



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN GEOTÉCNIA Y GEOMECÁNICA MINERA**



**TESIS**

**COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO PARA EL CONTROL DEL  
DESLIZAMIENTO DEL BOTADERO DE DESMONTE MINERO ZONA ESTE  
SANTA MARÍA, RINCONADA PUNO PERÚ**

**PRESENTADA POR:**

**JUAN CARLOS CHAYÑA CONTRERAS**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN GEOTECNIA Y GEOMECÁNICA MINERA**

**PUNO, PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios el permitirme alcanzar esta anhelada meta que consolida mi formación profesional y académica.

La presente tesis, está dedicada con mucho cariño a mis queridos padres, Domingo y Juana, y docentes que durante toda su vida estuvieron siempre a mi lado dándome la fuerza, valor y dedicación para salir adelante.

Finalmente, dedico este logro a mi amada y adorada hija, Daniela, quien es la razón de mi existencia...



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Universidad Nacional del Altiplano Puno por permitirme seguir creciendo académicamente y en mi carrera profesional.

Agradezco a la Maestría con mención en Geotecnia y Geomecánica Minera de la Facultad de Ingeniería de Minas, por permitirme seguir creciendo académicamente y en mi carrera profesional.

Asimismo, extender un reconocimiento muy especial a mi asesor Fidel Huisa Mamani, ya que gracias a su orientación pude hacer realidad uno de mis más ansiados sueños.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

### **CAPÍTULO I REVISIÓN LITERARIA**

1.1 Contexto y marco teórico	3
1.1.1 Geotecnia	4
1.1.2 Teorías de Botaderos	4
1.1.3 Depósito de desmonte	5
1.1.4 Construcción del talud de depósitos del botadero	6
1.1.5 Talud	7
1.1.6 Magnitud sísmica	10
1.1.7 Estabilidad del depósito de desmonte	13
1.2 Antecedentes	18

### **CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Identificación del problema	24
2.2 Enunciados del problema	25
2.2.1 Problema General	25
2.2.2. Problemas Específico	25
2.3 Justificación	25
2.4 Objetivos	26
2.4.1 Objetivo General	26
2.4.2 Objetivos Específicos	26



2.5 Hipótesis	26
2.5.1 Hipótesis General:	26
2.5.2 Hipótesis específicas:	26

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 Lugar de estudio	27
3.1.1 Ámbito, manejo, operaciones tipo desmonte	27
3.2 Población	28
3.2.1. Población	28
3.3 Muestra	28
3.3.1. Muestra	28
3.3.2. Fuente recolección de datos	28
3.3.3. Media Aritmética	28
3.3.4. La varianza y desviación típica	29
3.4 Métodos de investigación	29
3.4.1 Enfoque de investigación	29
3.4.2 Tipo de investigación	29
3.4.3 Alcances de la investigación	30
3.4.4 Diseño de la investigación	31
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	32
3.5.1 Deposito de material de desmonte para deposición final	32

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Identificación de control de deslizamientos	34
4.2 Estabilidad de talud	34
4.2.1 Deformación	34



4.3 La Cohesión	37
4.4 El ángulo de fricción ( $\phi$ ).	37
4.5 Resistencia	38
4.5.1 Determinación de parámetros de resistencia deformación	38
4.6 Diseño y caracterización de los bancos	43
4.6.1 Análisis para el diseño de bancos.	43
4.6.2 Estabilidad del botadero.	44
4.6.3 Metodología de análisis.	53
4.6.4 Plan de monitoreo de estabilidad del botadero física.	54
4.6.5 Capacidad de recepción de material en los botaderos	55
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFIA	58
ANEXOS	62

Puno, 30 de diciembre de 2019

**Área:** Diseño y evaluación  
**Tema:** Geotecnia  
**Línea:** Estabilidad de taludes en botadero



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Esfuerzos sometidos de la roca pizarra en laboratorio	35
2. Esfuerzos sometidos de la roca cuarcita en laboratorio	36
3. Clasificación de las rocas de acuerdo con su resistencia a la compresión	38
4. Factor de seguridad obtenida con software	54
5. Capacidad de material diseñado de desmonte en el botadero	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Construcción de depósito de desmonte en laderas vista en sección.	7
2. Construcción de depósito de desmonte en laderas vista en 3D.	7
3. Aspectos geológicos que pueden provocar la falla de un talud.	9
4. Sobre carga en la corona del talud.	9
5. Las fallas circulares son muy comunes en taludes de materiales de suelo y roca blanda.	10
6. Zonificación Sísmica (Norma E 030)	12
7. Tensiones normal y tangencial, Permite determinar ( $c$ y $\phi$ ) y características de deformación.	14
8. Densidad, ángulo y rozamiento y cohesión en estabilidad de taludes.	14
9. Diagrama esfuerzo – deformación.	30
Figura 10. Deslizamiento de un cuerpo sólido – ángulo de rozamiento.	37
11. Resultados de la representación del criterio de rotura de <i>Hoek&amp;Brown</i> , en el espacio de tensiones normal y tangencial.	40
12. Resultados del análisis de resistencia de la roca pizarra con <i>RocData</i>	41
13. Resultados de la representación del criterio de rotura de <i>Hoek&amp;Brown</i> , en el espacio de tensiones normal y tangencial.	42
14. Resultados del análisis de resistencia de la roca pizarra con <i>RocData</i>	43
15. Diseño depósito de desmonte propuesta para las explotaciones por los contratistas zona Santa María Este Rinconada	44
16. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte del diseño como deberían instalarse Santa María Este, por el programa <i>Rock Science – Slide</i> , análisis estático.	45



<b>17.</b> Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte del diseño, Santa María Este, por el programa <i>Rock Science</i> – Slide, análisis pseudoestático.	46
<b>18.</b> Nuevo diseño Propuesta sección depósito de desmonte en zona donde se pueda instar con carga para evitar deslizamientos y cálculo de FS, Santa María Este.	46
<b>19.</b> Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte mediante carga Santa María Este, por el programa <i>Rock Science</i> – Slide, análisis estático.	47
<b>20.</b> Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte con carga por el programa <i>Rock Science</i> – Slide, análisis pseudoestático.	48
<b>21.</b> Sección depósito de desmonte en laderas para el diseño del botadero, Santa María Este.	48
<b>22.</b> Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte en laderas Santa María Este, por el programa <i>Rock Science</i> – Slide, análisis estático.	49
Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte en laderas Santa María Este, por el programa <i>Rock Science</i> – Slide, análisis pseudoestático.	50
<b>24.</b> Sección depósito de desmonte en las laderas Santa María Este.	50
<b>25.</b> Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte en las laderas Santa María Este, por el programa <i>Rock Science</i> – Slide, análisis estático.	51
<b>26.</b> Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte en las laderas Santa María Este, por el programa <i>Rock Science</i> – Slide, análisis pseudoestático.	52



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Preparación de testigo en laboratorio de mecánica de rocas	63
2. Prueba de muestras a la compresión simple en laboratorio de mecánica de rocas	63
3. Muestras realizadas a la compresión simple	64
4. Proyecto de estudio en la zona Santa María – Rinconada	64
5. Botaderos en las operaciones mineras sin ningún diseño y control	65
6. Perfil del botadero colapsado sin las condiciones de diseño y control	65
7. Botaderos de desmonte colapsando y desprendimientos	66
8. Botaderos cerca de operaciones y peligro para personal	66
9. Botaderos con áreas reducidas a las entradas de una galería	67
10. Ensayos de compresión en los laboratorios	68
11. Ensayo compresión simple del núcleo roca pizarra	69
12. Ensayo compresión simple de núcleo roca cuarcita	70

## RESUMEN

El trabajo de investigación titulada *Comportamiento geomecánico para el control del deslizamiento del botadero de desmonte minero zona Este Santa María, Rinconada Puno Perú*, del año 2018, de acuerdo a los antecedentes, debido a la inestabilidad que pueda causar, la existencia potencial de fallamiento interrumpiendo el proceso de explotación, permitió la identificación y se determinó el comportamiento para favorecer la estabilidad del botadero de desmonte y el control de depósitos de material estéril, permitió la identificación los parámetros geomecánico en talud compuesta por depósitos de desmonte y de esta manera logro obtener los valores de factor de seguridad, indican el comportamiento que presenta este tipo de depósitos cuando se ven afectados por factores y condiciones de la zona de investigación, se tomara muestras para determinar las capacidades portantes de este modo se determinarán la altura de banco y los ángulos de talud, en donde se efectúa modelos de taludes con geometría correspondiente a alturas mayores, para una estabilidad estable del botadero que se pueda modificar y determinar la altura de banco y ángulo de talud deben ser convenientes de 10 a 30 m para ángulos de  $35^\circ$ ,  $36^\circ$ , que deben ser convenientes, con los datos obtenidos se diseñó un botadero con la estabilidad adecuada el cual con la ayuda del software especializado, se simuló y se dio solución al problema, dando como resultado una altura máxima de banco de 30 m, con ángulo de talud  $36^\circ$ , con un factor de seguridad que van desde 1,431 a 1,211 es considerado aceptable.

**Palabras clave:** Botadero, desplazamientos, estabilidad, factor de seguridad, taludes.

## ABSTRACT

The research work entitled *Geomechanical behavior for the control of the landslide of the mining waste dump in the East Santa María area, Rinconada Puno Peru*, from the year 2018, according to the antecedents, due to the instability that the potential existence of Faulting interrupting the exploitation process, allowed the identification and the behavior was determined to favor the stability of the waste dump and the control of deposits of sterile material, allowed the identification of the geomechanical parameters in slope composed of waste deposits and in this way achieved Obtain the safety factor values, they indicate the behavior of this type of deposits when they are affected by factors and conditions of the research area, samples will be taken to determine the bearing capacities in this way the height of the bank and the slope angles, where slope models are made with geometric The path corresponding to higher heights, for a stable stability of the dump that can be modified and determine the height of the bank and slope angle should be convenient from 10 to 30 m for angles of  $35^\circ$ ,  $36^\circ$ , which should be convenient, with the data obtained, a dump was designed with adequate stability which, with the help of specialized software, was simulated and solved the problem, resulting in a maximum bench height of 30 m, with a slope angle of  $36^\circ$ , with a factor Security ranging from 1,431 to 1,211 is considered acceptable.

**Keywords:** Dump, displacements, stability, safety factor, slopes.

## INTRODUCCIÓN

Perú es un país potencialmente minero y dentro de ella las minas de Rinconada en la actualidad está administrada a cargo de las cooperativas mineras de la zona, las cuales, forman parte de del proyecto minero U.E.A., Ana María y se encuentran representadas por la Central de Cooperativas Mineras de Ananea.

