fueron menores comparados con los causados por deslizamientos (flujos y avalanchas de escombros). Por lo expuesto es evidente que los procesos de explotación son los únicos generadores de problemas de deslizamientos, (Hall, 2000).

El método de explotación de una cantera de materiales pétreos representa un proceso tecnológico fundamental dentro de la minería a cielo abierto lo que conlleva complejidad ya que de él depende el rendimiento económico. Actualmente se registran numerosos casos en donde canteras y yacimientos minerales presentan problemas relacionados a inestabilidades por falla en taludes.

Los terrenos en los que se producen movimientos se dividen en tres grupos: macizos rocosos, suelos y en algunos casos en materiales de relleno, (López, 1999).

Un elemento fundamental en la conformación de minas a cielo abierto son los taludes (taludes de banco), por los cuales se realiza el ingreso a los frentes de explotación.

La evaluación y clasificación de los movimientos que se producen en los taludes poseen un gran fundamento científico y técnico, tanto para evaluar cualitativamente los movimientos, como para su cuantificación. La evaluación



cuantitativa y cualitativa de la estabilidad de un talud se efectúa esencialmente al determinar su factor de seguridad, tanto por los métodos de equilibrio límite (exactos y no exactos), como por los métodos de deformaciones (métodos numéricos). Entre los métodos de equilibrio límite más empleados se tienen los métodos de Dovelas aproximadas tales como: Taylor (1956), Jambu (1954), Fellenius (1927), Bishop-simplificado (1955) y los métodos precisos: Morgenstern-Price (1965), Spencer (1967), Ayala (2006), (Ver Figura 1).

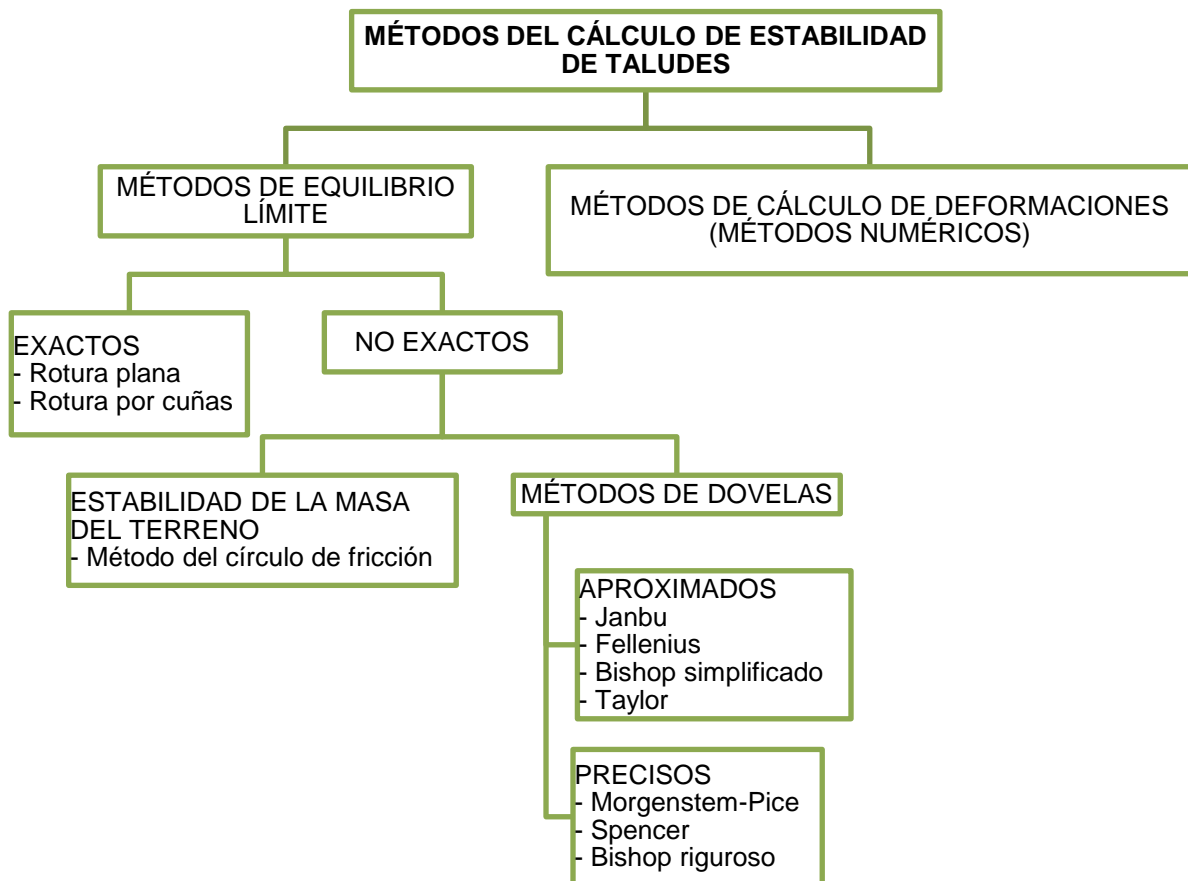


Figura 1 Métodos del Cálculo de Estabilidad de Taludes (Herrera, 2000).

El método aplicado en el presente trabajo es por Métodos de Equilibrio Límite Exactos por medio de Rotura Plana y Rotura por Cuñas que se muestra en la Figura 1, los mismos que se describen en los capítulos siguientes.



MÉTODO DE ESTABILIDAD GLOBAL DE LA MASA DE TERRENO

Método del Círculo de Fricción

Para el método del círculo de fricción se puede reconocer la existencia de fuerzas de fricción que se generan dentro de planos de discontinuidad, las mismas que ocasionan adhesión de una superficie contra otra. La existencia de estas fuerzas se aprecia cuando ocurre un movimiento relativo y cuando se deslizan las superficies entre sí. El ángulo de fricción (ϕ) se define como el máximo ángulo que para el cual las fuerzas que inducen movimiento son mayores a las fuerzas que lo oponen, estas fuerzas se manifiestan debido al aumento del plano de inclinación.

El concepto de cono de fricción fue introducido en 1957 por Talobre, el cual es usado para representar el ángulo entre la línea de dirección de la fuerza y una línea normal al plano. Se puede utilizar para evaluar gráficamente la posibilidad de un deslizamiento a lo largo de un plano que está sometido a una carga en una dirección. Para esto se utiliza el análisis de Markland (1972) se lo representa mediante un círculo que proyecta sobre una red estereográfica en la cual se mide el ángulo a partir del extremo hacia el centro dando el significado a las líneas que se encuentren dentro del círculo son débiles y corresponden a planos de debilitamiento existentes. La diferencia entre los métodos es que mediante el primero la representación del ángulo de fricción es por la normal al plano en el cual se tendrá estabilidad del bloque lo cual se proyecta por medio de polos hacia el círculo máximo creando una elipse envolvente, en el segundo se ubican líneas representativas dentro del área mencionada.

Método de Markland

Diferentes estructuras pueden presentar diferentes fallas, el diseñador debe tomar en cuenta y ser capaz de analizar los principales problemas durante las etapas iniciales del proyecto así como las probables inestabilidades que pudieran presentarse.

Para los estudios de campo los datos estructurales se grafican en diagramas estereográficos donde se pudieran evidenciar números significativos de concentraciones de polo donde es importante poder identificar las que pueden causar inestabilidades en planos potenciales de falla, discriminando las que no representen implicación, aquí es donde se va a utilizar el método desarrollado por

Markland.

El método cinemático de Makland consiste en poder establecer las fallas de borde que pueden existir según las intersecciones de dos discontinuidades planares lo que ocurrirá si la intersección sucede en la cara del talud, donde debe ser la inclinación de esta línea menor que la pendiente del talud en dirección de la intersección.

Markland está diseñado para analizar la posibilidad de una falla en cuña en la cual el deslizamiento puede presentarse a lo largo de la línea de intersección de dos discontinuidades planas.

1.1.1 TALUD, CONCEPTO Y DEFINICIÓN

Talud se define a la superficie inclinada con respecto a la horizontal que ha de tomar una masa de tierra o sectores rocosos sobre la corteza terrestre. Pudiendo tener su origen en forma natural o por intervención humana. Las partes de un talud son: escarpe superior, plataforma superior, pendiente predominante, altura, pie de ladera, altura del nivel freático, zanja de coronación, cabeza, pendiente y pie de talud, (Ver Figura 2).

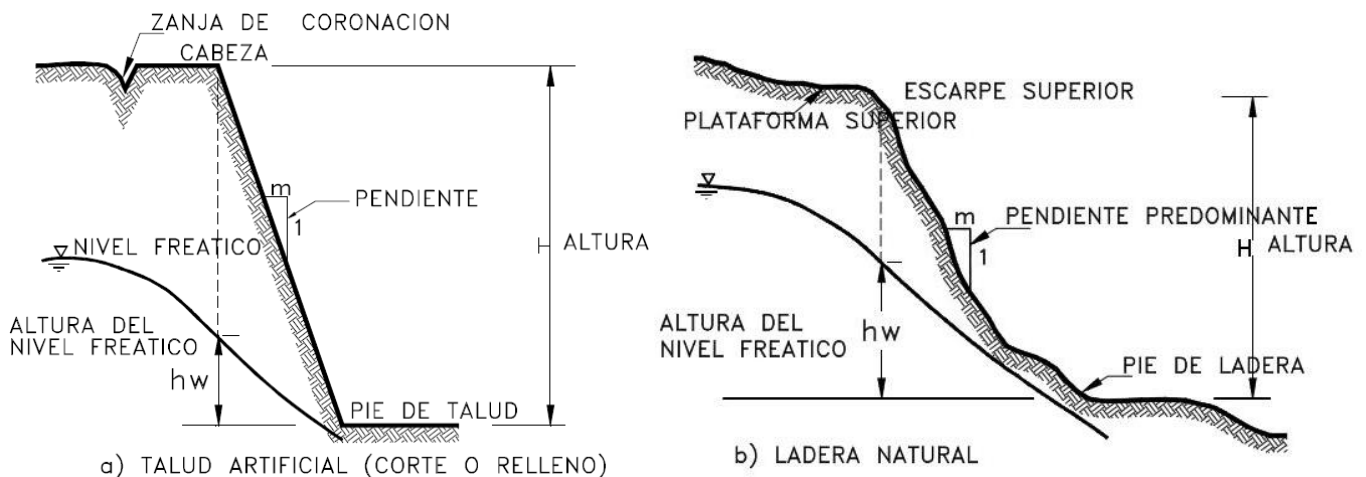


Figura 2 Partes constitutivas de talud a) artificial y b) natural, (Suárez, 1998).

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos:

- *Altura*: es la distancia vertical entre el pie y la cabeza.
- *Pie de talud*: corresponde al sitio de cambio de pendiente en la parte inferior.
- *Altura de nivel freático*: distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- *Pendiente*: es la medida de inclinación del talud o ladera, puede medirse en La grados, en porcentaje o en relación m/1, (Suárez, 1998).



1.1.2 LAS CANTERAS

Las canteras son explotaciones mineras que se desarrollan a cielo abierto, donde se extrae piedra y otros materiales utilizados para la construcción.

Las canteras en si no representan grandes explotaciones, pero el conjunto de ellas representa el mayor porcentaje de la minería en el mundo.

Las canteras difieren de otras explotaciones mineras ya que sus productos no son sometidos a ningún post-proceso que pueda afectar su concentración. Los materiales principales extraídos de minas de cantera son: piedra, calizas, pizarras y mármoles.

PARÁMETROS NECESARIOS EN UNA CANTERA

- *Modelo Geológico del Yacimiento*

Los modelos geológicos representan el mejor mapa que puede visualizarse de un yacimiento mineral ya que permite evaluar sus características y potencialidades. La forma más efectiva de estos modelos es en 3D con el empleo de softwares muy potentes que permitan el manejo adecuado de toda la información.

- *Propiedades del Macizo Rocoso*

La selección del tipo de modelo que caracteriza el macizo es un problema que se debe abordar con un conocimiento amplio y extendido, pudiendo éstos ser continuos (homogéneos) o discontinuos (discretos). Para esto se recomienda utilizar métodos probabilísticos, así como criterios diversos existentes en la literatura especializada pudiendo ser uno de ellos el criterio de falla de Hoek y Brown (1966).

- *Características Hidrogeológicas de Macizo*

El conocimiento puntual y estacional de los niveles freáticos es de suma importancia, ya que permitirán su control y la toma acciones para los procesos de la mina. Es necesario conocer toda la hidrología relevante, la misma que permitirá determinar las fuentes de recarga del agua freática y su posible drenaje en el macizo rocoso.

- *Efectos de la Alteración de las Rocas*

La alteración y meteorización de zonas dentro del macizo rocoso es preponderante ya que influyen directamente sobre la resistencia y calidad de este. Para la determinación exacta se pueden complementar los estudios con: investigaciones geofísicas y ensayos de laboratorio.



- *Esfuerzos in situ*

Existen pérdidas de resistencia en el macizo rocoso debido al desconfinamiento de las masas de roca. Siendo poco común el estudio de esfuerzos en canteras dejándolo para explotaciones muy profundas.

- *Efectos de las Voladuras en las Rocas*

Un factor importante es la fragmentación por voladura, la que se debe tomar en cuenta para el análisis de agrietamiento y su posterior determinación de calidad del macizo rocoso, (Watson, 2005).

- *Propiedades Geométricas*

El estudio por fotogrametría permite la confección de mapas que permitan la delimitación de la forma y medidas de la cantera.

- *Bordo Activo*

Se denomina bordo activo a la superficie lateral escalonada donde se realiza la extracción del mineral.

- *Bordo Inactivo*

Se denomina bordo inactivo a la superficie lateral escalonada donde no se realizan labores.

- *Bordo Final*

Se denomina bordo final al talud final que toma la cantera.

- *Propiedades del Material Extraíble*

Se las estima mediante análisis de algunas características del material extraído tales como:

- Grado de alteración
- Presencia de discontinuidades
- Naturaleza de la matriz de la roca
- Porosidad
- Permeabilidad
- Composición mineralógica
- Textura
- Tamaño del grano
- Absorción



- Retención de agua
- Granulometría
- Forma del grano

El diseño de taludes en una cantera, de sus elementos y plazoletas de trabajo, se lo realiza en base a muchos estudios e información que permitan determinar con certeza el comportamiento del macizo rocoso, así como las principales características del mismo a tener en cuenta el momento del diseño. El diseño de los taludes debe garantizar la seguridad en el funcionamiento y apariencia que brinde seguridad al usuario así como certidumbre en cuanto al desarrollo normal de las actividades. La geometría de los taludes permite el diseño de explotación de la cantera pudiendo determinar el rendimiento de la mina, permitiendo la utilización y aprovechamiento al máximo del área. En cuanto a los estudios más preponderantes podemos citar: al estudio geológico el mismo que podrá identificar las discontinuidades en el macizo, su homogeneidad, formación geológica, afloramientos, fallas; el estudio hidrogeológico el cual permita realizar el control de aguas subterráneas que puedan causar efectos negativos sobre las propiedades de resistencia e índices de calidad pudiendo reducir tensiones efectivas, la resistencia al corte. Todo esto para anticipar el futuro comportamiento al que se enfrenta el diseñador, (Herrera, 2007).

Un modelo geológico del yacimiento permite simular el mapa del subsuelo en tercera dimensión (largo, ancho y profundidad), ingresando a la base de datos del modelo información como: agua subterránea, perforaciones, información geomecánica (RQD, RMR, SMR, Q, etc.), geología, distribución de leyes, entre otras. El estudio que da mayor trabajo para la estabilidad de taludes, a los investigadores es el relacionado con la caracterización geomecánica del macizo rocoso así como para toma de decisiones en la cantera. La meteorización de las rocas es de consideración al momento del diseño de taludes, ya que afectan directamente a la resistencia y a las discontinuidades. Un análisis de esfuerzos in situ puede proveer de información importante. Daños por voladura por los esfuerzos inducidos la cual conlleva abertura de las discontinuidades. Es importante realizar todos los ensayos con la precisión y siendo muy minuciosos para poder tener resultados reales que reflejen el estado del macizo objeto de estudio (Watson, 2005).

1.1.3 MATERIALES PÉTREOS

Son los obtenidos por el procesamiento de la roca que se extrae en una cantera; se encuentran en bloques o fragmentos de distintos tamaños, en la naturaleza o producto de excavación y explotación, aunque de igual modo existen otros que son procesados e industrializados. Los materiales pétreos se dividen en tres



grupos debido a como se los obtiene pueden ser: naturales, artificiales e industrializados, (Wikipedia, 2013).