Las operaciones mineras en el proyecto minero de Rinconada se realizan por varias etapas, una de ellas es la extracción de la minera con máquinas perforadoras y cargado de explosivos para una fragmentación adecuada, ventilación y realizar el acarreo y transporte de mineral y desmonte la cual se desarrolla en la mayoría de los casos. Para la extracción del material se hace uso de scoops volquetes y dúmper de diferentes m<sup>3</sup> de capacidad. En el tratamiento para la recuperación del mineral se usa molinos de bolas y trapiches.

En vista de que han ocurrido varios accidentes por deslizamiento y rotura de bancos, en muchas zonas del proyecto se trabajan con poca o sin una planificación adecuada, se ha visto por conveniente realizar una evaluación y un estudio geotécnico de los botaderos del proyecto Ana María. El trabajo consta de varios capítulos, los cuales se describen muy sucintamente.

El Capítulo I, comprende el marco teórico, donde se considera los antecedentes, las teorías referentes a la geotecnia, deslizamientos, aspectos geológicos, que nos permita plantear la hipótesis pertinente,

El Capítulo II, comprende el planteamiento del problema, donde se hace hincapié de la necesidad de un diseño de banco con criterios geotécnicos, precisando los objetivos del trabajo.

El Capítulo III, Comprende sobre la metodología a seguir en el trabajo, tipo de investigación, aplicación de las técnicas estadísticas, los trabajos de campo.

El Capítulo IV, comprende resaltar los resultados y discusión sobre los datos que se obtuvo, dando conformidad a lo que se estableció como objetivo y comprobando con la hipótesis.

Las conclusiones y recomendaciones finalmente, se establecen como resultado de la investigación. También se hace referencia de la bibliografía consultada y como



complemento un anexo de datos auxiliares que se han requerido para la culminación del trabajo.

Toma de muestra de material para su respectivo análisis en los laboratorios de mecánica de rocas, suelos, análisis de los resultados, resistencia al corte y diseño de los bancos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN LITERARIA

#### 1.1 Marco teórico

En el caso del estudio de taludes, el corte está sujeto a fuerzas naturales que tienden a que las porciones de terreno sean próximas al deslizamiento, esto hace referencia a la falla como un proceso más o menos continuo y por lo general es lento el desplazamiento hacia la parte inferior que se presenta en la zona del botadero.

La ingeniería geológica y geotécnica, entre muchos otros pudiéndose distinguir varios métodos de cálculo, en base a la diferente formulación matemática utilizada. (Beneyto, 2001), el problema de la inestabilidad de taludes puede ser abordado desde distintos aspectos. Cuando se habla de estabilidad, se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de suelo dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe considerar el tipo de suelo que se tienen y otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud, así como las condiciones de filtración y agua, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica.

El buen conocimiento del comportamiento de un talud frente a sus posibles roturas, repercute enormemente en los costes y en la seguridad, por ello, las investigaciones decampo (in situ) y de laboratorio, deben ser las suficientes, como para poder caracterizar en la medida de lo posible las características geomécanica del terreno, así como los posibles mecanismos de rotura.

Los métodos a suponer que el deslizamiento se produce a través de una línea de forma dada (recta, círculo, espiral logarítmica, línea quebrada, etc.) consiste en ensayar con

diversas superficies de la forma adoptada, suponiendo que a lo largo de cada una de ellas actúa la resistencia al esfuerzo tangencial del terreno minorada por el coeficiente de seguridad, y a partir de las condiciones de equilibrio se estima el coeficiente de seguridad  $F$ , como la relación entre la resistencia tangencial del terreno y la tensión tangencial movilizada (S'aigua, 2006).

### **1.1.1 Geotecnia**

Geotecnia es la aplicación de los métodos científicos y de los principios de ingeniería a la generación, interpretación y utilización del conocimiento de los materiales y procesos que ocurren en la corteza terrestre para la solución de problemas de ingeniería. Para su cabal desarrollo requiere la aplicación de diferentes campos del conocimiento, entre ellos, la mecánica de suelos, la mecánica de rocas, la geología, la geofísica, la hidrología, la hidrogeología y las ciencias relacionadas.

Cabe destacar que Karl von Terzaghi (1883-1963), es señalado como el precursor de la ingeniería geotécnica. A lo largo de su toda su trayectoria profesional se dedicó a analizar problemáticas vinculadas a las cimentaciones y los suelos, volcando su trabajo en textos que se consideran como las bases de la geotecnia.

### **1.1.2 Teorías de Botaderos**

Los botaderos son estructuras masivas de material estéril o con un contenido mineral muy bajo producto de las operaciones de explotación minera a tajo abierto y de operaciones subterráneas que se acumulan sobre fundaciones rocosas, los botaderos es un lugar de selección para depositar el material estéril desde volquetes, dámper, etc. Estas grandes estructuras y sus inestabilidades, han dado lugar a una fuerte preocupación de parte de los organismos gubernamentales que han orientado sus esfuerzos a minimizar y controlar los impactos ambientales y los riesgos de seguridad tanto para el personal, equipos e infraestructura involucrada.

Estas grandes estructuras y sus inestabilidades, han dado lugar a una fuerte preocupación de parte de los organismos gubernamentales que han orientado sus esfuerzos a minimizar los impactos ambientales y los riesgos de seguridad tanto para el personal, equipos e infraestructura involucrada (Patini, 2011).

### **1.1.3 Depósito de desmonte**

El desmonte de mina o mineral de baja ley, es el material rocoso removido por medio de voladura en tajos o excavaciones subterráneas para poder exponer el mineral económico. En consecuencia, y en particular en el caso de operaciones de cielo abierto o tajos, el desmonte de mina es producido en grandes volúmenes, la mayoría de las veces mayores que los del propio mineral (Deere y Patton, 1971).

#### **1.1.3.1 Estabilidad del depósito del botadero**

Se toma los criterios geotécnicos y parámetros físicos que, como el criterio de rotura del material, cohesión, peso específico, ángulo de fricción interna.

#### **1.1.3.2 Volumen de capacidad del botadero**

Comprende la cantidad de material estéril que puede almacenar un depósito, también expresada en vida útil considerando la producción de mineral.

El cálculo del volumen a utilizar en los botaderos, se realiza con el fin de estimar el espacio físico necesario para la adecuada disposición del material estéril, de modo que podamos definir el lugar o lugares donde se dispondrán dicho material. En función de la necesidad y considerando los aspectos económicos involucrados (costos en el transporte, distancia, discriminación entre estéril con leyes de fino interesantes (es decir potencialmente explotables), tipo de material (óxidos, pizarra, cuarcitas, cuarzo) y su potencial, uso futuro o su potencial efecto sobre el medio ambiente, características de los sectores disponibles para el depósito de estéril, proceso del mineral principal extraído, se obtendrá como resultado la disponibilidad y ubicación de los sectores para la disposición de estos materiales.

Teniendo en claro todo lo anterior, se puede proceder a calcular el espacio o volumen necesario para depositar los materiales involucrados en la explotación, y el cálculo se puede expresar como:

$$VX = TX / \gamma X \text{ (m}^3\text{)}$$

VX: Volumen necesario para depositar el Material X en metros cúbicos.

TX: Tonelaje del Material esponjado.

$\gamma X$ : Densidad compactada final del Material X en el botadero en toneladas por metro cúbico.

Una vez calculado el volumen necesario, debemos identificar los sectores donde podrán ser depositados los distintos materiales teniendo en cuenta las consideraciones antes descritas y simulando la geometría posible del depósito, de modo que se tenga una aproximación de la forma y los límites del botadero y así poder calcular su capacidad. Para ubicar y visualizar gráficamente los futuros botaderos debemos disponer de la información suficiente de los sectores que serán habilitados para ello, como por ejemplo la pendiente del sector, el ángulo de reposo del material (con el cual va a quedar finalmente el material en forma segura), altura de los depósitos, áreas típicas que se formarían en función de estos datos, luego hacer los cálculos geométricos correspondientes de volúmenes y finalmente llevarlos a un plano donde serán representados.

#### **1.1.4 Construcción del talud de depósitos del botadero**

El diseño geométrico de un depósito de desmonte se realiza considerando la información obtenida en los ensayos in situ y de laboratorio, el análisis teórico y la modelización numérica. Sin embargo, en el proceso de optimización y aprovechamiento de los espacios sobre el cual se emplazan estas estructuras requiere un mayor conocimiento del material a analizar con el objeto de conocer los comportamientos elastoplásticos ante una posible falla (Moncayo, 2005).

##### **1.1.4.1 Construcción de depósito de desmonte en laderas**

Comúnmente se disponen los residuos minerales en las laderas de los cerros circundantes a la explotación, más que nada por razones de simplicidad en la descarga, mantención y estabilidad, además que se encuentra disponible un mayor espacio para la actividad y ésta se puede realizar de una manera más uniforme ver figura N° 01.

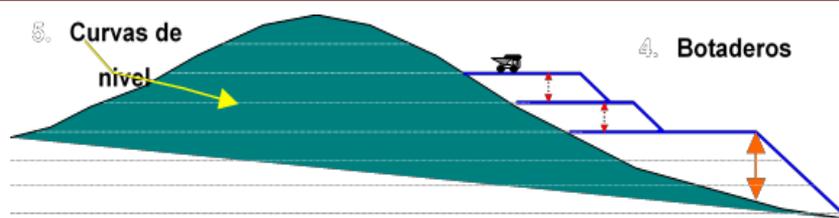


Figura 1. Construcción de depósito de desmonte en laderas vista en sección.

Fuente: Vásquez et al., 1998, p.112

Se observa la disposición del material de depósito de desmonte, aprovecha la topografía en forma de cerros ver figura N° 02.

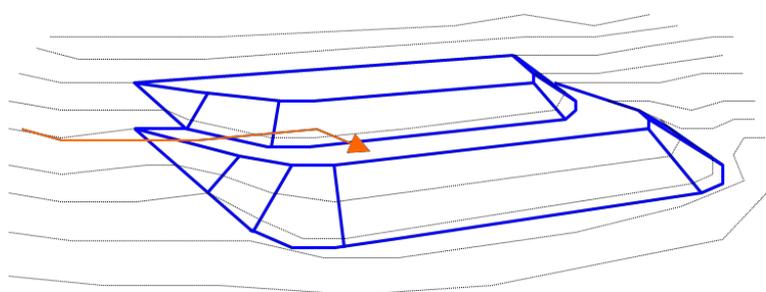


Figura 2. Construcción de depósito de desmonte en laderas vista en 3D.

Fuente: Vásquez et al., 1998, p.112.

Se aprecia una vista en 3D de disposición del depósito de desmonte por capas o banquetas, con un espacio entre banquetas para mejorar estabilidad y diseño geométrico.

#### 1.1.4.2 Banqueta

Es una Sección geométrica resultante, construida a intervalos, que permite disminuir el ángulo efectivo del talud protegiéndolo contra la erosión y la infiltración.

#### 1.1.5 Talud

Se denomina talud a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal. Los taludes pueden ser clasificados en taludes naturales, que básicamente son las pendientes naturales, y en taludes contruidos que pueden ser los terraplenes o los cortes de terreno (Matteis, 2003),

de forma preliminar a la realización del estudio de estabilidad, se han de distinguir preliminarmente los tipos de terreno donde pueden desarrollarse la actividad extractiva y en consecuencia los fenómenos de inestabilidad. En función de esta tipología existen formaciones competentes o macizos rocosos y formaciones blandas o suelos, ambas objeto de aprovechamiento minero.

Las rocas suelen tener módulos elásticos muchos mayores que los suelos y lo mismo sucede con su resistencia (Castro, 2012)

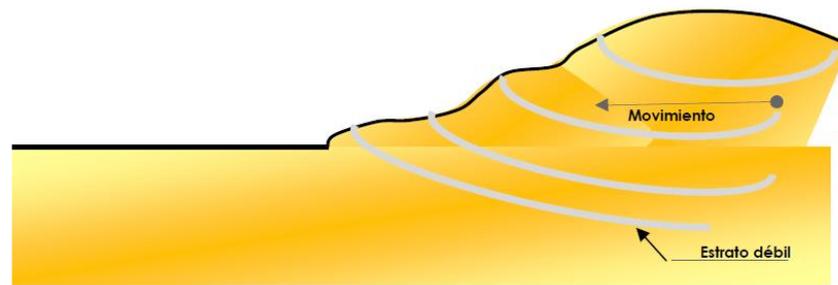
#### **1.1.5.1 Estabilidad de talud**

El campo de la estabilidad de taludes estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería minera geológica - geotécnica. La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel, que tiene lugar por diversas razones, el cual se puede estimar por métodos empíricos, numéricos, y analíticos (Sobarzo et al., 2011).

#### **1.1.5.2 Análisis de superficies de estabilidad de talud**

La falla de un talud o ladera se debe a un incremento en los esfuerzos actuantes o a una disminución de resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Esta variación, en general, es causada por efectos naturales y actividades humanas. Según (Matteis, 2003), los factores principales que afectan la estabilidad de un talud, natural o diseñado son:

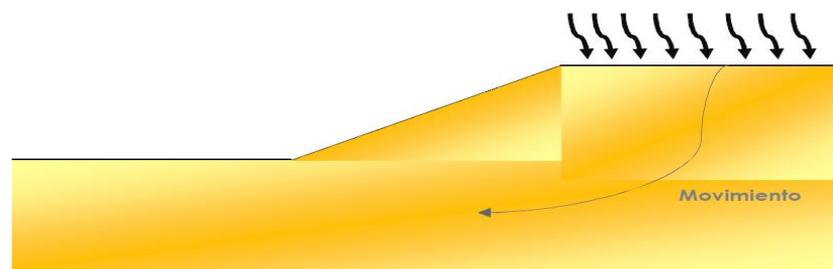
Algunas fallas de taludes son provocadas por aspectos geológicos no detectados durante el levantamiento y exploración de campo, los cuales, al no ser considerados durante la evaluación de la estabilidad del talud, aumentan la incertidumbre del factor de seguridad calculado, ver figura N° 03.



*Figura 3.* Aspectos geológicos que pueden provocar la falla de un talud.

Fuente: Montoya, 2009

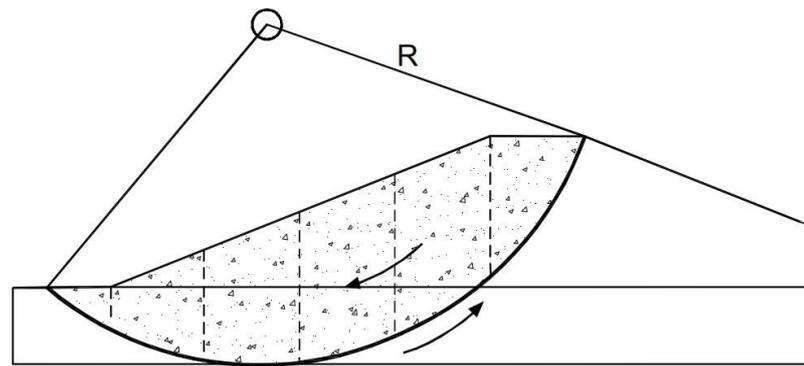
La aplicación de cargas sobre la corona del talud provoca un aumento en las fuerzas actuantes en la masa de suelo, lo cual puede llevar a la falla del talud si estas cargas no son controladas o tomadas en cuenta durante la evaluación de la estabilidad del talud ver figura N° 04.



*Figura 4.* Sobre carga en la corona del talud.

Fuente: Montoya, 2009

En los suelos o rocas blandas, las superficies de falla a deslizamiento, tienden a tener una superficie curva. A estas superficies se les conoce como “círculos de falla o superficies de falla rotacionales”. En los análisis de estabilidad, se debe determinar la localización de la superficie crítica de falla y el factor de seguridad a lo largo de esta superficie ver figura N° 05.



*Figura 5.* Las fallas circulares son muy comunes en taludes de materiales de suelo y roca blanda.

Fuente: Suárez, 2009

### 1.1.5.3 Deslizamientos de los botaderos

Cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo. Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo, y por lo general lento, de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales (Toro y Valencia, 2012).

Los deslizamientos pueden producirse de distintas maneras, es decir en forma lenta o rápida, con o sin provocación aparente, etc. Generalmente se producen como consecuencia en el pie del talud. Sin embargo, existen otros casos donde la falla se produce por desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua, etc.

Los tipos de fallas más comunes en taludes son:

- Deslizamientos superficiales (creep)
- Movimiento del cuerpo del talud
- Flujos

### 1.1.6 Magnitud sísmica

La magnitud es la medición cuantitativa de la energía liberada en un sismo. Para una valoración objetiva de la magnitud de los terremotos es necesario

utilizar instrumentos adecuados como los sismógrafos y acelerógrafos. Cualquiera sea la ubicación de estos instrumentos con respecto al lugar del sismo el valor de la magnitud es aproximadamente el mismo. Sin embargo, un terremoto con una sola magnitud puede tener muchas intensidades que irán disminuyendo a medida que se alejen del epicentro sísmico. Existen varias escalas para medir la magnitud de los sismos. Entre las principales están la magnitud local, la magnitud superficial, la magnitud de ondas de cuerpo y la magnitud momento. En la mayoría de los casos esta relación se especifica a través de la relación de Gutenberg-Richter,  $\log N = a - bM$ , donde  $N$  es el número promedio de 19 sismos de magnitud mayor o igual a  $M$ , y  $a$  y  $b$  son constantes propias de la fuente considerada. (Chambers y Higman, 2011).

#### **1.1.6.1 Peligro sísmico**

El comportamiento sísmico en taludes rocosos con discontinuidades se rige en gran medida por la distribución geométrica y propiedades mecánicas de las discontinuidades. El análisis de peligro sísmico probabilístico consiste en la evaluación de la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado (Che et al., 2016), en general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo, tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli Modificada u otro parámetro de interés para el diseño ingenieril. Evaluación y caracterización de las fuentes sísmicas.

- Estimación de los parámetros de sismicidad local.
- Atenuación de las ondas sísmicas.
- Clasificación de sitio para diseño sísmico.
- Modelos de atenuación.
- Determinación del peligro sísmico.
- Cálculo de espectros de peligro uniforme.
- Estimación probabilística del OBE (Operating Basis Earthquake).

- Estimación probabilística del MCE (Maximum Considered Earthquake).
- Espectro de diseño.
- Cálculo de espectros con diferentes amortiguamientos.

### 1.1.6.2 Zonificación Sísmica

En la norma peruana E030 para el diseño sísmo resistente se describe cuatro (04) zonas con valores de  $Z$  que oscilan entre (0.10 - 0.45) g, donde “g” es la aceleración de la gravedad. Según el Reglamento Nacional de Edificaciones. Como se aprecia ver figura N° 06.



Figura 6. Zonificación Sísmica (Norma E 030)

Fuente: Reglamento Nacional De Edificaciones, 2016

### 1.1.7 Estabilidad del depósito de desmonte

Se toma los criterios geotécnicos y parámetros físicos que, como el criterio de rotura del material, cohesión, peso específico, ángulo de fricción interna (Berrones et al., 2003).

#### 1.1.7.1 Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb

El criterio de rotura de *Mohr-Coulomb*, inicialmente pensado y utilizado para el estudio en suelos, este es un criterio de rotura lineal, Aunque el comportamiento de la roca en un ensayo triaxial no concuerda con un modelo lineal, *Mohr-Coulomb* en la actualidad usado mucho por su comodidad y sencillez (Herrera y Rodríguez, 2000).

Generalmente para el caso del criterio de *Mohr-Coulomb*, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano. En este caso la superficie de fluencia es de la forma  $\tau = f(\sigma)$ .

La ecuación matemática es:  $\tau = c + \sigma n \tan \varphi$

Donde:

$c$ : es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

$\varphi$ : es el ángulo de fricción

$\tau$ : es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura

$\sigma n$ : es la tensión normal que actúa en el plano de rotura

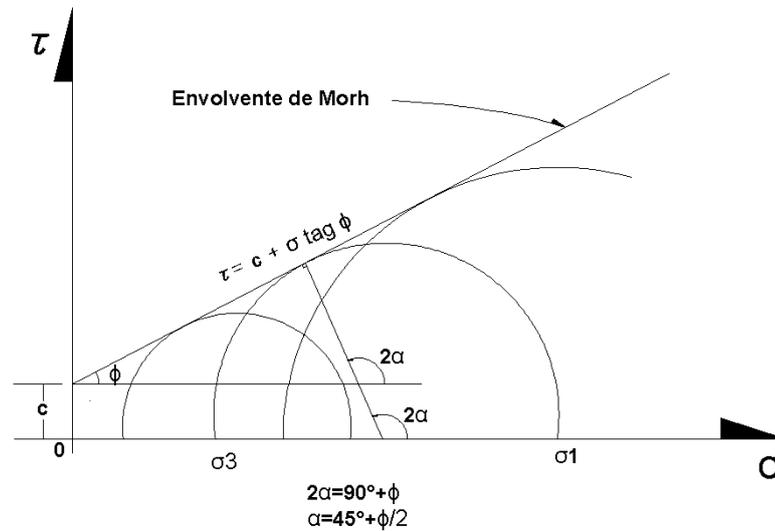


Figura 7. Tensiones normal y tangencial, Permite determinar (c y  $\phi$ ) y características de deformación.