TIPOS DE TERRENOS

La naturaleza de un material condiciona la inestabilidad que el mismo puede adquirir por diversas causas, pudiendo determinar tempranamente el tipo de susceptibilidad a la que responden los materiales para provocar movimientos determinados.

Los terrenos en los que se producen los movimientos son: macizos rocosos, suelos y rellenos.

- *Macizos Rocosos*

Es un medio discontinuo que está formado por bloques fracturados o separados por discontinuidades, debido a esto las propiedades son distintas en cada dirección (anisótropos), los tipos de rocas que conforman un macizo son un problema que va a determinar su comportamiento y estado futuro.

El comportamiento de un macizo rocoso generalmente depende de las características de las discontinuidades como: diaclasas, líneas de debilitamiento, estratificación, fallas, de la litología y la génesis, esquistosidad,

- *Suelos*

Es la unión de partículas de diferentes minerales, partículas, fragmentos de roca, materia orgánica, etc., con flujo a través de los poros el cual rellena los vacíos. Para las hipótesis maneja para el suelo se lo considera continuo y homogéneo. Las roturas se desarrollan dentro sin seguir una dirección preestablecida como en el caso de los macizos.

- *Rellenos*

Son depósitos artificiales, producto de ciertas actividades que generan material que se debe depositar para su disposición final en áreas para este fin como: botaderos, rellenos sanitarios, escombreras, estériles, sobrantes, etc.

Dentro del estudio es importante señalar que los taludes de la cantera "Las Victorias" se constituyen por macizos rocosos.

1.1.4 TIPOS DE FALLAS MÁS FRECUENTES EN TERRENOS

LOS PROCESOS DE MOVIMIENTO

Los procesos de movimiento en taludes y laderas comprenden movimientos hacia la parte baja y fuera de los materiales que conforman el talud. Las principales discontinuidades por las cuales ocurren los movimientos son las fallas, por desprendimientos, erosión, etc., el tipo de movimiento depende del terreno en el cual se produzca.

TIPOS DE FALLAS MÁS FRECUENTES EN SUELOS

- *Deslizamientos*

Es un movimiento de una masa de tierra el cual es provocado por la inestabilidad de taludes o por una zona inestable, donde se desplazarse sobre una zona estable. Los deslizamientos se producen cuando las fuerzas desestabilizadoras son mayores a las fuerzas estabilizadoras. Existen medios ingenieriles que permiten corregir todo tipo de deslizamiento pero dependiendo de la magnitud el factor económico cambia en gran porcentaje siendo no viable para ciertos proyectos. Las partes de un deslizamiento se aprecian, (Ver Figura 3).

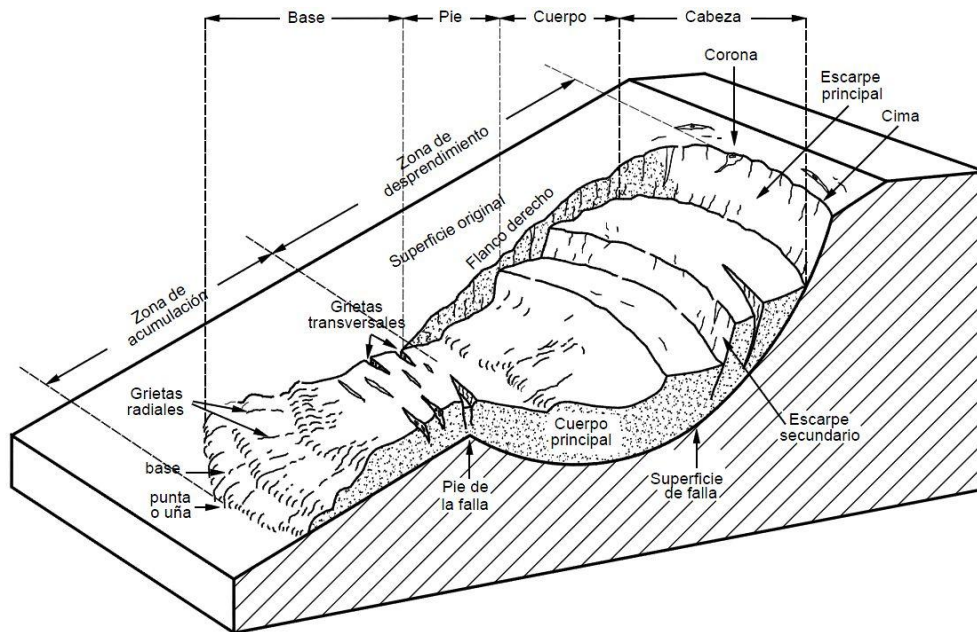


Figura 3 Partes constitutivas de los movimientos, (Suarez, 1998).



- *Repteo*

El repteo consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud frente a bajos niveles de esfuerzos que generalmente afectan a las porciones más superficiales del talud, aunque también puede afectar a porciones profundas cuando existe un estrato poco resistente. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración o gravitacionales y es un indicador de condiciones favorables para el deslizamiento.

El repteo es característico en materiales cohesivos y rocas blandas como: lutitas y sales, en taludes moderadamente empinados a empinados.

Los rasgos característicos del repteo son la presencia de crestas paralelas y transversales a la máxima pendiente del talud y postes de cerca inclinados, (Hunt,1984).

TIPOS DE FALLAS MÁS FRECUENTES EN ROCA

En geología, una falla es una discontinuidad que se forma por fractura en las rocas de la corteza terrestre, a lo largo de la cual ha habido movimiento de uno de los lados respecto del otro. Las fallas se forman por esfuerzos tectónicos actuantes en la corteza. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla. La formación de fallas es uno de los procesos geológicos fundamentales en la formación de montañas. Así mismo, los bordes de las placas tectónicas están formados por fallas de hasta miles de kilómetros de longitud.

- *Desprendimientos*

Son fallas de un momento a otro de taludes verticales en el cual se producen desprendimientos de bloques uno o varios a la vez que descienden en caída libre.

El volcamiento de bloques desencadena desprendimientos por arrastre e impacto, en los macizos rocosos se producen por la erosión que causa socavación, (Ver Figura 4).

La caída de bloques producen daños en estructuras o taludes que se encuentren en el trayecto de los bloques, lo que puede desencadenar problemas adicionales en la parte baja pudiendo ser vías, taludes, construcciones, etc., lo que podría generar destrucción masiva.

Los desprendimientos se producen comúnmente en taludes verticales o casi verticales en suelos débiles a moderadamente fuertes y en macizos rocosos

fracturados. Generalmente, antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión.

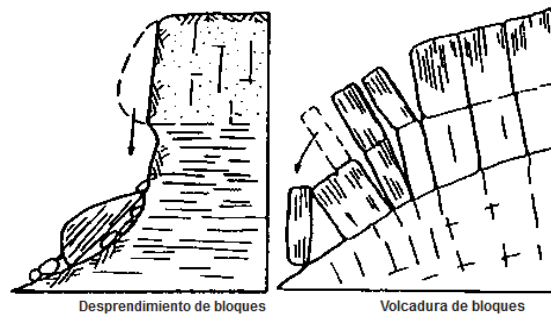


Figura 4 Desprendimiento y Volcadura de bloques , (Suárez, 1998).

- Derrumbes

Los derrumbes se asocian a fallas en el suelo o en rocas, pudiendo diferenciarlos con la forma de la superficie de falla subdividiéndose en planares y rotacionales.

Derrumbes Planares

Los derrumbes planares consisten en el movimiento de un bloque (o bloques) de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana bien definida. Estos derrumbes pueden ocurrir lenta o rápidamente.

Los deslizamientos planares en macizos rocosos consisten en el deslizamiento como una unidad o unidades (bloques) talud abajo, a lo largo de una o más superficies planas. También se puede generar una falla de cuña a lo largo de la intersección de dos planos, consistente de uno o varios bloques de pequeño a gran tamaño.

Los deslizamientos en bloque pueden ser destructivos especialmente en regiones montañosas donde los deslizamientos masivos de roca resultan desastrosos y en muchos casos no pueden ser prevenidos.

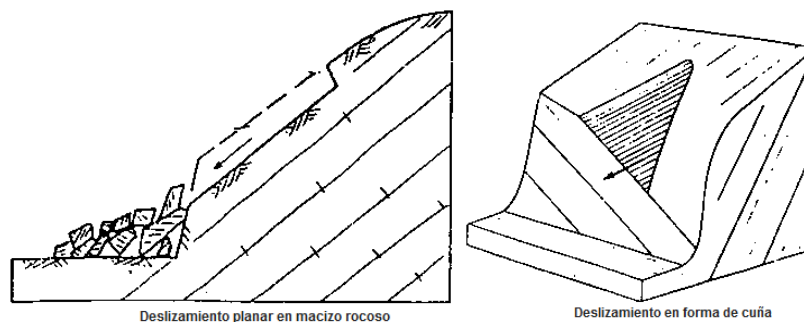


Figura 5 Tipos de deslizamientos en un macizo rocoso, (Suárez, 1998).



Los derrumbes suelen ocurrir en:

- Rocas sedimentarias que tengan un buzamiento similar o menor a la inclinación de la cara del talud.
- Discontinuidades, tales como fallas, foliaciones o diaclasas que forman largos y continuos planos de debilidad que interceptan la superficie del talud.
- Intersección de diaclasas o discontinuidades que dan como resultado la falla de un bloque en forma de cuña.

- *Avalanchas*

Es el movimiento rápido de escombros, conformado por suelo o roca pudiendo comenzar o no en una ruptura de falla, dándose el arrastre de toda la capa. Las causas que originan las avalanchas pueden ser filtración vegetal.

Las causas por las que se producen las avalanchas pueden ser por infiltración de agua, alta pluviosidad, sismos. Las avalanchas ocurren de un momento sin dar previo aviso siendo impredecibles.

Son características de zonas montañosas con pendiente alta, y en suelos residuales con acumulación de escorrentía, o en sitios con roca muy fracturada.

- *Flujo de Escombros*

Similar a las avalanchas, con mayor cantidad de agua por ello la masa fluye como lodo. La principal causa es el aporte de grandes lluvias y material suelto en la superficie.

Aquí se mueven como una masa de suelo mezclada con fragmentos de roca que forman una unidad, a lo largo de superficies con alta inclinación. Suelen ocurrir en suelos residuales y depósitos coluviales sobre roca.

El desprendimiento es la falla predominante en la cantera "Las Victorias" al tener el talud de análisis una pendiente alta produce el desprendimiento de bloques o múltiples bloques que descienden en caída libre.

Los desprendimientos se producen sobre un macizo rocoso fracturado. Antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión que forman familias de discontinuidades que a su vez forman cuñas de falla y grietas por efecto de las voladuras. (Suárez, 1998).



1.2 ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA EN EL MUNDO

El estudio de taludes en el mundo es ampliamente difundido, en los países en los que su legislación exige un adecuado estudio y diseño, para asegurar el funcionamiento de las obras que protegen, los intereses monetarios y beneficios que a partir del cumplimiento adecuado de su función para la cual fueron calculados.

Las canteras por su función clave en el desarrollo de la sociedad juegan un papel importante y estratégico en el desarrollo de toda obra de ingeniería en la que se requiera de agregados pétreos, todos los países poseen canteras de diversos materiales de los cuales se extraen minerales varios.

Estudios realizados en Venezuela, Platt (1966), se expone taludes inestables que se presentaron en las fosas de almacenamiento de petróleo en la refinería de Amuay en el Estado Falcón. El material del talud es arcilla, del cual se determinó el ángulo de fricción, la cohesión, las tensiones de corte residual y de pico, cuando ocurre la falla. El objetivo del estudio consistió en determinar el factor residual (R) de la arcilla como un indicador de la rotura que permita diseñar los cortes de otros taludes del mismo material.

Skempton (1977), realizó un estudio de los parámetros de estabilidad en los taludes de arcillas marrones en los cortes de la formación de London Clay, en la ciudad de Londres. Desde 1844 hasta 1977 se analizó el comportamiento de los resultados que arrojaron diferentes estudios geotécnicos realizados en estos suelos.

Córdova (1979), realizó un estudio de la estabilidad de los taludes de la mina Cerro Verde en el Perú. Posteriormente Córdova y Hurtado (1983) continuaron el estudio de estabilidad en las escombreras de esta mina.

De Marco y Hernández (1979), realizaron una evaluación y análisis de algunos problemas de estabilidad de taludes en las excavaciones mineras del Cerro Bolívar. En esta investigación se estudiaron cuatro áreas específicas en donde se habían proyectado profundas excavaciones, tanto en suelos arcillosos como en las rocas de cuarcitas ferruginosas.

En España existen varios estudios de estabilidad de taludes en minas; entre estos, Gil (1998), realizó la investigación de la estabilidad de los taludes en la CN-323, Granada. Herrera (1996), realizó un análisis de la estabilidad en los taludes en la mina "FE" de uranio en Salamanca. Oliver (2000), estudió la estabilidad de los taludes de la cantera Carbonell en Mallorca.



Small (2002), realizó una investigación sobre la estabilidad de los taludes en las excavaciones de la Cantera Coles, en Backwell, North Somerset, Inglaterra, el cual presentaba problemas de deslizamiento de masa rocosa.

La empresa Geominera de Oriente (Cuba) en el año 2003 – 2004 realizó estudios para completar la información geológica necesaria para evaluar el potencial de los recursos y las reservas de la presa de Rechazo Nueva de la Empresa Moa Nickel S.A. Sobre la base de estudios, el trabajo realizado analiza las condiciones ingeniero - geológicas, las propiedades físico – mecánicas y se determina el factor de seguridad de los taludes proyectados utilizando el método de equilibrio limite (grafo analítico). El mismo método fue empleado por Cartaya para evaluar la susceptibilidad a los deslizamientos de los taludes de la Presa de Rechazo Nueva de la Empresa Moa Nickel Comandante Pedro Sotto Alba.

También está el caso de Almaguer y Guardado (2005), que realizaron el análisis de la estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo serpentinitico de Moa. Obteniendo la clasificación geomecánica del macizo rocoso aplicando el SMR propuesto por Romana (1985) y empleando el método de análisis de la estabilidad de los taludes propuesto por Hoek y Bray (1981), para el cálculo del factor de seguridad según rotura de tipo cuña.

Con respecto a las minas de mineral de hierro del cuadrilátero ferrífero de San Isidro ubicadas en el Municipio Raúl Leoni de Venezuela, Caraballo (2005) realizó un análisis de la estabilidad de los taludes en los depósitos de menas no conforme mediante el método de Hoek y Bray. En el mismo determinó que el diseño de los taludes de los depósitos son los adecuados para la estabilidad, pero que la heterogeneidad del suelo y el filtrado de las aguas de escorrentías actúan en contra.

En Cuba existen importantes investigaciones en este campo de análisis de estabilidad, referentes al análisis en vials tal es el caso de Cartaya, que realizó la evaluación de la estabilidad y propuesta de medidas correctoras en los taludes y laderas inestables del camino Punta Gorda – Mina Mercedita, obteniendo el factor de seguridad de los taludes mediante los métodos de equilibrio limite (grafo analítico) y el método de Taylor (1937), así como se propuso las medidas correctoras y estabilizadoras de éstos.

Existen referencias de un estudio de Guardado y Tolentino (2006) en donde se modelaron los taludes en las excavaciones a cielo abierto de la Unidad Minera Cerro de Pasco, ubicada en el Perú, en donde se analizan por medio de un software minero varios aspectos geotécnicos, entre las cuales incluye la estabilidad de los taludes.



Brien y Raid (2008), analizaron la estabilidad de los taludes en el suroeste de Seattle. Utilizaron el método de equilibrio en 3D, en donde se toman en cuenta las resistencias al corte, normal y presión de poros.

En Venezuela Torres (2008), realizó un estudio con la finalidad de explicar la aplicabilidad de algunos de los sistemas de clasificación geomecánica, específicamente el RMR (Rock Mass Rating) y el SMR (Slope Mass Rating) a los taludes producto de los trabajos de excavación que se llevan a cabo en los frentes de explotación de la cantera de agregados para construcción de Palma Sola, ubicada en el Municipio Heres del Estado Bolívar.

ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA EN EL ECUADOR

El Ecuador es un país con gran riqueza mineral que está buscando la explotación minera a gran escala en la época actual, obligados al desarrollo de grandes proyectos gubernamentales para la explotación ambientalmente más segura y sustentable; las autoridades al no poner interés y énfasis en el cumplimiento de las normas permiten que existan graves problemas en lo que se refiere a la estabilidad de taludes en canteras y minas, ya que la minería informal se da en gran medida y sin un control eficaz, a pesar de los antecedentes no se puede generalizar y decir que no existen canteras y minas que cumplen con todas las regulaciones y normativas para cada caso. En el tema que nos compete que es la estabilización de taludes en una cantera cabe destacar que nuestra zona del país es rica en materiales pétreos que se explotan en gran cantidad; si bien la riqueza minera no va de la mano con el nivel de tecnología de explotación actual en el Ecuador, no es un impedimento para lograr un aceptable aprovechamiento a gran escala, ya que por medio de alianzas con países que pueden lograr obtener los recursos mineros con menor impacto ambiental.

Ello como parte de un convenio de cooperación energética entre Ecuador y Chile, ha permitido a la estatal minera ecuatoriana iniciar una fase de investigación geológica en la zona de Llurimagua, en la provincia andina de Imbabura; dicho proyecto, está orientado a una primera etapa de investigación geológica minera para determinar si hay un yacimiento y su eventual viabilidad como negocio.

Sin embargo, el aporte en asesoría técnica de grandes empresas mineras como la gigante Codelco, puede permitir llevar una minería responsable a largo plazo al usar la tecnología más avanzada y disponible de la industria, permitiendo garantizar los derechos de la naturaleza y de la sociedad ecuatoriana, sobre todo de las comunidades asentadas en el área de influencia del proyecto. Cabe mencionar la importancia de poder iniciar un acercamiento entre la empresa y las comunidades del área de influencia del proyecto Llurimagua, con el propósito de



informar a los habitantes del sector todos los "pormenores del proyecto", en que fase se encuentra y que es lo que se prevé hacer, de la mano con un inventario forestal y un estudio de los ecosistemas que permitan garantizar el cumplimiento de los objetivos ambientales y sociales. Por otro lado se debe de conocer volúmenes y cantidades que permitan apreciar el potencial y tomar una decisión desde el punto de vista técnico y económico, siendo la base para que el Estado tome las decisiones más acertadas.

Sandoval (2001), en su estudio para la revista Mining, Minerals and Sustainable Development sobre "La Pequeña Minería en el Ecuador" remarca la necesidad de un estudio y diseño a cabalidad de los taludes para una explotación sustentable.

Chávez (2002^a), realizó un diseño de soluciones para controlar el proceso de erosión y colapso de taludes del río de Portoviejo. En el año 2007, el mismo autor realizó en esa ciudad un estudio sobre el comportamiento de la zona de deslizamiento en el Cantón Montecristi y obras de estabilización necesarios para ejecutar el proyecto Ciudad de Alfaro.

Recalde (2006), en su tesis de grado presenta un acápite en el cual justifica la necesidad de un diseño de taludes para minería a corto plazo en la cantera de agregados pétreos con nombre Pifo que se encuentra ubicada cerca de Quito.

Arteaga (2008), realizó un estudio con la finalidad de establecer las características geológicas del cerro Bellavista, identificando las formaciones geológicas, fenómenos de geodinámica externa y otros procesos, que condicionan el comportamiento de los taludes existentes incluyendo recomendaciones para su prevención y mitigación de daños a las viviendas ubicadas cerca al sitio. Dentro del V congreso latinoamericano de estudiantes de ingeniería.

Grupo Vera & Asociados (2008), realizaron estudios y diseños para la estabilidad de taludes del Cerro El Calvario, de la Ciudad de Zaruma, Provincia de El Oro; el estudio consistió en exploración en campo, en roca y suelos, realizando sondeos. También se realizaron estudios de geofísica, sísmica de refracción y sondeos verticales eléctricos. El estudio la estabilidad de los taludes de 3 sectores fallados mediante análisis de equilibrio límite y elementos finitos, utilizando modelos calibrados con las observaciones de campo, donde las soluciones adoptadas se basan en un grupo de andas activas y muros de contención.



Chávez, et al., (2008) en la revista Minería & Geología tratan sobre la estabilización de taludes en el Río Portoviejo, los cambios ocurridos en el cauce y la construcción de obras de urbanización sobre una de sus márgenes lo que han originado un talud inestable, proclive a la ocurrencia de deslizamientos y desprendimientos que ocasionan daños a las construcciones, se ensayó una variante del método de inyección, conjugada con el método de inca de pilotes, en la cual se diseñaron y construyeron a lo largo del talud.

CAPITULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y PRINCIPALES REDES DE COMUNICACIÓN

La cantera “Las Victorias” se encuentra ubicada al Sur-Este del Ecuador, (Ver Figura 6, Figura 7) en la Provincia del Azuay, Cantón Paute, Parroquia San Cristóbal, Sector El Descanso en las coordenadas WGS84 736578m E 9686350m S. La cantera se encuentra al margen de la vía El Descanso – Gualaceo, por un lado de ella se encuentra la “Troncal Sur E35” que atraviesa el país y en intersección con esta se encuentra la vía que viene de Cuenca.



Figura 6 Ubicación geográfica de la cantera “Las Victorias” (Google earth, 2013)

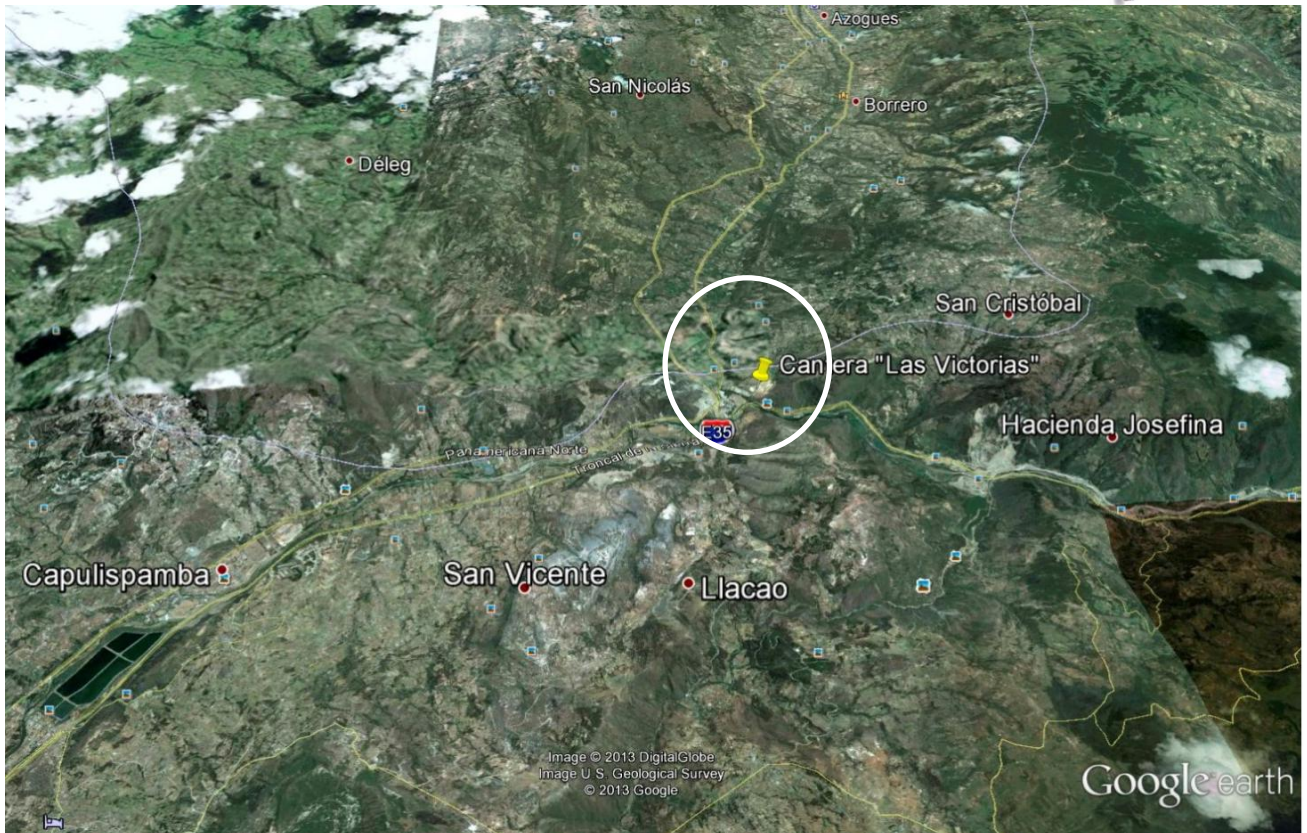


Figura 7 Accesos hacia la cantera “Las Victorias”, (Google earth, 2013).

2.2 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

Las áreas mineras donde se realiza el estudio tiene el nombre de cantera “Las Victorias” la cual se encuentra ubicada en la vía Cuenca- El Descanso- Gualaceo en el cerro Tاهual, la conformación del cerro comprende Tobas Andesíticas y sobre este material se desarrollan las actividades mineras, de ahí se extrae el material pétreo, las formaciones geológicas que afloran son la Formación Yunguilla y Biblián, (Morocho, et al., 2010). Los taludes que se evalúan son los de apertura, por los cuales se realiza el ingreso hacia los sitios de extracción en la parte alta de la montaña, el diseño de la entrada es en forma de rampa de acceso y la vía toma la forma de zigzag durante el avance hacia el frente de explotación. El área de la cantera está conformada por 10 hectáreas explotables.

A continuación se muestra un esquema de los taludes estudiados que forman parte de la cantera, (Ver Figura 8).

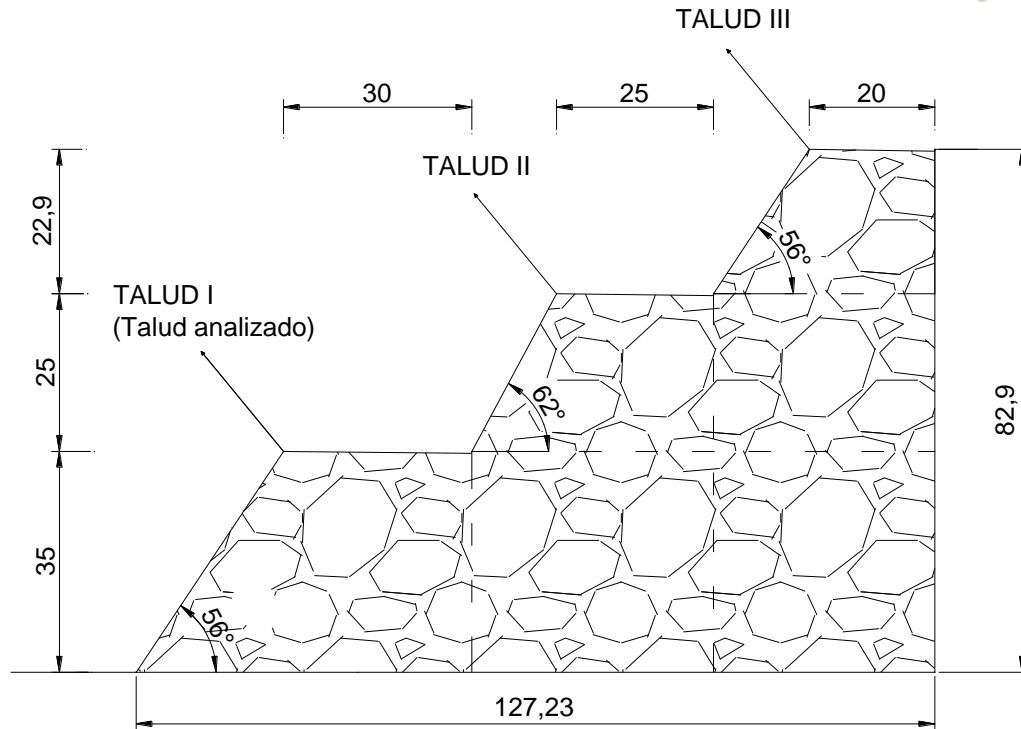


Figura 8 Esquema del Talud de Estudio.

Los parámetros de los taludes de la cantera en el sector de estudio tienen inclinaciones de 56°, 62° y 56° grados; tienen alturas de talud de 35m, 25m y 22.90m; una plazoleta de trabajo de 30m, 25m y 20m respectivamente, así como un ancho de 127.23m y una altura total de 82.90m; compuesto por rocas “Tobas Andesíticas”, (Morocho, et al., 2010).

2.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Rocas sedimentarias y volcánicas de grandes espesores, del terciario superior y Cuaternario, ocupan la Cuenca de Cuenca; descansan sobre las rocas volcánicas continentales y sedimentarias marinas cretáceas, (Ver Figura 9). Al Este en la Cordillera Oriental afloran rocas metamórficas de edad paleozoica o mesozoica.

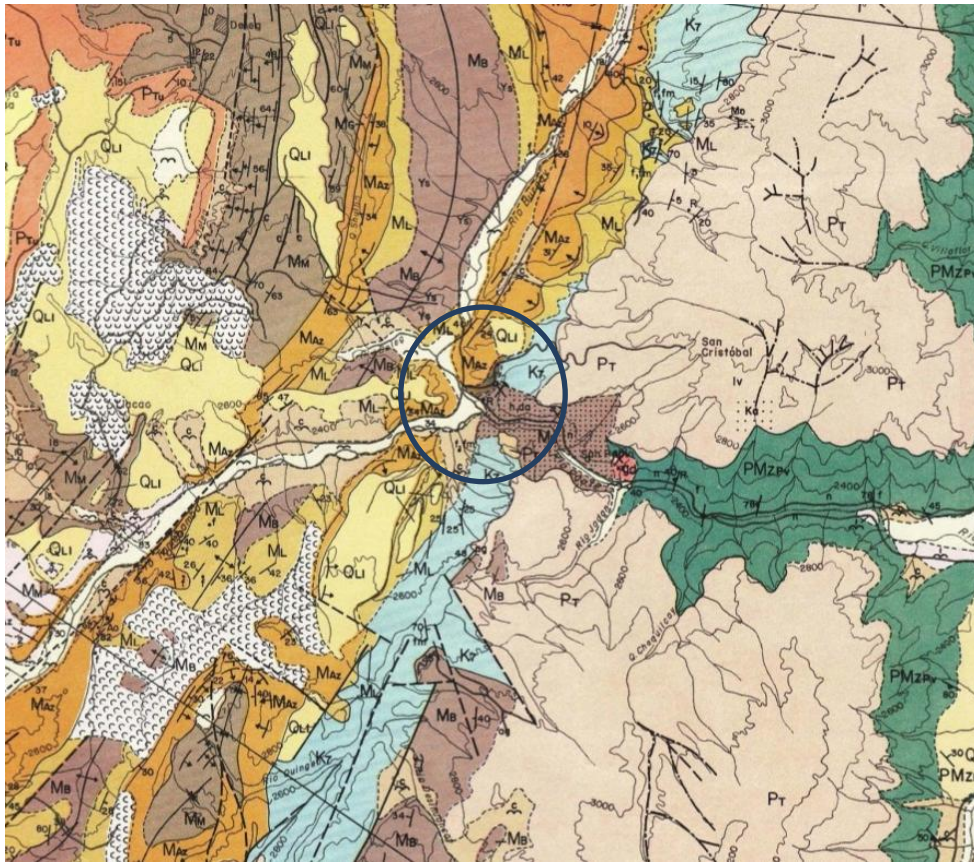


Figura 9 Ubicación de la mina en el Mapa Geológico del Ecuador Hoja#73 IGM Azogues.

Como lo señala en Mapa Geológico del Ecuador Hoja#73 IGM Azogues:

“Formación Yunguilla (Cretáceo Superior (Maestrichtiano)): Litológicamente hay predominancia de argilita negra, pasando a arcillas café obscuras o negras. La silicificación es común en varios niveles, encontrándose depósitos de caliza y concreciones carbonatadas en toda la secuencia. Areniscas y capas guijarrosas fosilíferas son observadas en varias localidades, así como lavas andesíticas. En general esta formación se inclina hacia el occidente, pero la base no está expuesta y el tope es erosional. En el área de San Marcos parece haber un espesor de 1200m estimados de afloramientos. La micropaleontología, (Sigal, 1968; Savoyat, 1970) y la presencia de amonita *Sphenodiscus peruviana* Gertht, han establecido la edad maestrichtiana de esta formación.