Fuente: Envolvente de *Mohr-Coulomb*

### 1.1.7.2 Ensayo Triaxial

Los ensayos triaxiales Permite determinar la cohesión y Angulo de fricción interno (c y  $\phi$ ) y características de deformación como se menciona. La estabilidad de un macizo rocoso depende, básicamente, de su configuración geométrica y sus propiedades físicas, tales como densidad, Angulo de rozamiento y cohesión. Estos dos últimos parámetros pueden representarse en el siguiente gráfico ver figura N° 05:

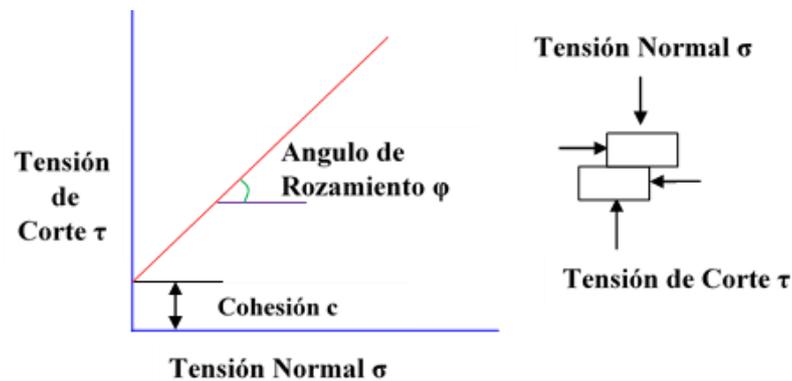


Figura 8. Densidad, ángulo y rozamiento y cohesión en estabilidad de taludes.

Fuente: *Hooke Brown*

### 1.1.7.3 Factor de seguridad

Es una relación entre la carga ultima sobre la carga admisible el cual se tiene valores estandarizados para determinar si una estructura es estable o inestable.

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

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistencia disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

La selección de un valor F mayor implica una disminución de riesgo, pero supone en general taludes más tendidos.

El valor  $F = 1$  señala la frontera en la cual un talud es, o deja de ser, estable. La necesidad de utilizar valores de  $F > 1$  surge como consecuencia de los siguientes factores:

La posible existencia de características geológicas y estructurales adversas que afectarían a la estabilidad del talud y que no han sido detectadas en el estudio geotécnico. Los posibles errores en los ensayos para caracterizar los materiales del macizo. Determinación y variabilidad estacional de las presiones de agua en el talud (Rojas, 2015).

### 1.1.7.4 Tipo de falla por superficies compuestas

En general, estas superficies están predeterminadas por las presencias de heterogeneidades dentro del talud.

En general es el predominio de las partes circulares o planas el que sirve para clasificar la falla como rotacional o traslacional, quedando la

categoría de fallas compuestas para los casos en que ambas curvas se reparten más o menos por igual. Las fallas compuestas suelen producir la distorsión de los materiales, que es típicas de las fallas circulares. (Alva, 2005)

#### **1.1.7.5 Probabilidad de falla**

Schuster y Kockelman proponen una serie de principios generales y metodologías para la reducción de amenazas de deslizamiento utilizando sistemas de prevención, los cuales requieren de políticas del Estado y de colaboración y conciencia de la empresa Minera.

La estabilización de deslizamientos activos o potencialmente inestables es un trabajo relativamente complejo, el cual requiere de metodología de diseño y construcción. En los botaderos de la mina Cuajone son materiales inestables tal como se ha modelado donde FS. Son menores a 01 y con el monitoreo del talud del botadero N° 05 de la zona Inchupampa el desplazamiento total, horizontal y vertical es 2.9. 3.09 y 3.9 cm/día (Cori et al., 2011).

La probabilidad de falla no debe ser vista un como un suplemento no como un reemplazo del factor de seguridad. Calcular el factor de seguridad y la probabilidad de falla es mejor que calcular solo uno de los dos. Aunque el factor de seguridad y la probabilidad de falla pueden calcularse con alta precisión, juntos son de importancia y cada uno eleva el valor del otro (Reynares et al., 2003).

Sin embargo, las ventajas y el valor que los análisis de confiabilidad proporcionan a los análisis de estabilidad, aun estos no son muy utilizados en la rutina práctica de la ingeniería geotécnica, y algunas de las razones son:

Primero, comúnmente se percibe que utilizar la teoría de confiabilidad requeriría mayor información, tiempo y esfuerzo, que los disponibles en la mayoría de las circunstancias

Segundo, la teoría de confiabilidad contiene términos y conceptos que no son familiares para la mayoría de los ingenieros geotécnicos.

A lo largo del tiempo la teoría de confiabilidad se ha ido desarrollándose, y ha recibido importantes contribuciones por diversos investigadores tales como

#### **1.1.7.6 Programa computacional *RocData***

Uno de los mayores obstáculos que se encuentran en el campo de los modelos numéricos en la mecánica de rocas, es el problema de la definición de datos referentes a las propiedades de los macizos rocosos.

El método analítico propuesto en el siguiente trabajo permite determinar, en de forma aproximada, la distribución de los esfuerzos regulares y tangenciales que actúan sobre una superficie de falla plana potencial, y por lo tanto el factor de seguridad en pendientes tomando en cuenta las ecuaciones de equilibrio y usando rotaciones de aristas para el caso bidimensional (Bongiorno, 2011).

Algunos de los puntos anteriormente confusos en el criterio de rotura de *Hoek-Brown* quedan ahora resueltos, entre ellos se destacan:

- La aplicabilidad del criterio a macizos rocosos muy poco resistentes, y
- El cálculo de los parámetros equivalentes del criterio de *Mohr-Coulomb*, a partir de los de la envolvente de rotura de *Hoek-Brown*.

El programa *RocData* proporciona una puesta a punto sencilla e intuitiva del criterio de rotura de *Hoek-Brown*, que permite al usuario una fácil obtención de estimaciones fiables de propiedades del macizo rocoso, así como también la visualización de los efectos que el cambio de parámetros del macizo rocoso produce sobre la envolvente de rotura.

La tarea de determinar propiedades del macizo rocoso no es normalmente un fin en sí mismo. Esta tarea se realiza para proporcionar datos de entrada a los programas de análisis numérico, que requieren definición de las propiedades del material para ejecutar cálculos de estabilidad o análisis de tensiones.

Las propiedades determinadas por *RocData* se pueden emplear como datos de entrada en programas de análisis numérico tales como Phase2 (análisis

de elementos finitos y diseño de soportes para excavaciones) o Slide (análisis de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite) (Beneyto et al., 2001).

#### **1.1.7.7 Programa computacional Slide**

Actualmente, existe una infinidad de herramientas computacionales para el análisis de estabilidad de taludes. En esta oportunidad se eligió el software Slide versión 6.0 distribuido por la empresa *Rocscience*. El programa calcula los factores de seguridad para distintas geometrías, dibujadas por el propio usuario o importadas desde algún programa de dibujo. Se pueden analizar tanto suelos como rocas, por ello, el software incluye los criterios de rotura. Por otro lado, incorpora las funciones de anisotropía y otras variaciones como condiciones de sobrecarga, estructuras de contención, suelo grampeado y geotextiles. Por otro lado, se puede seleccionar entre diversos métodos de análisis, tales como: *Fellenius*, *Bishop* simplificado, *Janbu* generalizado y corregido, *Spencer*, *Morgentern-Price*, entre otros. Además, se pueden realizar análisis estadísticos de sensibilidad y probabilísticos. Slide tiene 2 subprogramas: Slide Compute y el Slide Interpret. El primero se utiliza para calcular el factor de seguridad una vez que se ingresaron todos los datos de entrada. Mientras que el segundo permite identificar la superficie de falla crítica y el centro de giro Slide (Ramos, 2017).

### **1.2 Antecedentes**

Johari (2017), un análisis de confiabilidad del sistema de estabilidad de taludes rocosos considerando todos los parámetros de entrada como Se presenta el parámetro estocástico. Para realizar el análisis de confiabilidad se ha utilizado un sistema cut-set. Para esto propósito, el método de composición secuencial (SCM) como un método poderoso para reducir el cálculo se emplea tiempo y evaluación precisa para determinar los índices de confiabilidad considerando correlaciones. entre modos de falla que se calculan definiendo un margen de seguridad lineal equivalente para cada modo de fallo. Además, se presenta la probabilidad de superficie de falla del sistema 3-D y la probabilidad El modelo se desarrolla para evaluar la probabilidad de falla del talud rocoso.

Bojorque (2016), se presentan los resultados de un análisis, parámetro a parámetro, que afecta el desplazamiento de un talud, cuando es sometida a cargas dinámicas. Se evalúa el efecto de la forma del registro dinámico a través de características como la frecuencia, amplitud y duración. Así también, se investigan las características del suelo considerando el peso unitario, módulo de Young, coeficiente de Poisson, cohesión, ángulo de fricción y amortiguamiento. El desplazamiento de la cresta de un talud puede indicar el desempeño de estabilidad, de ahí que el uso de técnicas numéricas como los elementos finitos contribuye a entender el efecto que podría tener un sismo (carga dinámica) sobre la generación de deformaciones. Métodos tradicionales con el pseudoestático o de Newmark no consideran las características del sismo.

Castro (2006), depósito de materiales estériles provenientes de la explotación de roca caliza a cielo abierto, incluyendo el modelamiento de las estructuras en terrazas y su interacción con el terreno de fundación buscando el análisis de la estabilidad, caracterización geotécnica de los materiales estériles y del terreno

Fernández (2018), los parámetros de resistencia al corte utilizados comúnmente en la mecánica de suelos, siendo suelos que presentan una alta variabilidad. Con el avance de la tecnología, el uso conjunto de métodos determinísticos y probabilísticos permite la incorporación de la variabilidad del suelo dentro de los cálculos. se presenta un análisis probabilístico de estabilidad de taludes utilizando un modelo de variables aleatorias para caracterizar los parámetros resistentes. Para la generación de valores de las variables aleatorias se utiliza la simulación de Monte Carlo la cual además permite la evaluación simultánea de la estabilidad del talud en términos de factor de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad.

Peña (2017), estabilidad de taludes, mediante la utilización de un modelo basado físicamente con la ecuación diferencial parcial HSB (Hillslope-Storage Boussinesq); utilizada para evaluar deslizamientos superficiales, tomando información de: parámetros geotécnicos, perfil de la ladera y precipitación, un uso a los datos meteorológicos que nos brinda las estaciones meteorológicas, para contribuir con la gestión del riesgo por desastres para la protección

Naranjo (2007), se desarrolla un software para simular la fractura miento hidráulico en tres dimensiones en diferencias finitas, que acopla el flujo de fluidos y la deformación

geomecánica de la roca, el modelo considera dos dominios físicos diferentes, el yacimiento o dominio interno, donde ocurre flujo de fluidos y deformación geomecánica

Sobarzo (2011), se puede concluir que es fundamental contar con antecedentes geológicos que permitan caracterizar los posibles planos de deslizamiento y el grado de meteorización del macizo rocoso. Además, es necesario determinar los valores de las propiedades geomecánicas del material por donde se espera que ocurra un deslizamiento

Siva (2016), un método de evaluación de la estabilidad que pueda tener en cuenta el impacto de los cambios estacionales, como la congelación descongelación y el agua de deshielo, la infiltración, etc., es de suma importancia y se considera un requisito inmediato para la geotecnia, para poder predecir adecuadamente la estabilidad de los taludes

Chen (2017), la deformación y las grietas se desarrollaron en la pendiente de corte durante la excavación, y la deformación se extendió a la pendiente natural por encima del corte, dando lugar a serias preocupaciones de seguridad Los resultados muestran que la zona de masa rocosa suelta se extendió mucho más profundamente dentro de la masa rocosa que en otros sitios de la región

Ortiz (2011), desmonte para lo cual se ha estudiado las variables intervinientes como resistencias al corte y a la compresión, permeabilidad, densidad, granulometría, composición química de relaves y desmonte de mina, el factor de seguridad calculado mediante el algoritmo *Bishop*, está por encima de 1.1 en condiciones pseudo-estáticas

Che (2016), estabilización de una pendiente rocosa muy alta y empinada en una masa rocosa muy articulada y fracturada. En este caso, una zona de masa rocosa muy suelta se extendía mucho más allá de la profundidad de rocas similares en la misma región. Estas condiciones únicas no se reconocieron adecuadamente durante la investigación inicial. Por lo tanto, los efectos de los anclajes de cable diseñados empíricamente son limitados y se produjo la inestabilidad de la pendiente. Los resultados de una extensa investigación adicional indican que el macizo rocoso no presentaba discontinuidades pasantes importantes y, por lo tanto, podría tratarse mediante refuerzo con anclajes de cable profundos que se extienden más allá de la zona de aflojamiento. En consecuencia, las medidas de estabilización de taludes incluyeron la instalación de una extensa red de anclajes de cable de hasta 100 m de longitud, y el talud se estabilizó con éxito.

Sanhueza (2013), la comparación de los resultados ha sido llevada a cabo mediante la obtención de los factores de seguridad de las superficies potenciales de falla, a través del empleo del software GeoSlope, considerando los casos más desfavorables y empleando los modelos propuestos por *Fellenius, Bishop y Janbú*

Camacho (2016), el análisis se basa en el cálculo de indicadores potenciales de falla que representan de manera unificada un valor de estabilidad en cada modelo. El procedimiento se realizó a través de simulaciones numéricas en elementos finitos con un modelo elastoplástico tipo Mohr-Coulomb para suelos homogéneos. Se tuvo en cuenta condiciones de flujo permanente y parcial saturación arriba de la superficie de flujo superior en el interior del talud. Finalmente se cuantifica la susceptibilidad a la falla de diferentes geometrías de taludes por medio de la asignación del indicador de estabilidad con lo que se establece un orden de susceptibilidad a la falla de los modelos analizados en función de las características geomorfológicas. El indicador logra cuantificar de una manera unificada la influencia de la trayectoria del flujo en el estado de esfuerzos localizando zonas inestables e identificando los modelos más susceptibles a la falla.

Li (2011), este fenómeno se observa aun cuando los taludes están formados por materiales granulares que obedecen a la ley de *Mohr-Coulomb* lineal. El análisis numérico permite revelar las causas de dicho efecto. Los factores de seguridad alcanzan su valor máximo en los taludes totalmente sumergidos, sean estos cohesivos o granulares

Sanhueza (2013), esta investigación se ha podido, por una parte, complementar la información geotécnica que existe sobre suelos volcánicos chilenos, tales como su conductividad hidráulica y, por otra, se ha podido evaluar la influencia de algunos parámetros de diseño, tales como el espesor de capa del suelo volcánico y la tasa de aplicación del agua residual, en la depuración de aguas residuales domésticas

Trujillo (2012), como una forma alternativa a los métodos convencionales para analizar la estabilidad de taludes, implementa un procedimiento para modelar los flujos de material desagregado que parten de la mecánica de medios continuos (perspectiva Euleriana), propuesta por Iverson y Delinger, esta metodología supone el comportamiento de una mezcla de fluido newtoniano y sólido cuya interacción friccional se representa por la ley de fricción de Coulomb.

Arreygue (2002), el estudio de la inestabilidad de taludes presentes en el escarpe de la falla La Paloma indican que sobre este talud existen movimientos rototraslativos y de caída de bloques. Los movimientos rototraslativos, por sus dimensiones y por las rocas que afectan, se consideran que fueron generados por eventos sísmicos importantes. La caída de bloques está ligada al fracturamiento de ignimbritas soldadas y al efecto de la gravedad. No obstante, bloques de más de 10 m<sup>3</sup> y casi sin vértices están presentes en el escarpe de la falla, los cuales podrían desprenderse y dañar las zonas habitadas si se conjugan con un evento sísmico. El fracturamiento observado también está generando en el talud una serie de grietas paralelas a la falla La Paloma, las cuales tienen aberturas de más de 2m de ancho y se extienden por más de 50m de longitud.

Mora (2012), en este fenómeno intervienen no sólo las características litológicas, geométricas y mecánicas del talud, sino también el régimen de lluvia- evaporación– infiltración del sitio. El cual presentó un deslizamiento durante un período de lluvias intensas. El volumen de este deslizamiento fue de más de 5 millones de metros cúbicos de suelo y ocasionó la obstrucción del cauce del río Grijalva. De este talud se obtuvieron sus características estratigráficas y geométricas y se realizó un muestreo inalterado para determinar las características mecánicas del material del talud. En el análisis de estabilidad se consideró la variación de la cohesión provocada por el humedecimiento y con ello se pudo observar cómo el factor de seguridad del talud evoluciona con el contenido de agua del cuerpo del talud. Mediante el análisis de la infiltración de agua de lluvia y de la estabilidad del talud ha sido posible reproducir el proceso de falla.

Yang (2018), cómo contabilizar racionalmente varios eventos de falla del escenario en la estabilidad de taludes análisis de confiabilidad y cómo identificar eventos clave de fallas que tienen contribuciones significativas a la rotura de taludes son cuestiones críticas en la ingeniería de taludes. En este estudio, estas preguntas son resuelto mediante el desarrollo de un método de simulación basado en computadora eficiente para el sistema de pendientes análisis de fiabilidad. El enfoque propuesto descompone un evento de falla del sistema de pendiente en una serie de eventos de falla de escenario que representan posibles escenarios de falla y calcula sus probabilidades de ocurrencia mediante una sola ejecución de una simulación avanzada de Monte Carlo (MCS) método, llamado simulación de subconjunto generalizada (GSS). Utilizando los resultados de GSS, representante Los eventos de falla (RFE) que se consideran



relativamente independientes se identifican en el escenario. eventos de falla utilizando la técnica de evaluación probabilística de redes.

Neves (2011), en el presente trabajo se hace un análisis de los mecanismos que desencadenan los movimientos para proponer métodos y metodologías de estabilización. Se pudo establecer que los deslizamientos están asociados a diversas y complejas causales y condicionales y que son de dos tipos: estructurales, cuando la rotura es por un bloque de rocas que falla a través de una superficie determinada de deslizamiento, y plásticos, cuando el desplazamiento de la masa de roca o suelos se realiza de manera viscoso - plástica. Los principales riesgos asociados con estos deslizamientos en la mina de Cotoca son la obstrucción y rotura de la red de caminos mineros, la inestabilidad de los cortes, así como las afectaciones en los sistemas de desagüe y drenajes y en las labores de extracción.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

En los procesos de explotación de los recursos mineros, la actividad que se realizaba y por desconocimiento del mismo se realizan sin ningún control geomecánico, y una explotación y extracción de mineral en forma artesanal sin ningún criterio de diseño y control geomecánico lo cual el material de desmonte lo depositaban artesanalmente formando botaderos de desmonte, siendo riesgo de desprendimientos de rocas y deslizamientos de taludes de los botaderos de desmonte.

La Corporación Minera Ananea S.A., en la zona Santa María, viene realizando actividades de explotación y extracción de mineral desde hace tiempo sin las condiciones de diseño y estabilidad, y con poca planificación lo cual conlleva a buscar nuevas áreas de depósitos de desmonte, los cuales están se encuentran en un área reducido que conlleva a movilizar a desprendimiento a lo largo de la superficie potencialmente a deslizamientos.

El planteamiento en el contexto de la realidad es importante tener en cuenta el diseño del botadero, control del comportamiento geomecánico, su estabilidad de talud, y su correcta clasificación, el estudio de inestabilidad provocada por el deslizamiento (traslación) sobre el botadero de desmonte minado, es frecuente encontrar en la zona de estudio ángulos de taludes fuertes que sufren desestabilización, lo encontramos como un problema importante en la práctica de la ingeniería y se encuentra todavía en sus primeras etapas de resolución lo que constituye un desafío para la investigación y es posible estudiar con los principios, métodos e hipótesis que se emplean como por el método de equilibrio de limite o métodos tenso - deformaciones y con el criterio de *Mohr - Coulomb*, el recientemente uso de los programas informáticos han ayudado a mejorar los diseños de los bancos, dando un mejor factor de seguridad para los taludes.

## 2.2 Enunciados del problema

La Corporación Minera Ananea S.A., en la zona Este de Santa María, en las actividades que realiza esta en contacto con la extracción y explotación de minerales, porque para el manejo adecuado en sus labores es necesario implementar y diseñar un botadero de material estéril y se estandarice sus procedimientos.

### 2.2.1 Problema General

¿Cómo el comportamiento físico mecánico que pueda favorecer a la estabilidad en el talud del botadero de desmonte de la zona Este Santa María, Rinconada, Puno-Perú?

### 2.2.2. Problemas Específico

¿Cuál es el comportamiento físico mecánico del botadero de desmonte zona Este Santa María, Rinconada, Puno-Perú?

¿Cuál es el factor de seguridad del talud del botadero de desmonte zona Este Santa María Rinconada, Puno-Perú?

## 2.3 Justificación

Viendo la situación social, las operaciones mineras que se realizan en la Corporación Minera Ananea S.A., La Rinconada, son a pequeña escala y en gran número por la cantidad de contratistas que laboran, y la actividad que se realiza es de gran rentabilidad por las leyes altas del contenido metálico que existe en la mineralización del yacimiento, esto influye a que el personal colaborador que labora, realice el trabajo de extracción se desarrolle de malas prácticas, dejando de lado el conocimiento través de una correcta interpretación toda empresa minera debe de diseñar e implementar un botadero de desmonte que permita a la empresa demostrar un sólido desempeño y protección del medio ambiente.

Tomando como precedente que toda actividad minera es propensa y provoca efectos ya sean positivos o negativos es que se ve necesario buscar y plantear alternativas que garanticen el control de las situaciones que aumente la competitividad y productividad y la seguridad de la empresa Corporación Minera Ananea S.A., La Rinconada.