Formación Biblián: La formación Biblián descansa en discordancia sobre la Formación Yunguilla. El depósito basal es de guijarro grueso, a menudo con cantos de la Formación Yunguilla. Esta litología se repite en muchos niveles dentro de arcillas limosas, arenosas finas café-rojizas, y areniscas tobáceas



gruesas. Aglomerados volcánicos rojos parecen formar la base local de la formación. Se estima que más de 1000m de potencia afloran en el área de Santa Ana. Los fósiles son escasos, pero se encontraron Sheppardiconcha bibliana (Marshall y Bowles) y Ecuadorea bibliana (Marshall y Bowles) del Mioceno Inferior, aunque E. Bibliana es conocido en Venezuela como del Oligo-Mioceno, (Parodiz, 1969).

Formación Azogues (Mioceno ?Medio): Hay una integración en la base con la Formación Loyola. La secuencia esta predominada por areniscas tobáceas, gruesas, de color café, pero los depósitos de limolita y arcilla generalmente no tienen más de 1m de espesor. Un conglomerado basal bien desarrollado puede encontrarse donde la formación ha proпасado los subyacentes. La unión superior con la Guapán es gradacional. El espesor máximo se ha estimado en 280m los fósiles incluyen Corbícula sp.,? Diplodon y Aylacostoma peyeri dickersoni (Palmer). La ocurrencia de esta última forma eslabones de la Formación Azogues a la Loyola (Liddle y Palmer, 1941), y en vista de su base gradacional, se le considera por lo menos de edad Mioceno Medio.”

2.2.2 TECTÓNICA REGIONAL

El proyecto se encuentra en la cuenca del rio Paute, su localización está comprendido entre los paralelos 2°18´ y 3° 15´ de latitud Sur y los meridianos 78° 35´ y 79° 20´, coordenadas correspondientes a un segmento de la cordillera de los Andes. La cuenca presenta diversidad de ambientes geotectónicos debido a que se encuentra orientada transversalmente a la dirección general de la cordillera y también debido a su origen en las cumbres occidentales de la misma.

Su limitación al occidente del eje Cuenca – Azogues, son los ríos Tarqui, Tomebamba, Burgay. Hacia el Este, se encuentran divisiones de Terreno conocidas como Terrenos Alao, Loja y Salado. En la parte baja podemos encontrar las formaciones de Hollín y Napo (sedimentos cretáceos). La formación Hollín (Cretácica) está conformada por areniscas cuarzosas y estratos de lutitas negras. En esta zona sub-andino podemos mencionar que las rocas se encuentran intensamente deformadas y con una recristalización dinámica metamórfica que las transformo en cuarcitas.

Los sedimentos que recibe la cuenca son más gruesos, podemos mencionar entre los cuales a depósitos turbidíticos, areniscas gruesas, lentes fluvialites, areniscas conglomeráticas. Además como es notorio podemos observar materiales volcánicos, tales son pertenecientes a la Formación Azogues (Mioceno Tardío). En el borde oriental se presenta los sedimentos marinos correspondientes a la formación Yunguilla (Cretácica Superior) la formación está constituida por lutitas, argilitas de color negro con metamorfismo e intensa deformación. En cuanto al



borde occidental tenemos a la formación Saraguro (Oligoceno tardío a Mioceno Temprano) se obtiene lavas andesíticas e ignimbritas formadas en una roca volcánica continental.

2.2.3 GEOMORFOLOGÍA

Su relieve se basa en interacción de procesos los cuales sin duda modelan los macizos. Podemos encontrar tres zonas geomorfológicas bien definidas.

Mesetas.- Se encuentran en las vertientes de la cuenca del río Juval, al norte, zonas con mesetas subhorizontal, su forma de relieve es por la disposición subhorizontal de potentes flujos lávicos; los terrenos a una altura mayor a los 3600 msnm fueron afectados por actividad glaciaria. La morfología de los glaciares se puede considerar como acumulativas y denudativas, estas últimas reconocidas en circos, cubetas y valles. Las formas acumulativas tratan extensos depósitos morrénicos.

Cuenca Intramontañosa.- Representado por el valle de Cuenca, aunque también abarca sectores de los valles de Gualaceo, Paute, Azogues, Biblían y Tarquí, podemos mencionar que el valle presenta una baja pendiente cuyos materiales detríticos formados por la erosión de relieves montañosos forman una llanura onduladamente suave. La acumulación de sedimentos no es solamente por la sedimentación de cantos rodados sino más bien se atribuye a los fenómenos volcánicos (planicie de Paccha), estos materiales se conocen con el nombre con el nombre de Formación Llacao, dichos materiales rellenaron la parte del valle de Cuenca, sin embargo su extensión está afectada por erosión y grandes deslizamientos

Relieves colinados.- Podemos encontrarla en la parte extrema oriental y comprende generalmente colinas y valles. En esta zona la diferencia radica en que las pendientes son más fuertes hacia el oriente. Sus valles fluviales son estrechos y la parte baja de la colina está constituida por gran acumulación de material detrítico suelto.

2.2.4 HIDROGEOLOGÍA

Su drenaje es dendrítico y se orienta en dirección NNE-SSO en consecuencia de la orientación de las estructuras de los macizos los cuales son paralelos a la orientación general de la cordillera. Un aspecto de suma importancia es destacar que según investigaciones predominan aguas superficiales en la cantera “Las Victorias”, el inconveniente entre las precipitaciones y las aguas superficiales será que se ocasionaran efectos en la estabilidad generando erosión interna o filtraciones de agua.



En cuanto al nivel freático y las presiones intersticiales no afectara la zona. La presencia de agua en el macizo no afectara debido a la escorrentía natural y el agua que se infiltre dentro del macizo generara únicamente el lavado de finos en grietas pero no representara un grado de meteorización considerable sobre el mismo.



CAPITULO 3. EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA CANTERA “LAS VICTORIAS”

3.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ROCA

3.1.1 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LAS ROCA

El tipo de roca de la cual está conformado el macizo rocoso en el sector de estudio en la cantera “Las Victorias” son **Tobas Andesíticas**, (Morocho, et al., 2010).

Dentro de las propiedades físico-mecánicas de las rocas se definen las siguientes: porosidad, peso específico, resistencia a compresión y resistencia a tracción.

- *Porosidad*

La porosidad de un material es el volumen de espacios abiertos que contiene relativo a su volumen total. La porosidad dentro de este estudio se toma igual al 0.2% según, (Morocho, et al., 2010).

- *Peso Específico*

Se llama peso específico a la relación entre el peso de la roca y su volumen. El peso específico dentro de este estudio se toma igual a 25 kN/m^3 , (Morocho, et al., 2010).

- *Resistencia a Compresión Uniaxial de la Roca*

El método a emplearse para determinar la resistencia a compresión es el de **Testigo Tallado**, el ensayo se realiza con muestras cúbicas de 5 cm de arista, las mismas que serán sometidas a carga axial, luego se realiza un promedio de los resultados de cada uno, los ensayos se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de Cuenca.

En la Figura 10 se aprecia los pasos que se sigue para realizar la prueba de resistencia a compresión mediante testigo tallado, la que tiene tres momentos durante la prueba.



a) Muestras talladas de roca

b) Aplicación de la carga



c) Falla de la muestra

Figura 10 Ensayo a compresión simple de los testigos tallados (Guamán, Mendieta, 2013).

Se relaciona la carga máxima sobre la muestra (en el momento de su destrucción) y el área transversal de la misma, de la operación se obtiene la resistencia compresión.

La fórmula utilizada para calcular la resistencia a compresión se estima con la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{P_R}{F}$$

R_c: Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta (kgf/cm²)

P_R: Fuerza de ruptura de la muestra de roca (kgf)

F: Superficie de la sección transversal (cm²)

El valor promedio de resistencia a compresión según la Tabla 1, obtenido de los ensayos sobre las muestras de las rocas Tobas Andesíticas, de las cuales está conformado el macizo rocoso es $R_c=119,27$ MPa.

Tabla 1 Tabla de resultados del ensayo a compresión simple (Guamán, Mendieta, 2013).

Muestras Cúbicas	Sección (cm ²)	Carga Máxima (kgf)	Resistencia a la Compresión (kgf/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)
1	24.78	26374	1064.33	106.43
2	24.60	30044	1221.30	122.13
3	24.85	42740	1719.92	171.99
4	25.68	25588	996.42	99.64
5	25.95	24956	961.70	96.17
Promedio			1192.73	119.27

- Resistencia a Tracción de la Roca

Se determina la resistencia a tracción mediante el **Método Brasileiro**, que consistió en ensayar una muestra cilíndrica con una relación diámetro/longitud igual a uno Figura 11, comprimiéndola por sus generatrices opuestas, los ensayos se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de Cuenca.



a) Muestras talladas de roca

b) Aplicación de la carga



c)Falla de la muestra

Figura 11 Ensayo a tracción de los testigos tallados (Guamán, Mendieta, 2013).

La fórmula utilizada para calcular la resistencia a compresión se estima con la siguiente expresión:

$$R_T = \frac{2 \cdot P_R}{\pi \cdot l \cdot d}$$

R_T : Resistencia a tracción de la roca (kgf/cm^2)

P_R : Fuerza de ruptura de la muestra de roca (kgf)

d : Diámetro de la muestra de roca (cm)

l : Longitud de la muestra de roca (cm)

El valor promedio de resistencia a tracción según la Tabla 2, obtenido de los ensayos sobre las muestras de las rocas Tobas Andesíticas, de las cuales está conformado el macizo rocoso es **$R_t=10,18 \text{ MPa}$** .

Tabla2 Tabla de resultados del ensayo a tracción (Guamán, Mendieta, 2013).

Muestra Cilíndrica	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga Máxima de Rotura (Kgf)	Resistencia a la Tracción (Kgf/cm ²)	Resistencia a la Tracción (MPa)
1	5.02	10.07	5252	100.70	10.07
2	5.02	9.93	5204	101.34	10.13
3	5.04	10.05	5400	103.41	10.34
Promedio				101.82	10.18

CONSTRUCCIÓN DE LA ENVOLVENTE DE ROTURA

A continuación se realiza la gráfica de la envolvente de falla mediante Mohr-Coulomb utilizando los resultados de las resistencias a compresión y a tracción.

Se traza la línea tangente a los círculos que representa los esfuerzos a tracción y compresión respectivamente, a esta línea se le denomina envolvente de falla la misma que tiene puntos característicos, el punto de contacto entre la envolvente de falla y el círculo de esfuerzo a compresión perpendicular al eje vertical nos da el valor del cortante máximo $T_{\text{máx}} = 32\text{MPa}$ y el punto en el que la envolvente de falla corta al eje vertical se denomina cohesión $C = 17.3\text{MPa}$; el ángulo de inclinación de la envolvente de falla se denomina ángulo de fricción interna $\phi = 57.8^\circ$ y el ángulo $\theta = 32.2^\circ$ es el ángulo resultante del cálculo $\theta = 180^\circ - \phi / 2$ el cual es el ángulo comprendido entre la línea del punto de semi-esfuerzo de compresión al punto de tangencia con la envolvente de falla, (Ver Figura 12).

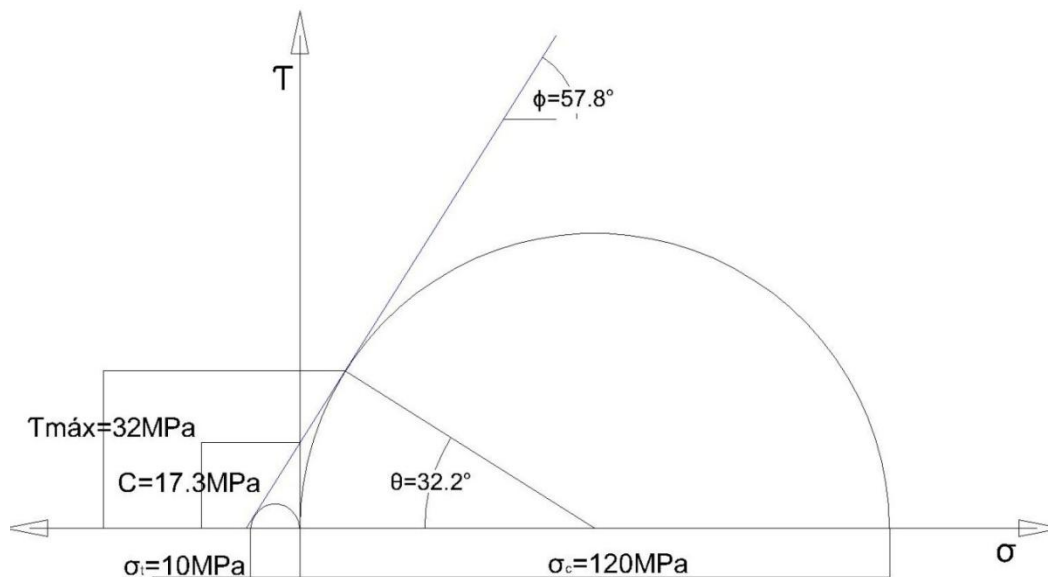


Figura 12 Obtención Gráfica de C y ϕ , en base a resultados de Ensayos.

En la Tabla 3 se presenta el resumen de parámetros que se establecieron para la roca que conforma los taludes de la cantera, después de la construcción de la envolvente de rotura.



Tabla 3 Resumen de Propiedades Físico Mecánicas de las Rocas.

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA ROCA	
Porosidad	0.20%
Peso Específico (γ)	25 kN/m ³
Resistencia a la Compresión (R_c)	119.27 MPa
Resistencia a la Tracción (R_t)	10.18 MPa
Cortante máx. ($\tau_{máx}$)	32 MPa
Cohesión (C)	17.3 MPa
Angulo de Fricción Interna (ϕ)	57.8°

3.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGRIETAMIENTO

La existencia de afectaciones estructurales (las más importantes, las grietas), en el macizo rocoso es una causa de la disminución de su resistencia, capacidad portante y sus cualidades así como también el aumento de su heterogeneidad y anisotropía, (Suárez, 1998).

El macizo rocoso presente en la mina objeto de estudio, es un macizo agrietado con bloques en el cual se presentan tres familias o sistemas de grietas principales cuyos elementos de yacencia se describen en la Tabla 4.

Tabla 4 Familias de planos de discontinuidades.

FAMILIA	DIRECCIÓN DEL BUZAMIENTO	ANGULO DE BUZAMIENTO
I	342°	41° NW
II	112°	32° SE
III	160°	10° SE



- *Cálculo del Número de Grietas por Metro Cúbico de Roca (Jv)*

El Jv representa la media del número de grietas por metro cúbico en el macizo rocoso, la misma cantidad que es un número preponderante dentro de los cálculos ya que nos da una idea concisa del grado de fracturación del macizo, y se lo usa dentro de clasificaciones posteriores.

En la Tabla 5 se resume la longitud y el número de grietas de cada familia medidas in situ:

Tabla 5 Familias de Grietas medidas in situ.

Familia	I	II	III	Total
Longitud (m)	4.71	1.92	1.34	
Número de Grietas	7	9	6	
Jv	1.49	4.69	4.48	10.65

El cálculo del Jv se lo realiza según la ecuación:

$$Jv = \frac{(n^{\circ}J1)}{L1} + \frac{(n^{\circ}J2)}{L2} + \frac{(n^{\circ}J3)}{L3}$$

sustituyendo los valores en la ecuación queda:

$$Jv = \frac{7}{4.71} + \frac{9}{1.92} + \frac{6}{1.34}$$

el valor es el siguiente:

$$Jv = 10.65 \text{ grietas/m}^3$$

En la Figura 13 se puede apreciar la Familia I de discontinuidades las mismas que han sido medidas y cuantificadas siendo estas en número de 7 en una longitud de 4,71m.



Figura 13 Discontinuidades Familia I.

En la Figura 14 se puede apreciar la Familia II de discontinuidades las mismas que han sido medidas y cuantificadas siendo estas en número de 9 en una longitud de 1,92m.



Figura 14 Discontinuidades Familia II.

En la Figura 15 se puede apreciar la Familia III de discontinuidades las mismas que han sido medidas y cuantificadas siendo estas en número de 6 en una longitud de 1,34m.



Figura 15 Discontinuidades Familia III.

Según la Tabla 6 el agrietamiento se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 6 Tamaño de grietas en función del número de grietas por metro cúbico.