El presente proyecto busca orientar las acciones dirigidas de implementar y diseñar un botadero de desmonte en la empresa debido a las posibles mejoras que estas implicarían: mejoramiento en el desempeño de extracción de mineral, cumplimiento con las legislaciones aplicables, reducir costos, políticas de accidentes, mejora de su imagen hacia clientes y organismos reguladores y ventajas en el mercado competitivo.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo General**

Determinar el comportamiento físico mecánico adecuado que favorezca la estabilidad del talud en el botadero de desmonte de la zona Este Santa María Rinconada, Puno-Perú.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

Determinar el comportamiento físico mecánico para el botadero de desmonte zona Este Santa María, Rinconada, Puno-Perú.

Determinar el factor de seguridad del talud del botadero de desmonte zona Este Santa María Rinconada, Puno-Perú.

## **2.5 Hipótesis**

### **2.5.1 Hipótesis General:**

El comportamiento geomecánico adecuado favorece a la estabilidad del botadero de desmonte, para el diseño en un depósito de material estéril zona Este-Santa María

### **2.5.2 Hipótesis específicas:**

Mediante los ensayos se determinará el comportamiento geomecánico en el botadero de desmonte zona Este de Santa María – Rinconada, Puno-Perú.

Mediante la determinación del factor de seguridad se establecerá el talud adecuado del botadero de desmonte zona Este de Santa María – Rinconada, Puno-Perú.



## CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Lugar de estudio

Corporación Minera Ananea S.A., La Rinconada, es una empresa de extracción y explotación de mineral, la presente investigación explicada en razón a los hechos de acuerdo a la hipótesis planteada se realizará en la zona de estudio, necesidades, de las que deberán ser aplicables a la situación actual del proyecto, identificado el riesgo de carga y fallas correspondientes como es el botadero de desmote, que se caracteriza por describir las características a tomar en cuenta de deslizamientos y roturas del terreno para el diseño. La investigación se realizará con método descriptivo en cuanto a fenómenos y posibles fallamientos y un factor de seguridad se explicará a través de los métodos y modelos simulados correspondientes.

El presente trabajo se realizó dentro de la jurisdicción del Distrito de Ananea, en la provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno, Perú.

#### 3.1.1 Ámbito, manejo, operaciones tipo desmote

Corporación Minera Ananea S.A., La Rinconada, para el cumplimiento de sus operaciones como empresa minera tiene las siguientes características.

Ámbito:	Empresa minera
Manejo:	Material de desmote
Operaciones:	Recolección y transporte de desmote
Tipo de desmote:	Boloneria, Fracturado y fino

## 3.2 Población

### 3.2.1. Población

Lugares de emplazamiento para el depósito de desmonte cercanos a la mina dentro de la concesión minera del proyecto de la Corporación Minera Ananea S.A., que abarca área de la zona Este de Santa María.

## 3.3 Muestra

### 3.3.1. Muestra

Lugar del proyecto del depósito de desmonte de la Corporación Minera Ananea S.A cerca al botadero de la zona Este de Santa María.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

$$N=416, Z=1.96, p=0.5, q=0.5, e=0.03$$

$$n= 15$$

### 3.3.2. Fuente recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizarán los métodos de la geotecnia consistente en los siguientes:

- Muestreo en superficie del suelo para determinar propiedades.
- calicatas a partir de superficie y dentro del tajo de los estratos conformantes en su constitución interna del talud.
- Prospección de carácter sísmico tipo SEV.
- Instalación de plataformas de observación del sobre corrimiento o fenómeno de creep.

### 3.3.3. Media Aritmética

La media aritmética es el valor promedio de las muestras y es independiente de las amplitudes de los intervalos. Se simboliza como  $\bar{X}$  y se encuentra sólo para

variables cuantitativas. Se encuentra sumando todos los valores y dividiendo por el número total de datos.

La fórmula general para N elementos es:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

### 3.3.4. La varianza y desviación típica

La varianza de unos datos es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de la misma. Se simboliza como  $\sigma^2$  y se calcula aplicando la fórmula que se puede simplificar como:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} - X^2 = \frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_N^2}{N} - X^2$$

La varianza no se puede comparar con la media aritmética, ya que el resultado de la varianza está en unidades cuadradas y el resultado de la media en unidades lineales. Por esta razón, utilizamos la desviación típica, que no es más que la raíz cuadrada de la varianza:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}}$$

## 3.4 Métodos de investigación

### 3.4.1 Enfoque de investigación

La secuencia de actividades que se desarrolló para la realización del presente trabajo que comprende en un enfoque cualitativo, porque se utilizó el razonamiento deductivo, que comienza con la teoría y de ésta se derivan las expresiones lógicas denominadas hipótesis.

### 3.4.2 Tipo de investigación

Para la obtención de la envolvente de rotura del macizo de roca según el criterio de rotura.

Para el análisis de estabilidad mediante equilibrio limite tanto para rocas y suelos se utilizará los criterios de rotura de Mohr-Coulomb y de Hoek&Brown.

Siguiendo el diagrama se tiene el esfuerzo último o límite de resistencia, éste es la máxima ordenada de la curva esfuerzo – deformación y por último el punto de ruptura o esfuerzo en el punto de ruptura, donde el material colapsa. Los parámetros graficados en el diagrama esfuerzo – deformación son:  $\sigma$ , esfuerzo aplicado en el plano perpendicular al eje axial Y,  $\epsilon$ , deformación unitaria, a deformación unitaria resulta de la relación:

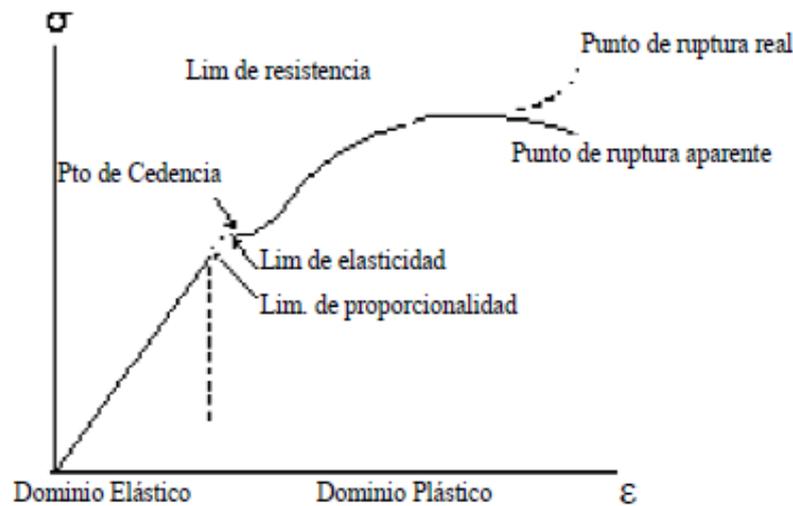


Figura 9. Diagrama esfuerzo – deformación.

Fuente: Singer. (1982)

### 3.4.3 Alcances de la investigación

La información existente sobre estabilidad de taludes competentes al sector minero se recopila y analizan para las definiciones y aplicaciones de diseño y estabilidad de botaderos. Lo cual permitió conocer y desarrollar las actividades y los procesos que involucran en la estabilidad del talud del botadero, así como su aplicabilidad y los requisitos legales del área de estudio.

Se realizó una descripción que desarrolla la empresa minera Corporación Minera Ananea S.A., mediante la caracterización de las actividades de extracción de mineral, así mismo la evaluación de depósitos de materiales de desmonte los procedimientos consistieron en el análisis de grado de cumplimiento.

Con la finalidad de iniciar implementaciones en el control de deslizamientos y diseño y altura de botaderos, basados en los reglamentos de explotaciones

mineras, se propone realizar programas de actividades de producción y servicios por la empresa Corporación Minera Ananea S.A., para implementar el diseño y control de botaderos.

- Política de control y manejo de material estéril de operaciones mina
- La identificación de zonas de alto riesgo
- La identificación de los objetivos y metas ambientales

#### 3.4.4 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es adaptable al estudio del comportamiento geomecánico y la estabilidad de taludes en el proyecto de investigación especialmente en las zonas de mayor inestabilidad especialmente en las épocas de avenidas de aguas por precipitación pluvial, que tiene una estructuración de tipo que describe con minuciosidad el fenómeno del deslizamiento en cada una de sus fases, tratando de explicar convenientemente la mecánica del falla del talud natural como la combinación del talud realizado por la sobre carga de material adicionando para ello la resistencia de talud a corte del terreno asociado a la determinación del factor de seguridad o factor de trabajo del talud en las condiciones impuesta por el relieve topográfico y la geotécnica interna y externa, para ello se tomara en referencia el siguiente esquema :

$$O1-----X(t)-----O2-----X(e)$$

Donde:

O1=Observación escalonada que se realizara en las condiciones más seguras en la zona impuesta a las características geológicas.

O2=Observación progresiva que se realiza en las condiciones más desfavorables que está asociado a las inclemencias de la naturaleza de carácter hidrológico y geodinámica.

X (t)=Fenómeno de investigación asociado a las propiedades estáticas y dinámicas del terreno acompañado del modelo geológico y geotécnico.

X (e)=Simulación realizada utilizando programa apropiado a las características del fenómeno a observarse.

### 3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Se han determinar el comportamiento físico mecánico para el botadero de desmonte Es el esfuerzo máximo que puede soportar una roca sin romperse, esta propiedad mecánica de la roca se puede determinar tanto en laboratorio. Resistencia a la compresión simple de los núcleos de pizarra y cuarcita, con resistencias 48,96, 209,54 MPa para la zona Este Santa María, Rinconada, Puno-Perú.

Para la determinación del factor de seguridad del talud del botadero de desmonte zona Este Santa María Rinconada, Puno-Perú. Para el análisis de estabilidad de taludes se ha empleado exclusivamente el método simplificado de *Bishop*, debido a que, los valores de los factores de seguridad obtenidos mediante dicho método para superficies de falla circulares difieren en un 5% a 10% por defecto (es decir, dando un margen conservador de seguridad) de los valores obtenidos empleando métodos rigurosos de análisis son de 1,52, 1,23, (tales como el de Spencer o el de *Morgenstern – Price*). Por tanto, para fines prácticos, el método simplificado de *Bishop* es satisfactorio.

#### 3.5.1 Deposito de material de desmonte para deposición final

##### (1) diagnóstico inicial

La situación actual de la empresa el objetivo es conocer la actividad de la empresa y los procesos de explotación fundamental y su extracción de material y método de trabajo y manejo y disposición de material de desmonte

##### (2) identificación

Se identificó impactos ambientales causados por la actividad de explotación minera que generan mayor repercusión y preocupación en los depósitos y botaderos existentes y generan planes de acción que mitiguen en daño ambiental y actividad minera. Comportamiento geomecanico de deslizamiento del botadero

##### (3) Diseño y planes de manejo

Elaborar un plan de control y diseño de un botadero de desmonte con el objetivo de desarrollar estrategias en el control geomecanico de deslizamientos para mitigar daños al ambiente y las operaciones que realizan en la zona de trabajos estas etapas consta.



- Plan de diseño de botadero ubicación acorde a las necesidades al sistema de explotación
- Manejo de material estéril de la explotación de mina
- Medidas de control de deslizamientos

#### **(4) Resultados**

Con el objetivo de demostrar los resultados en la implementación de control y deslizamiento de los botaderos de desmonte los planes y propuestas en este trabajo de grado es beneficiar a la empresa es:

- Realizar el diseño acorde a las necesidades de la empresa minera
- Planificar la implementación en el control de deslizamiento de los botaderos en la empresa minera.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Identificación de control de deslizamientos

Los datos utilizados se obtuvieron mediante observaciones directas de las actividades que realiza la empresa minera en la explotación y extracción de minerales que en los diferentes procesos y actividades compete a este estudio. Adicionalmente, la metodología y responsables para el análisis de estabilidad de depósitos de desmonte como su emplazamiento y capacidad de descarga de material transportado y la disponibilidad de área para ubicación de bancos previa evaluación de las condiciones económicas y geológicas, calcularemos el factor de seguridad estático y pseudoestático de los diseños de ambos depósitos con ayuda del programa *Rock Science – Slide*, el método a utilizar será el de *Bishop y Morgenstern y Price*. Los diseños de los depósitos fueron realizados en el programa *MineSight 3D*.

### 4.2 Estabilidad de talud

#### 4.2.1 Deformación

La deformación de la roca pizarra y cuarcita, como la fuerza por unidad de superficie que soporta o se aplica sobre un cuerpo, entre la fuerza aplicada y la superficie en la cual se aplica, un cuerpo no genera el mismo esfuerzo sobre cada una de las superficies del cuerpo, pues al variar la superficie varía la relación fuerza superficie, cuando se somete los núcleos de roca a una carga en ambos casos estas tiende a una ruptura, por lo que al estudiar su deformación mediante gráficas conocidas como Esfuerzo-Deformación, como se muestran en las tablas 1, 2, de la roca Pizarra y cuarcita con los datos obtenidos en laboratorio mediante ensayos sometidos a esfuerzos se hizo un análisis gráfica.

Tabla 1

*Esfuerzos sometidos de la roca pizarra en laboratorio*

ID	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Relación (L/D)	Carga (Kg-f)	Factor de corrección		UCS (Mpa)	UCS Corregido (Mpa)	UCS Corregido (Kg- f/cm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura
						Relación D/L	$\phi$ Brown				
<b>UCS-01</b>	4,46	8,94	15,623	2,004	9 520	1	0,977	59,76	58,42	595,76	local
<b>UCS-02</b>	4,45	8,91	15,553	2,002	13 670	1	0,977	86,19	84,22	858,81	matriz
<b>UCS-03</b>	4,45	8,9	15,553	2	10 340	1	0,977	65,2	63,7	649,51	matriz

Lo que se muestra en la tabla Nro. 01, son los resultados obtenidos en el laboratorio FIM-UNA-Puno.

Tabla 2

*Esfuerzos sometidos de la roca cuarcita en laboratorio*

ID	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Relación (L/D)	Carga (Kg-f)	Factor de corrección		UCS (Mpa)	UCS Corregido (Mpa)	UCS Corregido (Kg- f/cm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura
						Relación D/L	$\phi$ Brown				
<b>Cuarcita 1</b>	4,46	8,94	15,623	2,007	35 410	1	0,977	222,27	217,34	2216,26	matriz
<b>Cuarcita 2</b>	4,45	8,93	15,553	2,007	12 840	1	0,977	80,96	79,13	806,89	matriz
<b>Cuarcita 3</b>	4,47	8,91	15,693	1,993	26 700	1	0,978	166,85	163,08	1663	matriz

Lo que se muestra en la tabla Nro. 02, son los resultados obtenidos en el laboratorio FIM-UNA-puno.

### 4.3 La Cohesión

“La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo” (Suárez Díaz, 1998, pág. 82). En el escenario de la mecánica de suelos, la cohesión es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en el terreno de la física el mismo término se utiliza para representar la tensión. Por consiguiente, la cohesión se puede definir como la adherencia entre las partículas del suelo debido a la atracción entre ellas en virtud de las fuerzas moleculares internas (Campos Rivera, Gómez Castro, & Torres Flórez, 2006, pág. 39).

### 4.4 El ángulo de fricción ( $\phi$ ).

El ángulo de fricción interna “es la representación matemática del coeficiente de rozamiento”. (Suárez Díaz, 1998, pág. 81) De acuerdo con Bilz (Citado por Suárez Díaz, 1998), el ángulo de fricción depende de varios factores, de los cuales se cuentan entre los más importantes los que se enumeran a continuación:

1. El tamaño de los granos.
2. La forma de los granos.
3. La distribución de los tamaños de granos.
4. La densidad.

Joan Franchi, realiza una explicación amplia, didáctica e interesante del ángulo de rozamiento interno, por medio de una ilustración que ejemplifica el rozamiento sobre un plano de inclinación variable de un sólido de geometría regular. Veamos:

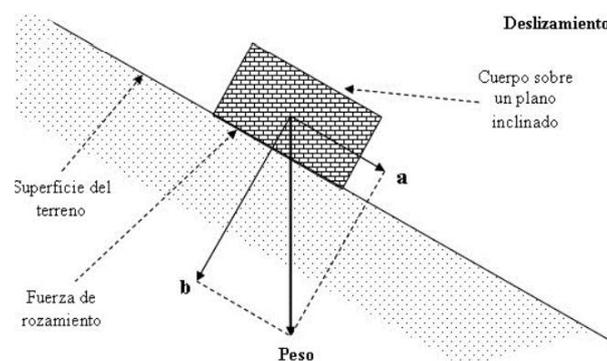


Figura 10. Deslizamiento de un cuerpo sólido – ángulo de rozamiento.

Fuente: Franchi, 2014

## 4.5 Resistencia

Es el esfuerzo máximo que puede soportar una roca sin romperse, esta propiedad mecánica de la roca se puede determinar tanto en laboratorio. Resistencia a la compresión simple de los núcleos de pizarra y cuarcita, muestran los datos en las tablas 01, 02 y 03, que están definidos por:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Dónde:

$\sigma_c$  = Resistencia a la compresión.

F = Fuerza aplicada hasta la rotura

A = Sección inicial de la muestra normal a la dirección de la fuerza.

Tabla 3

*Clasificación de las rocas de acuerdo con su resistencia a la compresión*

Resistencia MPa	en Condición	Descripción
80 a 160	Resistencia alta	Ígneas competentes, metamórficas; y algunas areniscas de grano fino ( <b>pizarra</b> )
160 a 320	Resistencia muy alta	<b>Cuarcitas</b> ; rocas ígneas densas de grano fino

Comisión Federal de Electricidad (1979). Manual de diseño de obras civiles, México.

### 4.5.1 Determinación de parámetros de resistencia deformación

Se detalla los parámetros utilizados, así como también las clasificaciones según Hoek-Brown y Mohr-Coulomb para cada tipo de roca con los datos obtenidos en laboratorio, para el criterio de rotura para considerar satisfactoriamente, al evaluar la resistencia de la matriz rocosa, podemos decir que está en función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material, secuencia de cálculos recomendable.

#### 4.5.2 Criterio de rotura de la roca Pizarra

Se representa las tensiones de rotura para el criterio de rotura de Hoek&Brown. En la figura se aprecia que la función que define el dominio elástico es no lineal. Tal y como se ha indicado para el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, los estados de tensiones encima de la curva están en rotura, mientras que los interiores están en el dominio elástico, y los estados tensionales por encima de la curva son inaccesibles para este determinado caso.

#### Asignación del criterio de resistencia de la roca pizarra

- Sigci: 48.96 MPa Resistencia a la compresión uniaxial intacta
- GSI: 20 Índice de fuerza geológica
- Mi: 7 Parámetro dependiente de la litología de la roca
- D: 1 Factor de perturbación

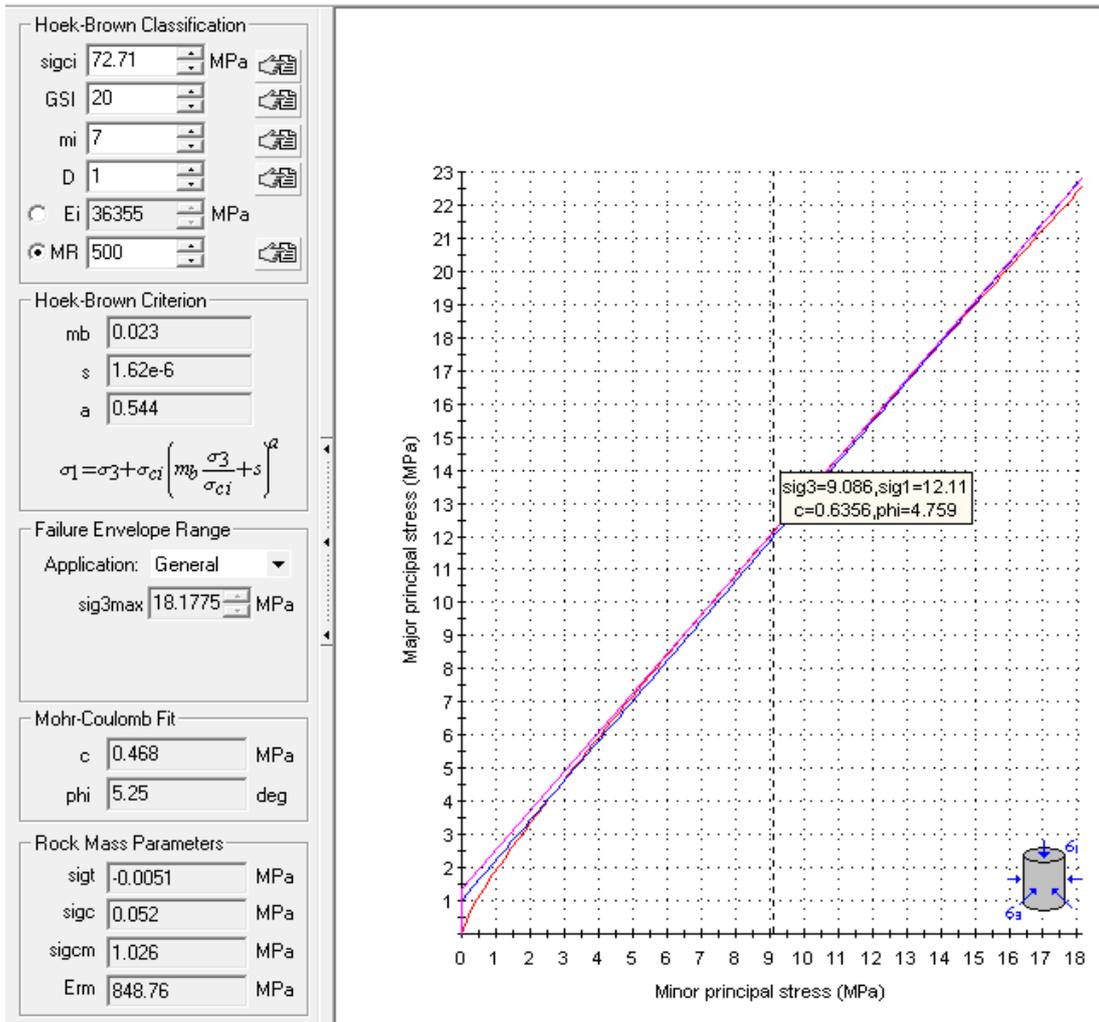


Figura 11. Resultados de la representación del criterio de rotura de *Hoek&Brown*, en el espacio de tensiones normal y tangencial.