Grado de Fracturación del Macizo Rocoso	Descripción del Tamaño de Bloque	Número de grietas (Jv)
Masivo	Bloques considerablemente grandes	< 0,3
Muy ligeramente fracturado	Bloques muy grandes	0,3 - 1
Ligeramente fracturado	Bloques grandes	1 - 3
Moderadamente Fracturado	Bloques medianos	3 - 10
Fuertemente fracturado	Bloques pequeños	10 - 30
Considerablemente fracturado	Bloques muy pequeños	30 - 100
Triturado	Bloques considerablemente pequeños	> 100



Por la Tabla 6 se concluye que el grado de fracturación del macizo rocoso es **Fuertemente Fracturado** y el tamaño del bloque se considera como **Bloques pequeños**.

- *Espaciamiento de las Discontinuidades*

El sistema o Familia II contiene los espaciamientos menores del talud, presentándose cada 21cm, (Ver Tabla 7).

Tabla 7 Espaciamiento de discontinuidades para cada sistema de grietas

Familia	Dirección del buzamiento (°)	Angulo de buzamiento (°)	Espaciamiento medio de discontinuidades (cm)
I	342°	41° NW	67
II	112°	32° SE	21
III	160°	10° SE	22

- *Condición de las Discontinuidades*

La Tabla 8 presenta un resumen de las características de las discontinuidades que se utilizan para la determinación del RMR.

Tabla 8 Condición de las Discontinuidades (Bieniawski, 1979).

PARÁMETRO	FAMILIA I	FAMILIA II	FAMILIA III
Longitud de discontinuidades (m)	10-20m	10-20m	10-20m
Abertura (mm)	0.1-1mm	0.1-1mm	0.1-1mm
Rugosidad	Suave	Suave	Suave
Relleno	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando < 5 mm
Meteorización	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada

FLUJO DE AGUA EN LAS JUNTAS

El macizo rocoso se encuentra seco, evidenciándose solamente agua superficial producto de la escorrentía de la lluvia, que no lo afecta ni altera, (Ver Tabla 9).



Tabla 9 Clasificación del agrietamiento basado en las dimensiones promedio del bloque estructural.

Índice de clasificación	Grado de agrietamiento	Dimensiones del bloque (cm)
I	Muy agrietado	<10
II	Agrietado	De 15 a 30
III	Medianamente agrietado	De 30 a 50
IV	Poco agrietado	De 50 a 75
V	Muy poco agrietado	>75

La Tabla 9 presenta un índice de clasificación del grado de agrietamiento como II agrietado en el macizo rocoso.

- Proyección Estereográfica de las Familias de Discontinuidades

En la Figura 16 se presenta el gráfico del agrietamiento en un plano bidimensional, por proyección estereográfica mediante la aplicación del software Dips v5.103.

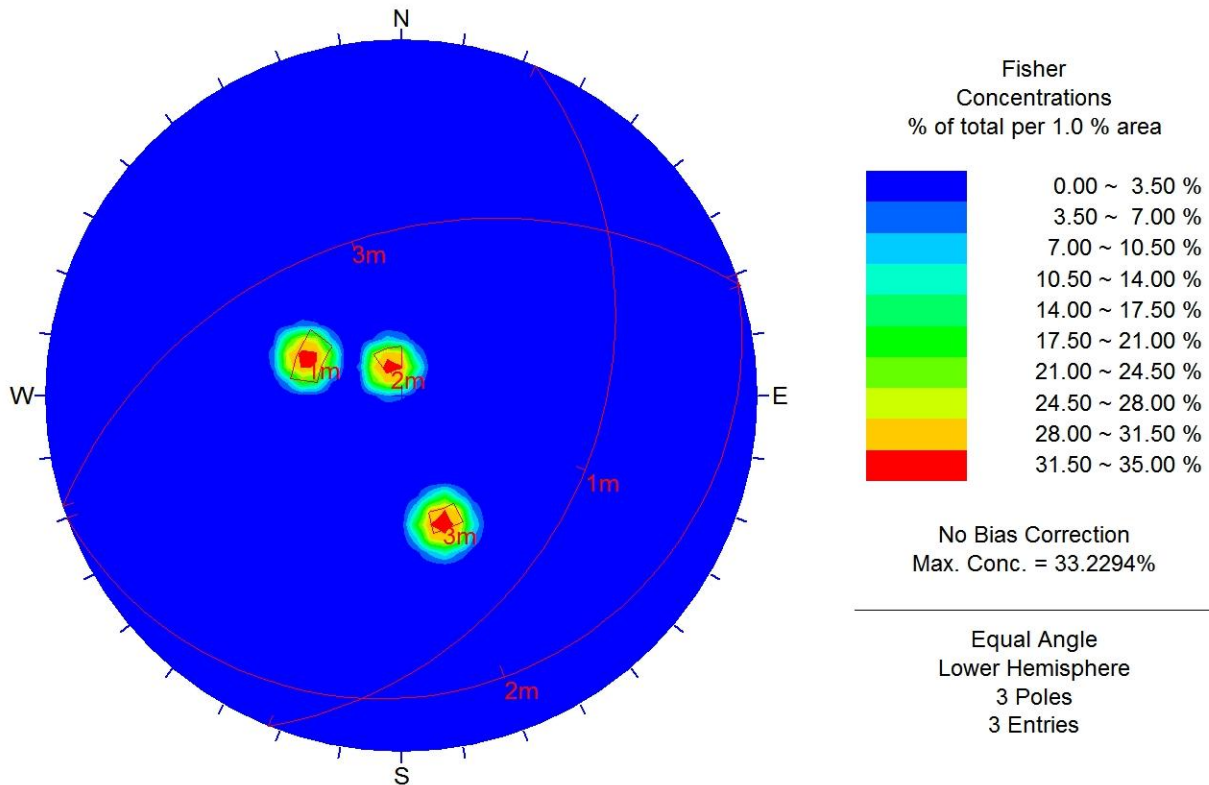


Figura 16 Proyección estereográfica de las tres familias de discontinuidades.



3.1.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA

Para valorar la calidad de los macizos rocosos son empleados diferentes métodos de estudio, uno de los más usados en la actualidad, en particular para el caso de los túneles, taludes y toda obra que se sustente en un macizo rocoso, es el método basado en las clasificaciones geomecánicas.

3.1.2.1 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS ROCAS

CÁLCULO DEL RQD DE DEERE A PARTIR DE LA FÓRMULA DE PALMSTROM

El RQD “Rock Quality Designation”, (Palmstrom, 1982), es un índice de estimación de la calidad del macizo rocoso a partir de perforaciones rotativas con extracción de testigos, pero al no contar con sondeos se puede calcular con la siguiente expresión dada por Palmstrom: $RQD = 115 - 3.3J_v$, (Deere, 1982).

Según la Tabla 5 Familias de Grietas medidas in situ se obtiene un $J_v = 10.65$ grietas/m³, que según la Tabla 6 que hace referencia al tamaño de grietas, en función del número de grietas por metro cúbico se obtiene **Bloques Medianos**.

Siendo J_v el número total de juntas por metro cúbico, que se puede obtener sumando las juntas que hay por metro, de cada familia de las existentes en el lugar de observación.

Con lo que al sustituir en la ecuación del RQD se obtiene, y posteriormente se lo clasifica según la Tabla 10:

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 10.65$$

$$RQD = 80\%$$

Tabla 10 Clasificación de las rocas en función del RQD.

Valores de RQD en %	Calidad de la roca
25	Muy mala
De 25 a 50	Mala
De 50 a 75	Normal
De 75 a 90	Buena
De 90 a 100	Muy buena

Esta clasificación, como la mayoría de las existentes, da resultados válidos en rocas masivas y resistentes en las que se generó, siendo su aplicación poco útil en rocas poco resistentes.

Con lo que se obtiene una **Calidad de Roca Buena**.

DETERMINACIÓN DEL RMR DE BIENIAWSKI

- Clasificación de Bieniawski(1979)

En ella el valor del RMR “Rock Mass Rating” se obtiene por la suma de 5 parámetros en vez de los 8 considerados en 1973 con una reducción que se establece en función de la disposición de las juntas, (Bieniawski, 1979).

En realidad la diferencia entre las dos clasificaciones (1973 y 1979) estriba, en que se ha agrupado en uno, tres de los parámetros correspondientes al estado de las diaclasas, y se han asignado valores negativos a la disposición de las mismas, excepto en el caso de “muy favorables”.

Los valores asignados a los distintos parámetros se han retocado, y se han definido de forma cuantitativa los adjetivos utilizados para la disposición de las juntas, (ver Tabla 11).

Tabla 11 Tabla de Calificación de Parámetros de Bieniawski (1979).

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
valor		6	5	3	1	0			
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	valor		15	10	7	4	0		



En la Tabla 12 se da el parámetro de ajuste del RMR mediante la clasificación de la orientación de las discontinuidades para taludes.

Tabla 12 Corrección del RMR mediante ajuste por orientación de discontinuidades (Bieniawski, 1979).

Orientación de rumbo y buzamiento de las discontinuidades		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Fundaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

La orientación de las discontinuidades es un factor de ajuste en el método del RMR, para el macizo estudiado de la cantera “Las Victorias” se lo toma como **Favorable**, por lo que el valor de ajuste es igual a **-5**.

Los parámetros considerados para la obtención del RMR y su valoración, son los que se indican en la Tabla 13 a continuación:

Tabla 13 Parámetros valorados para Bieniawski.

Parámetros	Valoración
(1) Resistencia de la roca intacta	12
(2) RQD	17
(3) Espaciado de discontinuidades	10
(4) Condición de las discontinuidades	13
(5) Flujo de agua en las juntas	15
(6) Ajuste por orientación de discontinuidades para Taludes	-5
RMR = (1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)	62

En función de los valores del RMR, se clasifica la roca en cinco categorías diferentes, (Ver Tabla 14) con los que se puede indicar: tiempos de estabilidad en longitudes sin entibación, cohesión y ángulo de rozamiento interno, orientativos del macizo para cada categoría.



Tabla 14 Valoración del RMR.

Grado	Característica	RMR
I	Roca muy buena	entre 81 y 100
II	Roca buena	entre 61 y 80
III	Roca media	entre 41 y 60
IV	Roca mala	entre 21 y 40
V	Roca muy mala	menor que 20

El valor del **RMR=62** nos da una calidad del macizo correspondiente a Grado II con la característica de **Roca buena**.

- *Clasificación de Romana (1992)*

La clasificación de Romana (1992), considera las condiciones de yacencia del talud y las familias de discontinuidades, el SMR "Slope Mass Rating" y el Método de Excavación. Los parámetros considerados son:

- F1: relación entre el rumbo del talud y el rumbo de las discontinuidades
- F2: dependiente del buzamiento de las discontinuidades, se supone rotura planar
- F3: relación entre el buzamiento del talud y el buzamiento de las discontinuidades
- F4: factor empírico que depende del método de arranque empleado.

Su cálculo está definido por la expresión:

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

Para el cálculo del SMR es fundamental la determinación de los parámetros del talud, los mismos que se calculan aplicando la Tabla 15, (Romana, 1992).



Tabla 15 Cálculo de los parámetros SMR

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30-20^\circ$	$20-10^\circ$	$10-5^\circ$	5°
T	$ (\alpha_j - \alpha_s) - 180^\circ $					
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1
P	$ B_j $	$<20^\circ$	$20-30^\circ$	$30-35^\circ$	$35-45^\circ$	45°
P	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1
T	F2	1	1	1	1	1
P	$B_j - B_s$	$>10^\circ$	$10-0^\circ$	0°	0° a -10°	$<-10^\circ$
T	$B_j + B_s$	$<110^\circ$	$110-120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60
Método		Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
F4		15	10	8	0	-8

En donde:

- P: rotura plana
- T: rotura por vuelco
- B_j : buzamiento de las juntas $=32^\circ$
- B_s : buzamiento del talud $=70^\circ$
- α_j : dirección de buzamiento de las juntas $=112^\circ$
- α_s : dirección de buzamiento del talud $=122^\circ$

Para la clasificación de la estabilidad según el SMR se utiliza la Tabla 16, (Romana, 1992).



Tabla 16 Clases de estabilidad según el SRM de Romana (1992).

CLASES DE ESTABILIDAD SEGÚN EL SMR					
Clase n°	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy malo	Malo	Normal	Bueno	Muy bueno
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

$$SMR = 62 + [0.85 * 0.85 * (-50)] + 0$$

$$SMR = 25.875$$

El valor del **SMR=25.875** nos da **Clase n° IV** de macizo rocoso correspondiente a una **Descripción de Malo** y una **Estabilidad de Inestable**.

Aplicando las dos metodologías que evalúan el agrietamiento y analizan como éste influye en la calidad de las rocas, se obtuvo que la roca es de calidad buena, aspecto que coincide con la valoración visual de la misma.

Aplicando los métodos de Bieniawski y Romana se puede observar que existe correlación en los resultados, ya que por Bieniawski la calidad del macizo representada por el RMR =62 es buena y por Romana la calidad del macizo representada por el SMR = 25.875 es inestable como se lo indica en la Tabla 17.



Tabla 17 Correlación de los métodos de Bieniawski-Romana

MÉTODO	VALORACIÓN	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO
Bieniawski	RMR=62	Buena
Romana	SMR=25.875	Inestable

3.2 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN EL SECTOR ANALIZADO EN LA CANTERA “LAS VICTORIAS”

3.2.1 TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTOS EN LA CANTERA

En la cantera “Las Victorias” existen grietas verticales por efecto de voladuras; sin embargo se puede considerar visualmente una estabilidad general, pero en un análisis minucioso a menor escala se observa una inestabilidad que puede ser controlada con saneamiento. Por lo tanto en base a las observaciones y estudios realizados se determina que los movimientos de masas que se manifiestan en nuestro caso de estudio dentro de la mina de materiales pétreos “Las Victorias” son desprendimientos y fallas por cuñas debido a las familias de discontinuidades que las forman en algunos sectores.

El mecanismo básico de rotura en la cantera “Las Victorias” es el colapso estructural. En lo referente a los desprendimientos o caídas se originan por el despegue de la masa de roca; el movimiento tiene lugar mediante caída libre y rodadura; después de impactar contra la superficie del terreno, la roca caída se rompe en fragmentos de movimiento muy rápido.

El área fuente de desprendimientos es de difícil acceso, si bien es posible la sujeción de los bloques en origen, al efectuar el saneamiento de los bloques debilitados por efecto de las familias de discontinuidades que las forman. En ocasiones, los desprendimientos rocosos son fenómenos precursores de roturas de grandes taludes, por lo que deben monitorearse este tipo de inestabilidad.

3.2.2 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES APLICANDO EL MÉTODO DE LOS CÍRCULOS DE FRICCIÓN (ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL TALUD)

En el análisis de taludes en macizos rocosos, se presentan bloques de roca delimitados por un sistema tridimensional de planos de discontinuidad. Se entiende por discontinuidad a todas aquellas estructuras geológicas (fallas, fracturas, diaclasas, estratificación, foliación, etc.) que forman dichos planos, los que comúnmente se conocen como fábrica estructural del macizo rocoso. Normalmente este tipo de discontinuidades son producto del tectonismo a la que



fue sujeta la roca en un estado inicial de esfuerzos. Dependiendo de la orientación de las discontinuidades se tendrá un patrón de fracturamiento que delimitará los bloques de roca. Analizar la estabilidad de un talud realizado en macizos rocosos fracturados, es parte de dos procesos. El primero es analizar la fábrica estructural en el corte realizado para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad, a lo cual se conoce como orientación desfavorable del talud con respecto a las discontinuidades. Esta determinación es realizada por medio de un análisis estereográfico de la fábrica estructural junto con la posición del talud, a lo que se denomina análisis cinemático. Ya que ha sido determinada la cinemática en la cual se tiene posibilidad de falla del talud, el segundo paso requiere un análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite para comparar las fuerzas resistentes a la falla contra las fuerzas causantes de la falla del talud. El rango entre estos dos sistemas de fuerzas se denomina factor de seguridad. Para poder realizar el análisis tridimensional de las familias de discontinuidades, se necesita hacer este tipo de proyección en un plano bidimensional. Para tal efecto existen dos tipos de proyecciones esféricas: una es la red estereográfica de Lambert o Schmidt, y la otra es la proyección de Wulff; la que se usa en un principio se deberá utilizar durante todo el proyecto

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MARKLAND

El talud analizado es el Talud I mostrado en la Figura 8 y sus parámetros se encuentran en la Tabla 18 que se muestra a continuación.

Tabla 18 Propiedades del Talud I analizado.

Talud I	
Altura	35 m
Ángulo de Inclinación	56°
Dirección	Sur - Este
Rumbo	82°
Buzamiento	110°
Angulo de Fricción Interna	57.80°

Para la aplicación del método de Markland se define mediante la Figura 17 los valores que se analizan dentro de los casos que se presentan posteriormente, en los incisos a. y b.

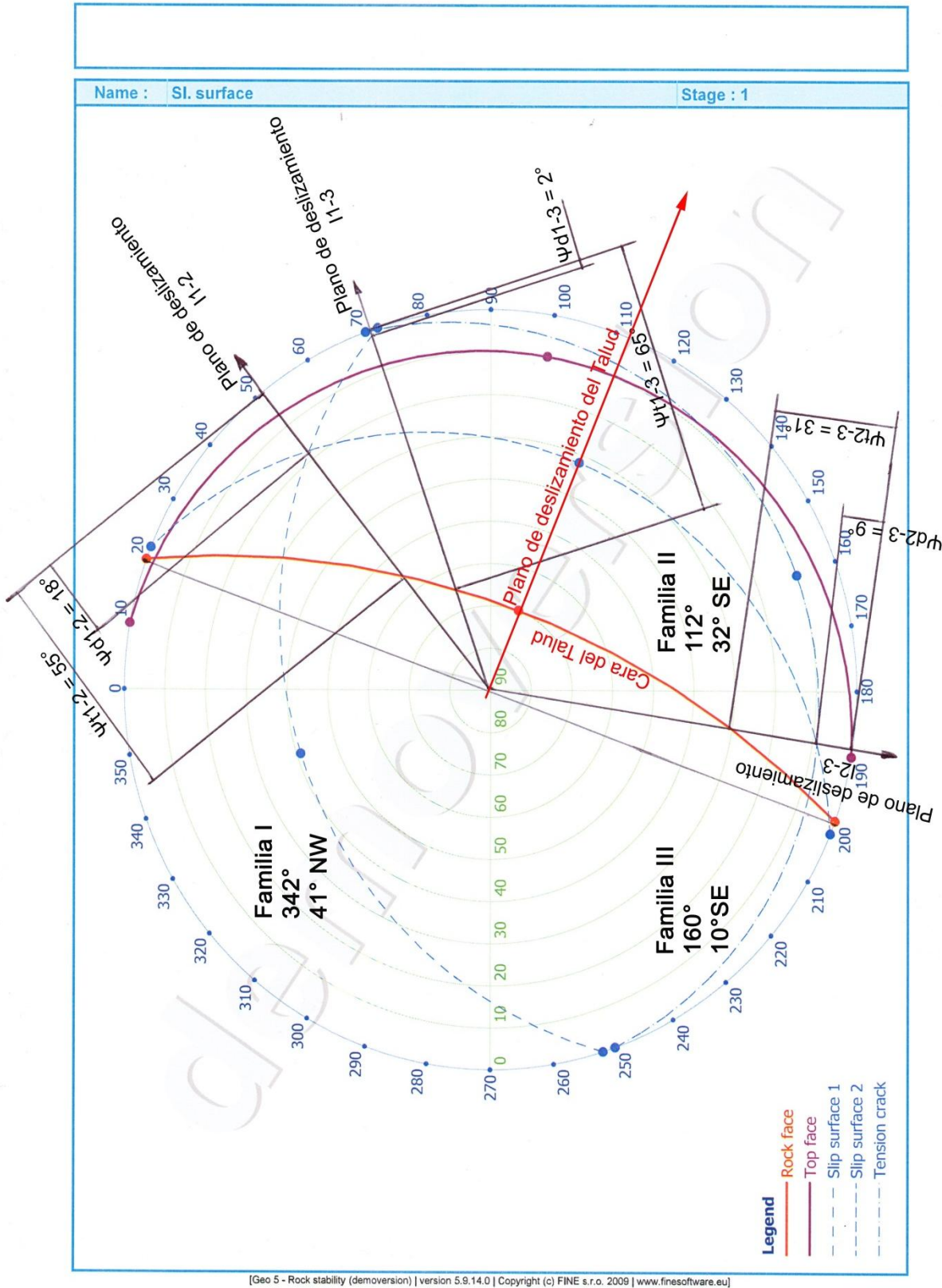


Figura 17 Datos para la aplicación del Método de Markland.



a. El plano de falla debe aflorar en la cara del talud; esto significa que su inclinación debe ser menor que la inclinación de la cara del talud; es decir:

$$\Psi_t > \Psi_d$$

- Para el plano de deslizamiento I_{1-2} se tiene los siguientes datos:

Inclinación de la cara del talud medida en la dirección del deslizamiento.

$$\Psi_{t1-2} = 55^\circ$$

Inclinación del deslizamiento a lo largo de la línea de intersección de las Familias I y II.

$$\Psi_{d1-2} = 18^\circ$$

Por lo tanto:

$$\Psi_{t1-2} = 55^\circ > \Psi_{d1-2} = 18^\circ$$

Por el enunciado a. se evidencia que pueden ocurrir deslizamientos planares para la línea de falla del talud I_{1-2} .

- Para el plano de deslizamiento I_{1-3} se tiene los siguientes datos:

Inclinación de la cara del talud medida en la dirección del deslizamiento.

$$\Psi_{t1-3} = 65^\circ$$

Inclinación del deslizamiento a lo largo de la línea de intersección de las Familias I y III.

$$\Psi_{d1-3} = 2^\circ$$

Por lo tanto:

$$\Psi_{t1-3} = 65^\circ > \Psi_{d1-3} = 2^\circ$$

Por el enunciado a. se evidencia que pueden ocurrir deslizamientos planares para la línea de falla del talud I_{1-3} .

- Para el plano de deslizamiento I_{2-3} se tiene los siguientes datos:

Inclinación de la cara del talud medida en la dirección del deslizamiento.

$$\Psi_{t2-3} = 31^\circ$$



Inclinación del deslizamiento a lo largo de la línea de intersección de las Familias II y III.

$$\Psi_{d2-3} = 9^\circ$$

Por lo tanto:

$$\Psi_{t2-3} = 31^\circ > \Psi_{d2-3} = 9^\circ$$

Por el enunciado a. se evidencia que pueden ocurrir deslizamientos planares para la línea de falla del talud I₂₋₃.

b. La inclinación del plano de falla debe ser mayor que el ángulo de fricción de dicho plano; es decir:

$$\Psi_d > \phi$$

Mediante el análisis del círculo de fricción, en la Tabla 3 se define el valor del ángulo de fricción interna $\phi = 57.8^\circ$. En las Figuras 18, 19, 20, se muestran las intersecciones de las de las discontinuidades y su relación con el ángulo de fricción interna.

- Análisis Gráfico del Círculo de Fricción

Al desarrollar el método de Markland y del círculo de Fricción; las intersecciones no pasan la prueba cinemática ya que en todos los casos $\Psi_t > \Psi_d < \phi$. La evaluación hecha solo nos lleva a señalar que existen posibilidades de falla pero no necesariamente que va a ocurrir, por lo descrito en el enunciado a. en el enunciado b. al evidenciar que la cohesión es mayor al ángulo del deslizamiento en todos los casos presentados no se presenta inestabilidades por rotura de cuña según el método del círculo de fricción.

$$\Psi_{t1-2} = 55^\circ > \Psi_{d1-2} = 18^\circ < \phi = 57.8^\circ, \text{ (Ver Figura 18).}$$

$$\Psi_{t1-3} = 65^\circ > \Psi_{d1-3} = 2^\circ < \phi = 57.8^\circ, \text{ (Ver Figura 19).}$$

$$\Psi_{t2-3} = 31^\circ > \Psi_{d2-3} = 9^\circ < \phi = 57.8^\circ, \text{ (Ver Figura 20).}$$

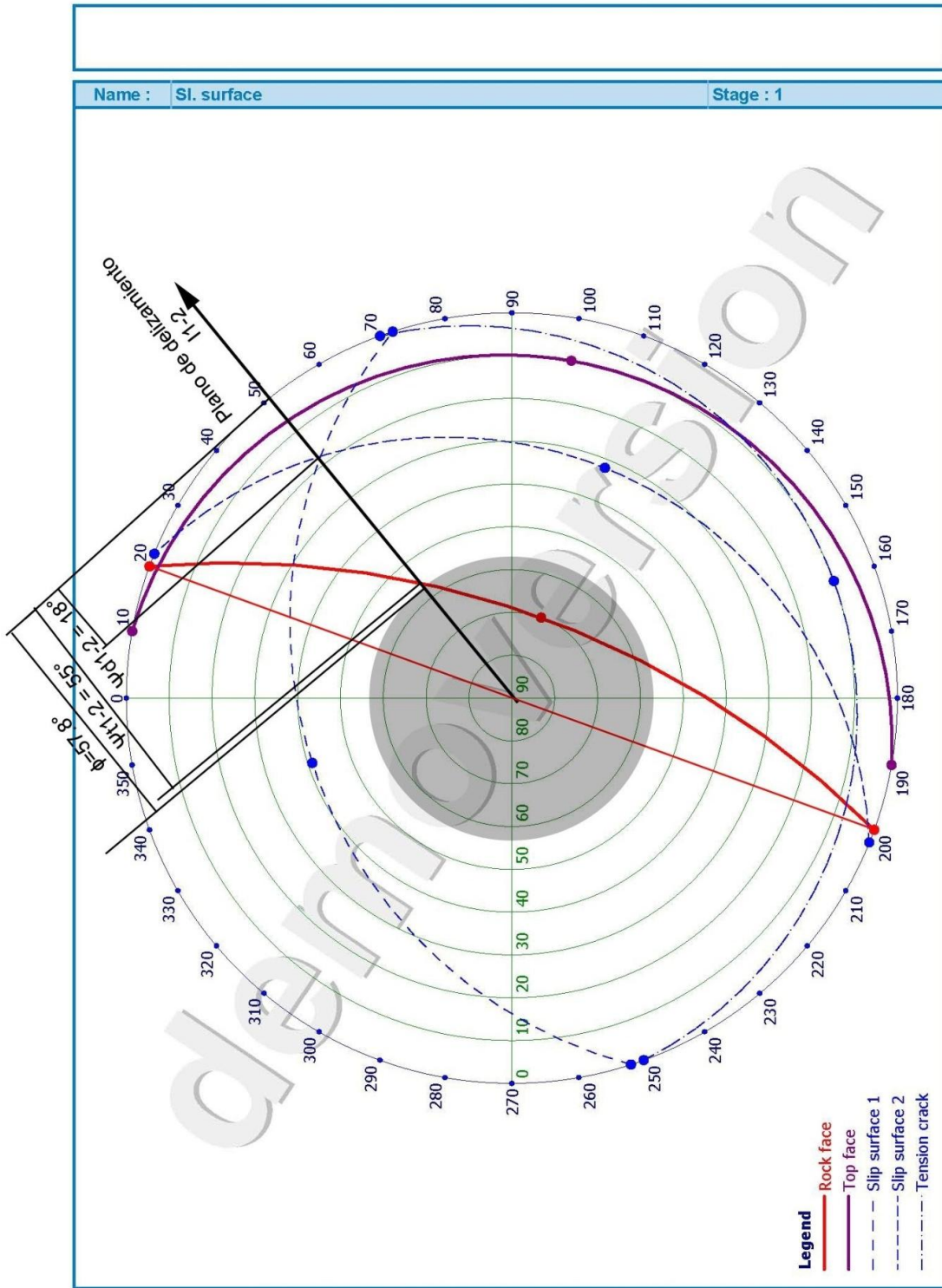


Figura 18 Aplicación del Método del Círculo de Fricción plano de deslizamiento I₁₋₂

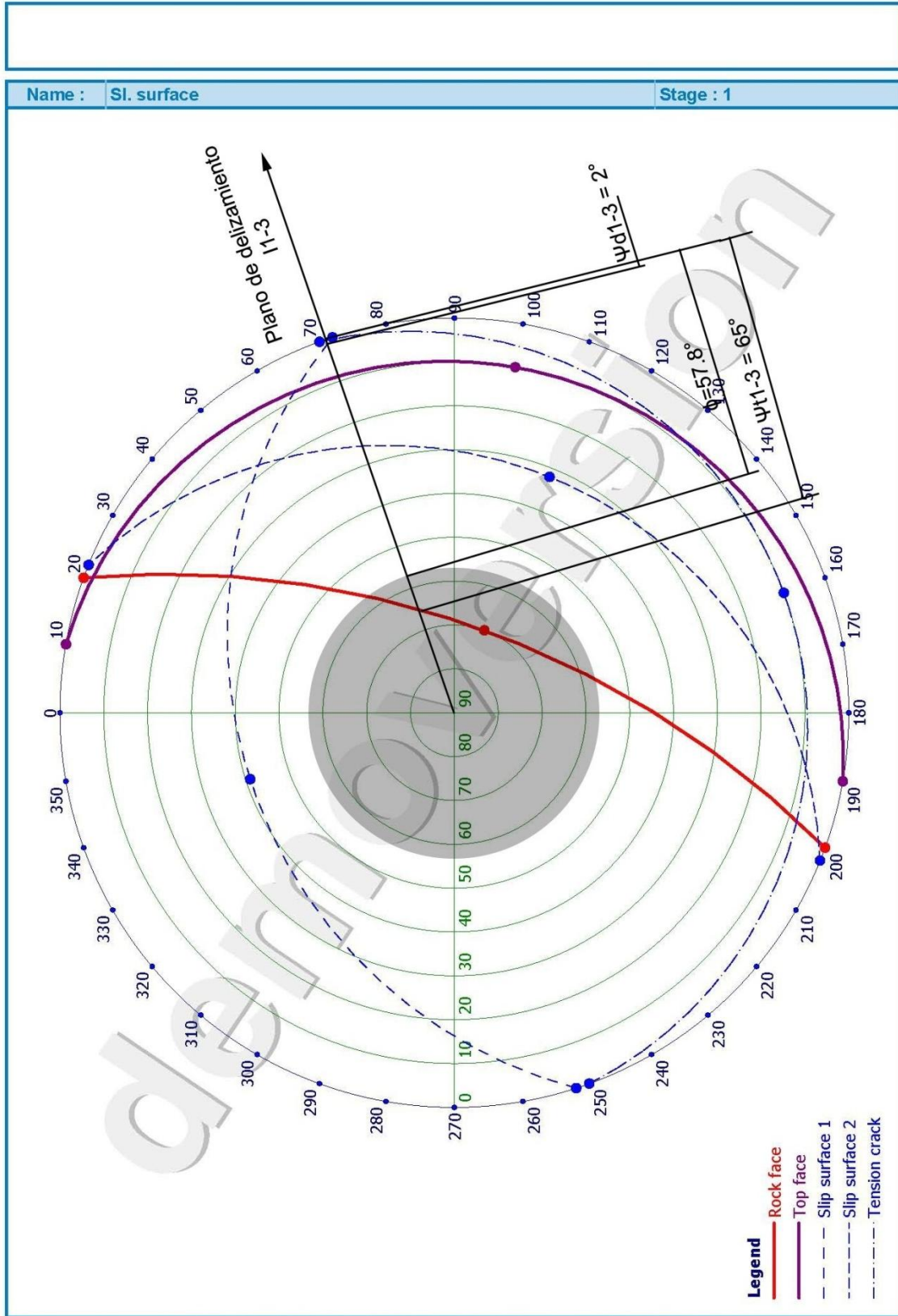


Figura 19 Aplicación del Método del Círculo de Fricción plano de deslizamiento I₁₋₃

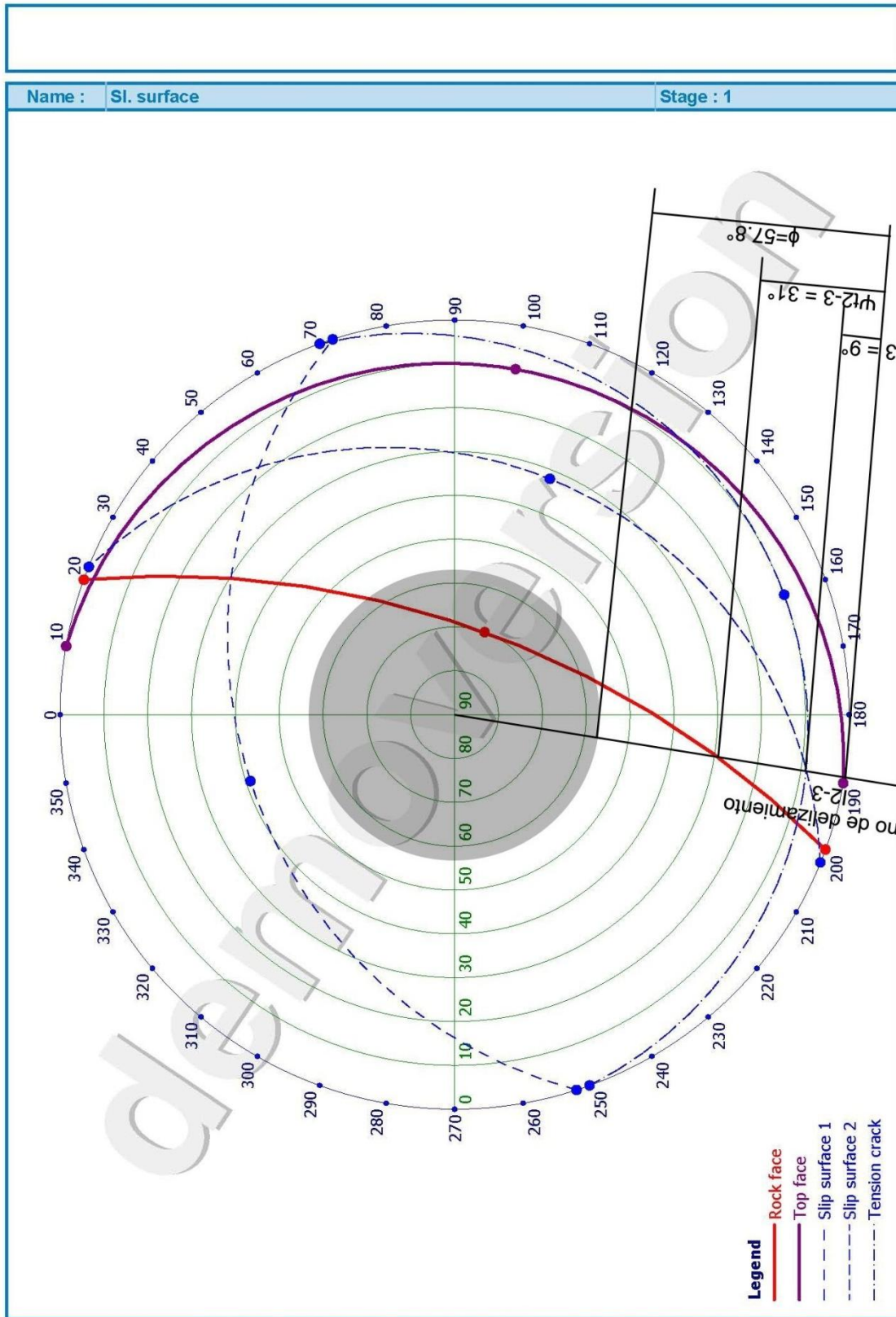


Figura 20 Aplicación del Método del Círculo de Fricción plano de deslizamiento I₂₋₃



- *Análisis de la cuña con el Software Dips v5.103*

El software Dips v5.103 es un programa diseñado para realizar análisis y visualizar información estructural de igual modo que si se usa una red estereográfica, permite definir el elemento de yacencia del agrietamiento para determinar si la prevalencia es favorable o no a la falla.

Dips v5.103 está diseñado para el análisis interactivo de datos geológicos basados en la orientación. El programa es capaz de muchas aplicaciones y está diseñado para el usuario principiante u ocasional, y para el usuario consumado de proyección estereográfica que desee utilizar las herramientas más avanzadas en el análisis de datos geológicos.

Dips permite al usuario analizar y visualizar los datos estructurales siguiendo las mismas técnicas utilizadas en stereonets manuales. Además, tiene muchas características computacionales, tales como contorno estadístico de agrupación de orientación, significa la orientación y la confianza de cálculo, la variabilidad del clúster, y el análisis de atributos de entidad cualitativa y cuantitativa.

También está diseñado para el análisis de las características relacionadas con el análisis de ingeniería de estructuras de roca, sin embargo, el formato libre del archivo de datos Dips permite el análisis de los datos basados en la orientación.

La medición del elemento de yacencia del agrietamiento se procesa con el programa Dips para determinar su orientación favorable o no al sistema de taludes de la cantera y obtener la formación de la cuña y su prevalencia a la falla, (Rocscience, 2009a).

Para este análisis se suele trabajar con los polos de los planos, es decir, con la proyección estereográfica de la recta normal al plano, de manera de facilitar la definición de sets estructurales (orientaciones preferenciales de estructuras y planos), el software se encarga de proyectar planos y estructuras tomando como base los datos de sus orientaciones respectivas, (Figura 21).

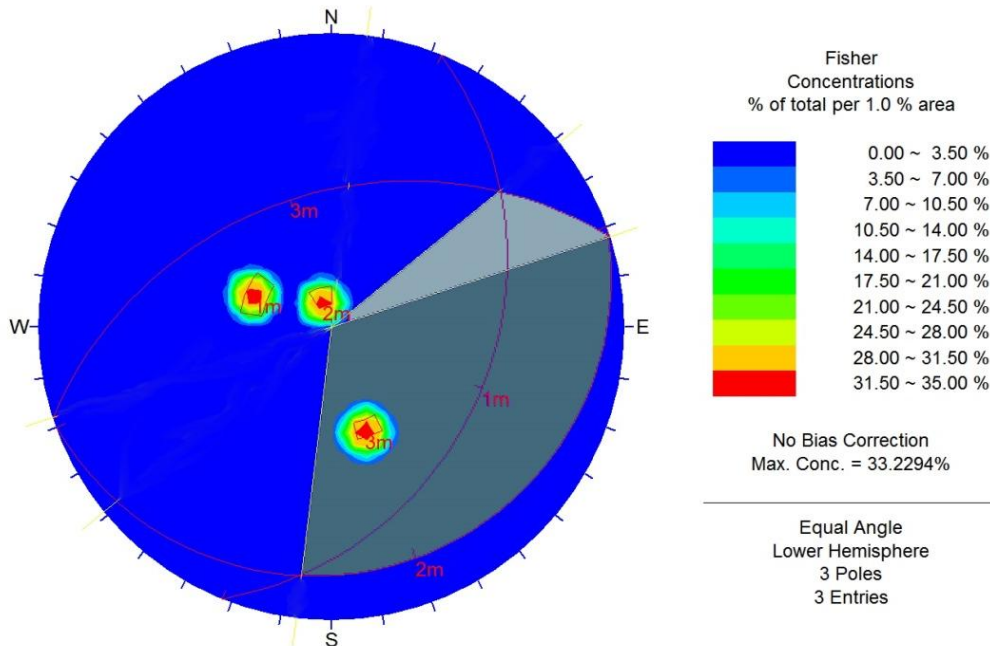


Figura 21 Formación de la cuña mediante proyección estereográfica en el software Dips v5.103, (Rocscience, 2009a)

En la Figura 21 se puede observar la formación de una cuña la misma que se obtuvo mediante la proyección estereográfica en el software Dips v5.103, este gráfico representa la cuña susceptible a deslizarse; esta cuña es la principal forma de pérdida de estabilidad.

La medición del elemento de yacencia del agrietamiento, cuña susceptible a deslizarse se procesa con el programa Dips v5.103 para determinar su orientación favorable o no al sistema de taludes de la cantera y obtener la formación de la cuña y su prevalencia a la falla, este nos permitió observar la intersección entre tres familias de discontinuidades.

3.2.3 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD APLICANDO EL PAQUETE DE SOFTWARE GEO5 v16 DEMO

El conjunto es de fácil manejo y está formado por programas individuales con una interfaz unificada. Cada programa se usa para analizar diferentes problemas geotécnicos pero los módulos se comunican entre sí formando un paquete integrado.

Dentro del GEO5 v16DEMO se realiza el estudio con el módulo demo de estabilidad de rocas, el programa analiza la estabilidad de taludes en roca y muros para un tipo especificado de rotura, incluyendo una superficie de deslizamiento plana o poligonal o una cuña de roca.



El programa Estabilidad de rocas realiza un análisis de estabilidad de pendientes rocosas y cuñas de rocas. El programa requiere la definición de la superficie de deslizamiento esperada. Seguidamente, determina el factor de seguridad y las fuerzas de anclaje correspondientes.

Entre las características más importantes se tienen:

- Deslizamiento a lo largo de una superficie recta o poligonal.
- Deslizamiento de un espacio de cuña de tierra.
- Modelos materiales de acuerdo a Mohr-Culomb, Hoek-Brown y Barton-Bandis.
- Superficie de deslizamiento lisa, rugosa y escalonada.
- Entrada simple de la geometría de los bloques.
- Permite cualquier tipo de sobrecargas (franja, trapezoidal, lineal).
- Permite cualquier número de anclajes.
- Modelos de agua en diaclasas y fisuras.

Todas estas características nos permitieron realizar un análisis de estabilidad de taludes para un tipo específico de rotura en roca en una superficie de deslizamiento en forma de cuña, luego de ingresar los datos del talud en análisis el programa al analizar la susceptibilidad de desprendimiento de bloque a gravedad, en donde se determinó que el factor de seguridad dado por el Geo5 es satisfactorio siendo mayor a 1.5 al ser un valor de 7 lo que representa una estabilidad de la roca al desprendimiento, **FS=7**.

Los resultados obtenidos por el software Geo5 se representan en las Figuras 22 y 23 las mismas que presentan los resultados y pasos de cálculo que se realizaron para la obtención del factor de seguridad.



Angle of internal friction on slip surface $\phi_2 = 35.00^\circ$
 Slip surface cohesion $c_1 = 40.00$ kPa
 Slip surface cohesion $c_2 = 40.00$ kPa

Water

GWT height $Z = 5.50$ m.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient $K_h = 0.0000$
 Vertical seismic coefficient $K_v = 0.0000$

Analysis setting

Type of analysis - earth wedge
 Analysis carried out according to classical theory (safety factor)
 Safety factor $SF = 1.50$

Analysis No. 1 (Stage of construction 1)

Partial results

Gravity force	$W_z = 15886.09$ kN
Normal force due to water	$U_{N1} = -343.31$ kN
Normal force due to water	$U_{N2} = -4698.98$ kN
Overall normal force	$N_1 = 7373.07$ kN
Overall normal force	$N_2 = 5558.86$ kN
Resisting force	$T_{pas1} = 6758.77$ kN
Resisting force	$T_{pas2} = 25930.69$ kN
Overall driving force	$T_{act} = 4653.80$ kN
Overall resisting force	$T_{pas} = 32689.46$ kN

Verification

Resisting force $T_{resist} = 32689.46$ kN/m
 Driving force $T_{driv} = 4653.80$ kN/m

Factor of safety = $7.02 > 1.50$

Stability of rock slope is SATISFACTORY

Input data (Stage of construction 2)

Slip surface

Planes of the first and second wedge do not intersect within a half-plane of top face!

Wedge parameters

Specific weight of rock	$\gamma = 25.00$ kN/m ³
Angle of internal friction on slip surface	$\phi_1 = 35.00^\circ$
Angle of internal friction on slip surface	$\phi_2 = 35.00^\circ$
Slip surface cohesion	$c_1 = 40.00$ kPa
Slip surface cohesion	$c_2 = 40.00$ kPa

Water

GWT height $Z = 5.50$ m.

Earthquake



[Geo 5 - Rock stability (demoversion) | version 5.9.14.0 | Copyright (c) FINE s.r.o. 2009 | www.finesoftware.eu]

2

Figura 22 Resultados aplicación software GEO5 v16 Demo.



Horizontal seismic coefficient $K_h = 0.0000$

Vertical seismic coefficient $K_v = 0.0000$

Analysis setting

Type of analysis - earth wedge

Analysis carried out according to classical theory (safety factor)

Safety factor SF = 1.50

Input data (Stage of construction 3)

Slip surface

Planes of the first and second wedge do not intersect within a half-plane of top face!

Wedge parameters

Specific weight of rock $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Angle of internal friction on slip surface $\phi_1 = 35.00^\circ$

Angle of internal friction on slip surface $\phi_2 = 35.00^\circ$

Slip surface cohesion $c_1 = 40.00 \text{ kPa}$

Slip surface cohesion $c_2 = 40.00 \text{ kPa}$

Water

GWT height Z = 5.50 m.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient $K_h = 0.0000$

Vertical seismic coefficient $K_v = 0.0000$

Analysis setting

Type of analysis - earth wedge

Analysis carried out according to classical theory (safety factor)

Safety factor SF = 1.50

Input data (Stage of construction 4)

Slip surface

Planes of the first and second wedge do not intersect within a half-plane of top face!

Wedge parameters

Specific weight of rock $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Angle of internal friction on slip surface $\phi_1 = 35.00^\circ$

Angle of internal friction on slip surface $\phi_2 = 35.00^\circ$

Slip surface cohesion $c_1 = 40.00 \text{ kPa}$

Slip surface cohesion $c_2 = 40.00 \text{ kPa}$

Water

GWT height Z = 5.50 m.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient $K_h = 0.0000$

Vertical seismic coefficient $K_v = 0.0000$

Analysis setting

Type of analysis - earth wedge



[Geo 5 - Rock stability (demoverion) | version 5.9.14.0 | Copyright (c) FINE s.r.o. 2009 | www.finesoftware.eu]

3

Figura 23 Resultados aplicación del software GEO5 v16 Demo.

Las tres familias de grietas al interceptarse forman una cuña en la que el plano de deslizamiento esta indicado de color amarillo, la misma es estable no desliza, Figura 24.

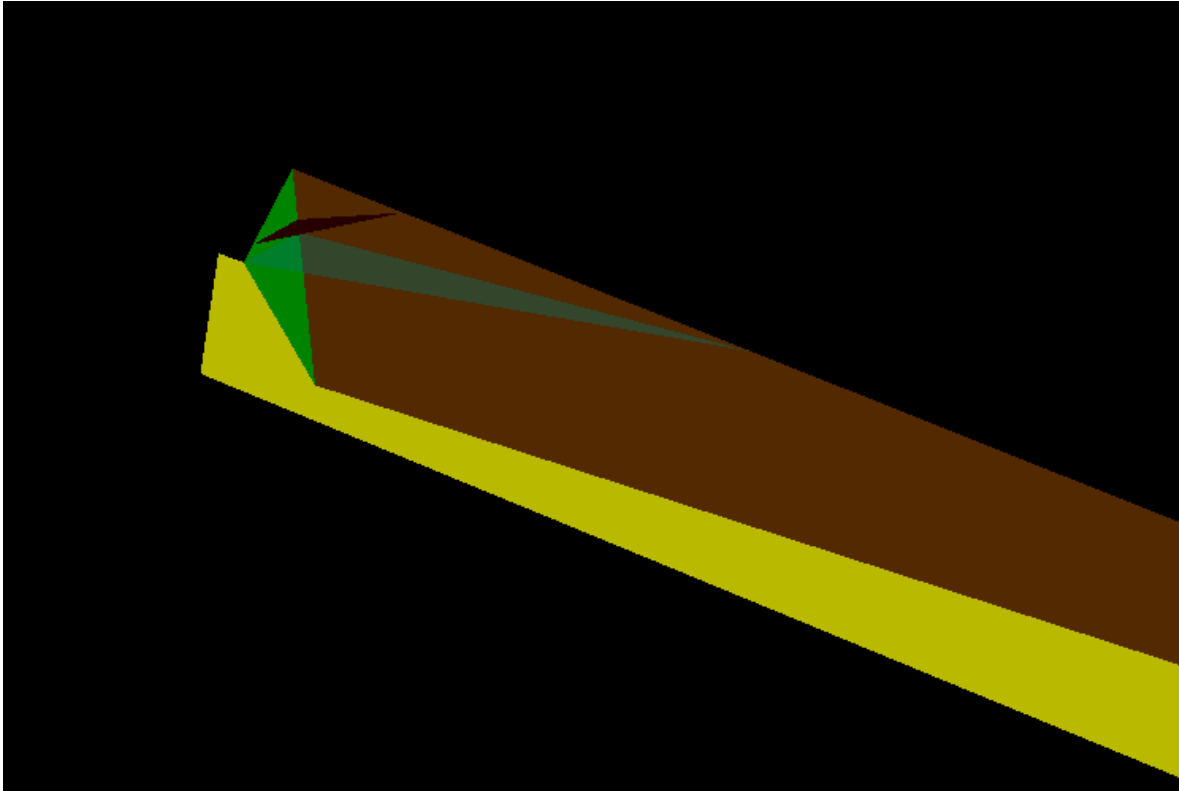


Figura 24 Cuña de falla resultado de la aplicación del software GEO5 v16 Demo.



RESUMEN DE RESULTADOS

En la Tabla 19 se muestra los resultados obtenidos en la aplicación de los métodos escogidos para el estudio que se realiza:

Tabla 19 Tabla Resumen de Resultados

Análisis	Resultado	Descripción
RQD	Calidad de Roca Buena	80%
RMR	Calidad del Macizo Buena	Valoración RMR = 62
SMR	Calidad del Macizo Inestable	Valoración SMR = 25.875
Dips v5.103	Planos de deslizamiento	Existen 3 intersecciones de planos de deslizamientos, que originan la formación de cuñas
Markland	Inestable	Es posible el deslizamiento por fallas planares, dado que: Angulo Talud > Angulo Deslizamiento $\Psi_t > \Psi_d$
Círculo de Fricción	Estable	No es posible el deslizamiento, dado que: Angulo Talud > Angulo Deslizamiento < Angulo de Fricción Interna $\Psi_t > \Psi_d < \phi$
Geo5 v16	Estable	$F_s > 1.50$

Dado el resumen de resultados presentados en la Tabla 19 se estima que el talud analizado en el sector de la cantera “Las Victorias” es **Estable**.

CAPITULO 4. MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN

El talud analizado tiene un factor de seguridad alto y no presenta inestabilidades por desprendimientos de cuña generada, debido a las tres familias de discontinuidades que fueron medidas y catalogadas, presenta meteorización en la capa superior del mismo en alrededor de 1m sobre su superficie. Después de realizar el estudio geomecánico y el análisis de estabilidad de los taludes de la cantera “Las Victorias”, dado que el talud analizado es el talud base de la cantera, el cual es estable, y se esperan desprendimientos.

Para evitar que esto ocurra se proponen las siguientes medidas de estabilización:

1. Corrección de la Geometría de los Taludes.

Los taludes analizados poseen diferentes ángulos y diferente altura, (Ver Figura 8). Aspecto que produce inestabilidad de pequeños bloques y cuñas de rocas. Por lo que se recomienda realizar un análisis posterior y conformar los taludes con los mismos parámetros geométricos.

2. Construcción de Bermas Intermedias de Seguridad.

La construcción de bermas es una medida preventiva más no correctiva hasta que se conforme el talud adecuadamente, con las mismas condiciones geométricas y de diseño, (Ver Figura 25).

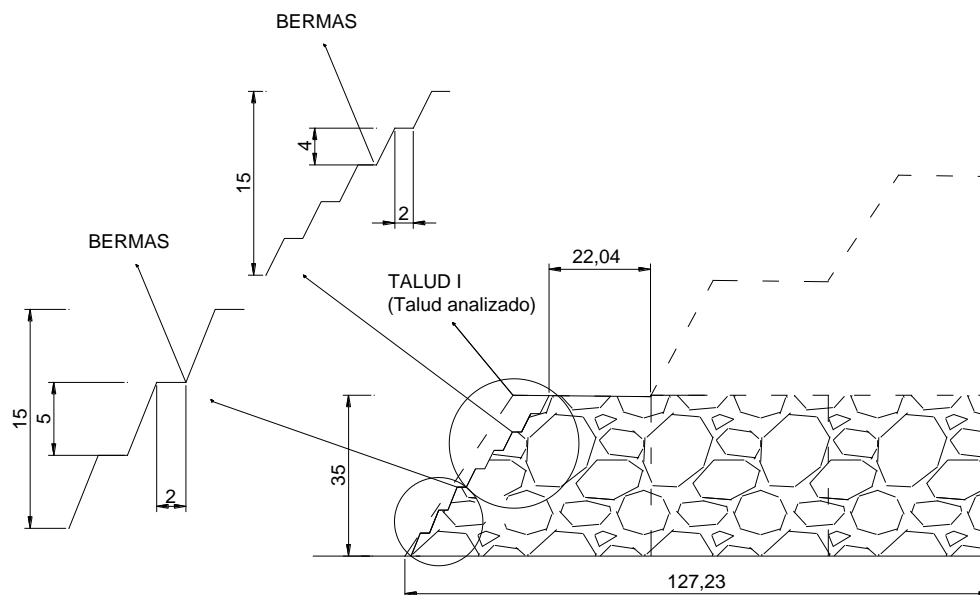


Figura 25 Esquema de Diseño de Bermas Intermedias de Seguridad



Se debe dar a las bermas de seguridad una pendiente invertida para permitir el drenaje del agua y evitar que la misma corra por la cresta del talud hacia otras bermas y produzca la erosión del macizo y la formación de grietas o cárcavas.

Estas medidas se proponen para que los taludes estén contruidos por encima del nivel freático siendo afectado de esta manera sólo por el agua superficial producida por la escorrentía.

Por lo que esta medida impide además la acumulación del agua en las plataformas de trabajo, (parte superior del talud).

3. Saneo Sistemático y Efectivo de Materiales Sueltos, Potencialmente Peligrosos por la Posibilidad de Caída.

Se propone el adecuado saneo de los frentes y taludes excavados para su conservación en perfectas condiciones y la prevención de la aparición de problemas de mayor gravedad.

Para lo cual después de una parada y antes de comenzar los trabajos es necesario inspeccionar los frentes de explotación, asegurándose de que no existen masas de rocas inestables y ordenándose, en caso necesario su saneo por parte de personal adecuadamente formado para estas labores y utilizando, preferentemente, medios mecánicos.

Se recomienda realizar la observación in situ para determinar los bloques potencialmente más vulnerables a desprenderse, de esta forma se puede inferir manualmente mediante barras de acero la caída artificial de los bloques.

Las inspecciones y los saneos deben realizarse de forma sistemática en los siguientes casos:

- Después de lluvias o heladas.
- Cuando se haya producido el desprendimiento de masas considerables de roca.
- Después de cada voladura.

Cuando exista riesgo de deslizamiento o de desprendimientos en los taludes que afectan a una vía, esta debe protegerse mediante una malla en el talud.



4. Control de Voladuras en el Perímetro de la Excavación.

El daño causado por una voladura masiva se extiende varios metros detrás del talud. El daño de la voladura se produce debido a los esfuerzos dinámicos inducidos que resultan en el proceso de fracturación de la roca, con lo cual se produce abertura de las discontinuidades, este fenómeno se puede observar en la cantera.

El efecto de la rotura o fragmentación producida por la voladura debe ser tomado en cuenta durante el mapeo geotécnico, para valorar en que medida es afectada la calidad del macizo rocoso.



CONCLUSIONES

- La calidad de las rocas de la cantera “Las Victorias” es de calidad buena según la caracterización geomecánica realizada.
- El talud analizado (talud base de apertura) se considera estable por las tres direcciones posibles de fallas, en relación con la dirección del agrietamiento presente en el macizo.
- Las principales inestabilidades que se producen son desprendimientos de rocas.
- Las medidas de estabilización propuestas permiten evitar potenciales inestabilidades a las que el talud es propenso.
- Al evaluar la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera “Las Victorias” se obtiene que la estabilidad del talud de apertura es estable.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda un rediseño geométrico de todos los taludes acogiéndose a un rediseño total de los taludes.
- Se recomienda mantener un monitoreo de los datos con el fin de controlar cambios en las características del macizo rocoso para su valoración constante de estabilidad.
- Se recomienda aplicar las medidas de estabilización propuestas.



BIBLIOGRAFÍA

- Almaguer, C. Y. & Guardado, L. R. (2005). *Caracterización Ingeniero Geológica del Perfil de Meteorización de Rocas ultra-básicas Serpentinizadas en el territorio de Moa, Cuba. Minería & Geología, Vol. 21, Núm. 3.* Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.
- Arteaga, D. A. (2008). *Estudio de la estabilidad de talud del cerro bellavista sitio ciudadela ferroviaria.* Guayaquil, Ecuador: V Congreso Latinoamericano de estudiantes de Ingeniería Civil.
- Aspden, J. A., et al. (1987). *Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Ecuador.* J. Geol. Soc., London, 144, 893- 905.
- Ayala, C.F. (2006). *Manual de Ingeniería de taludes IGE.* España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Bieniawski Z. T. (1979). *Rock mass classification in rock engineering, en exploration for rock engineering* (Ed. por Bieniawski Z.T.), 1, 97-106, Balkema.
- Bishop, A. W. (1955). *The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes: Geotechnique, Vol. V, No. 1.*
- Bock, H. (1983). *Introducción a la mecánica de los macizos rocosos.* Mir, Moscú.
- Brien & Raid (2008). *Estabilidad de los taludes en el suroeste de Seattle. Por el método de equilibrio en 3-D.* Seattle, USA.
- Bristow, C. R., 1973. *Guide to the geology of the Cuenca Basin, southern Ecuador.* Quito, Ecuador: Ecuadorian Geological and Geophysical Society 45 pp.
- Bristow, R. & Hofstetter, R., (1977). *Lexique stratigraphique international. Vol. V. Amérique Latine. Faac. 5 a.* Ecuador: CNRS France.
- Caraballo, (2005). *Análisis de la estabilidad de los taludes en los depósitos de menas no conforme mediante el método de Hoek y Bray.* Venezuela.
- Cartaya, M. P. (2001). *Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país.* Moa, Cuba: Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- Chávez, M. M. (2002^a). *Estudios y diseños para estabilizar los deslizamientos en el Cerro La mona de la ciudad de Jipijapa, Provincia de Manabí.* Manabí, Ecuador: Junta de recursos hidráulicos de Manabí.



Chávez, M. M., et al., (2008). *Estabilización de Taludes en el Rio Portoviejo*. Ecuador: Minería & Geología.

Córdova R.D. (1979). "*Estudio de Estabilidad de Taludes en Minas a Cielo Abierto con Aplicación a la Mina Cerro Verde*". Lima, Perú: Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería.

Córdova, R.D. & Hurtado, A.J. (1983). "*Estabilidad de Escombreras en Explotaciones Mineras*". Lima, Perú: IV Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones.

Cruden, D. M. (1991). *A very Simple definition for a landslide*. IAEG Bulletin.

De Marco, Z. P. & Hernández, V. F. (1979). *Evaluación y Análisis de Algunos problemas de Estabilidad de Taludes en las Excavaciones Mineras del Cerro Bolívar*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y metalurgia.

Fellenius, W. (1927). *Cálculos Estadísticos con la Fricción y la Cohesión (adhesión), y Asumiendo Rotura Circular en Superficies Deslizantes Cilíndricos*. Berlín: Emst & Sohn.

Gil, M. V. (1998). *Estabilidad de Taludes CN-323*. Granada, España: Universidad Complutense de Madrid.

Grupo Vera & Asociados (2008). *Estudios y Diseños para la estabilidad de taludes del Cerro El Calvario, de la Ciudad de Zaruma, Provincia de El Oro*. Ecuador.

Guamán V., Mendieta F. (2013). *Evaluación geomecánica en la cantera de material de construcción "Las Victorias"*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.

Guardado & Tolentino, (2006). *Modelado de taludes en las excavaciones a cielo abierto de la Unidad Minera Cerro de Pasco*. Perú: Unidad minera cerro Pasco.

Hall, M. L. (2000). *Los Terremotos del Ecuador de 1987*. Quito, Ecuador: Escuela politécnica nacional.

Herrera, R. F. (1996). *Análisis de estabilidad de taludes mineros y caracterización del macizo rocoso. Aplicación a un caso práctico en la mina la "FE" de uranio*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

Herrera, F. R. (2000). *Análisis de estabilidad de taludes*. Madrid, España: Geotecnia 2000.



Herrera, H. J. (2007). *Diseño de Explotaciones de Canteras*. Madrid, España: Universidad politécnica de Madrid.

Hoek, E. & Brown, E. T. (1966). *Excavaciones Subterráneas en Roca*. México: Editorial Mc Graw-Hill.

Hoek, E. & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy, Third Edition.

Hunt, R. (1984). *Geotechnical engineering investigation manual*. McGraw-Hill.

Janbu, N. (1954). *Aplication of Composite Slip Surface for Stability Analysis*. Proc. European Conference Stability of Earth Slopes: Stockholm, Vol. 3.

Liddle, R. & Palmer, K. (1941). *The geology and Paleontology of the Cuenca, Azogues, Biblián region provinces of Cañar and Azuay, Ecuador*. Ecuador: Bulletins of American paleontology, v.26 no. 100.

Litherland, M. & Zamora, A. (1991). *A Terrance Configuration for the Northern Andes*. Santiago, Chile: Comunicaciones Departamento de Geología Universidad de Chile No. 42.

López, J. C. (1999). *Ingeniería de Túneles*. Madrid, España: Entorno gráfico.

Markland, J. T. (1972). *A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge slide type of failure is expected*. Imperial College Rock Mechanics Research Reprints, n. 19.

Mongenstern, N. R. & Price, V. E. (1965). *The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces*: Geotechnique, Vol. 15.

Morocho, M. N. et al. (2010). *Determinación del Factor de Seguridad para Taludes Anisotrópicos en las áreas mineras "Victoria I" y "Victoria II", utilizando los sistemas de evaluación de Bieniawski y Romana y método de cálculo de Li, Merifield y Lyamin*. Ecuador: ESPOL.

Oliver, M.M. (2000). *Estudio de Estabilidad de Taludes y de Aprovechamiento de la Cantera Carbonell*. Mallorca, España: Illes Balears.

Palmstrom A., (1982). *The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing*. IAEG Congress, New Delhi, 1982. pp. V.221 – V.228.

Parodiz, J. J. (1969). *The Tertiary non-marine mollusca of South America*. Annals of the Carnegie Museum 40: 1-242



Platt, G. A. (1966). *Investigation of a Slope Stability at Amuay, Venezuela*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts: SM Thesis, Department of Civil Engineering.

Recalde, E. (2006). *Metodología de Planificación Minera a corto plazo y diseño minero a mediano plazo en la Cantera Pifo*. Ecuador: Tesis, ESPOL.

Robalino, S. (1989). *Sedimentación continental sin-tectónica de la cuenca Micénica de Cuenca*. Inédito Tesis de Grado de Ingeniero Geólogo. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

Rocscience (2009a) Dips v5.103 graphical & statistical analysis of orientation data. ©2009 Rocscience Inc <http://www.rocscience.com>

Romana, M. (1992). *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. Int. Symp. On the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas, 49-53.

Sandoval, F. (2001). *La Pequeña Minería en el Ecuador*. Mining, Minerals and Sustainable Development. Ecuador.

Savoyat, E. (1970). *Geological map of Greece*. Monopolis: Institute for Geology and Subsurface Research.

Sigal, J. (1998). *Estratigrafía micropaleontología del Ecuador, datos anteriores y nuevos*. Quito, Ecuador: Instituto Francés Petróleos & Servicios Nacionales Geología y Minería.

Skempton, A. W. (1977). *Slope Stability of Cuttings in Brown London Clay*. Tokyo: Vol. III: Proc. 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Small, R.J. (2002). *Rock slope stability: a case of study at Coles Quarry, Backwell, North Somerset. Industrial Minerals and Extractive Industry geology* Edited by P.W. Scott (university of Exeter) and C.M. Bristow (University of Exeter)

Spencer, E. (1967). *A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces*: Geotechnique, Vol. 17, No. 1.

Steinmann, M. (1997). *The Cuenca basin southern Ecuador, tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution*. Doctoral Thesis. Institute of Geology ETN Zurich, Switzerland. 125 p.

Suarez, D. J. (1998). *Análisis Geotécnico Vol.1*. Colombia: Instituto de Investigación.



Talobre J. (1957). *La Mécanique des Roches*. Dunop, Paris.

Taylor, D. W. (1937). *Stability of Earth Slopes*. Journal of the Boston Society of Civil Engineers, Vol. 24, No. 3: Reprinted in Contributions to Soil Mechanics 1925-1940, Boston Society of Civil Engineers, pp. 337-386.

Taylor, D. W. (1956). *Fundamentals of Soil Mechanics*, Cap. 16. 1st printing. N.Y.: John Wiley & Sons.

Torres, C. R. (2008). *Análisis de Estabilidad de taludes en el macizo rocoso de la cantera Palma Sola mediante los sistemas de clasificación geomecánica RMR_Rock Mass Rating y SMR_Slope Mass Rating*. Venezuela: Geominas, Vol. 36, N° 46.

Watson, Q. R. (2005). *Geomecánica Aplicada a la Pequeña Minería*. Cuba: Instituto Minero Metalúrgico de MOA.

http://es.wikipedia.org/wiki/Materiales_p%C3%A9treos