- Parámetros ingresados, para Clasificación *Mohr-Coulomb*:
- Cohesión: 2.244 MPa (Cohesión)
- Friction Angle: 8.70 (Ángulo de fricción)
- Tensile Strength: -0.005 (Resistencia a la tracción)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 72.71 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 7 Disturbance factor = 1  
 intact modulus (Ei) = 36355 MPa  
 modulus ratio (MR) = 500

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.023  $s$  = 1.62e-6  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.468 MPa friction angle = 5.25 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.052 MPa  
 global strength = 1.026 MPa  
 modulus of deformation = 848.76 MPa

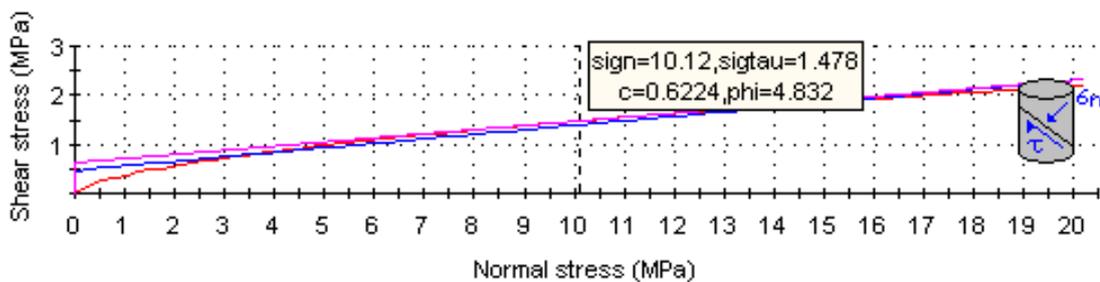


Figura 12. Resultados del análisis de resistencia de la roca pizarra con RocData

**4.5.3 Criterio de rotura de la roca Cuarcita**

Se representa las tensiones de rotura para el criterio de rotura de *Hoek&Brown*. En la figura se aprecia que la función que define el dominio elástico es no lineal. Tal y como se ha indicado para el criterio de rotura de *Mohr-Coulomb*, los estados de tensiones encima de la curva están en rotura, mientras que los interiores están en el dominio elástico, y los estados tensionales por encima de la curva son inaccesibles para este determinado caso.

### Asignación del criterio de resistencia de la roca cuarcita

- Sigci: 209.54 MPa Resistencia a la compresión uniaxial intacta
- GSI: 20 Índice de fuerza geológica
- Mi: 20 Parámetro dependiente de la litología de la roca
- D: 1 Factor de perturbación

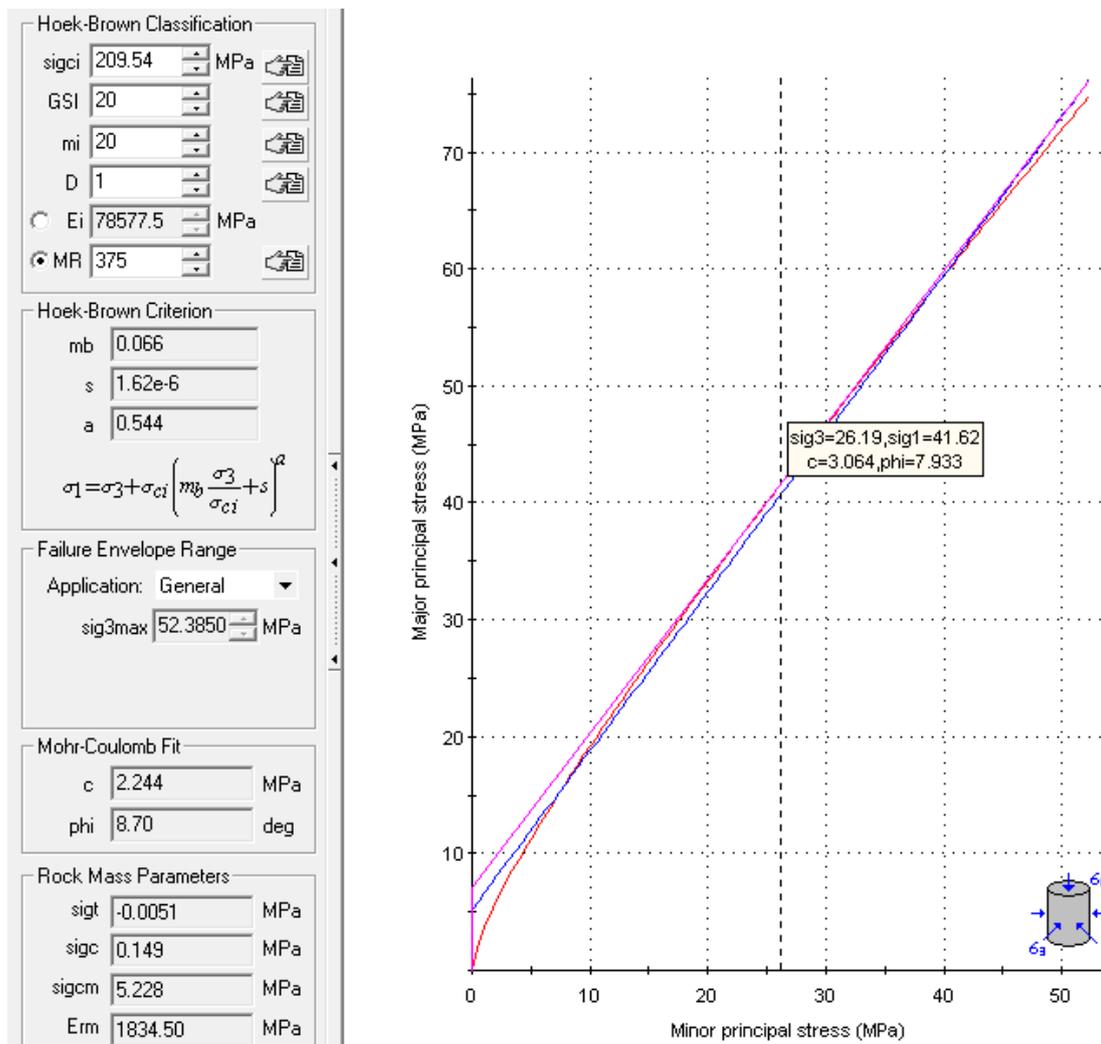


Figura 13. Resultados de la representación del criterio de rotura de *Hoek&Brown*, en el espacio de tensiones normal y tangencial.

- Parámetros ingresados, para Clasificación *Mohr-Coulomb*:
- Cohesión: 2.244 MPa (Cohesión)
- Friction Angle: 8.70 (Ángulo de fricción)
- Tensile Strength: -0.005 (Resistencia a la tracción)

#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 209.54 MPa  
GSI = 20  $m_i$  = 20 Disturbance factor = 1  
intact modulus ( $E_i$ ) = 78577.5 MPa  
modulus ratio (MR) = 375

#### Hoek-Brown Criterion

$m_b$  = 0.066  $s$  = 1.62e-6  $a$  = 0.544

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.244 MPa friction angle = 8.70 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.005 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.149 MPa  
global strength = 5.228 MPa  
modulus of deformation = 1834.50 MPa

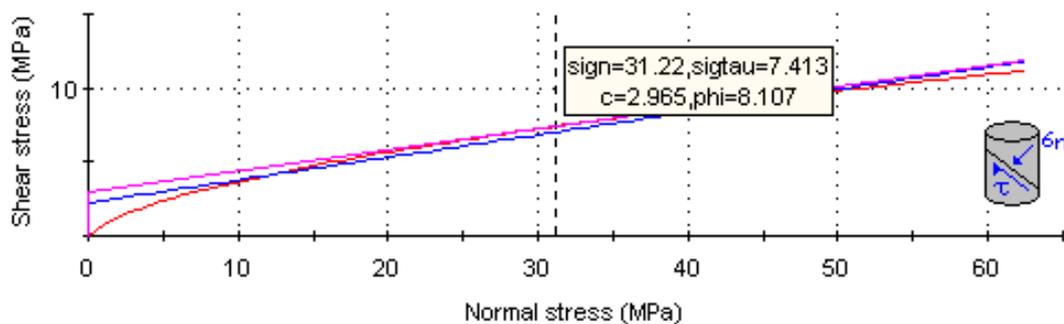
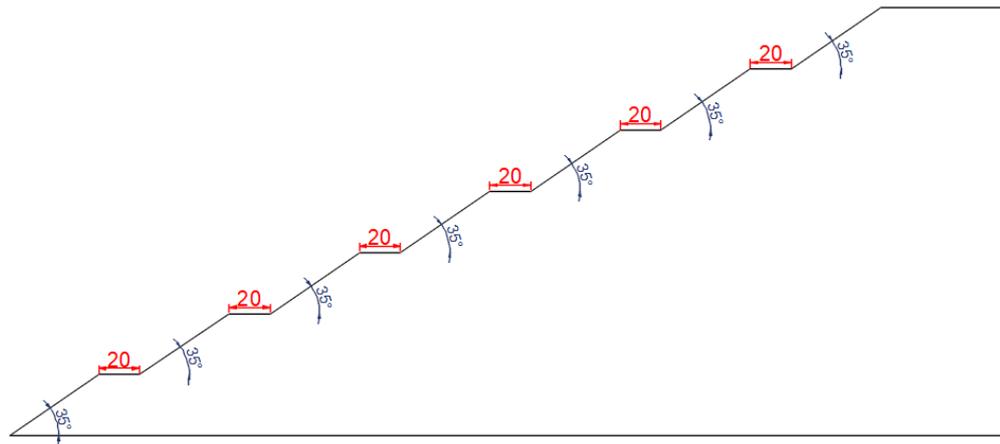


Figura 14. Resultados del análisis de resistencia de la roca pizarra con RocData

## 4.6 Diseño y caracterización de los bancos

### 4.6.1 Análisis para el diseño de bancos.

Los valores de estos parámetros se han seleccionado teniendo en consideración los resultados de los diversos ensayos de campo y de laboratorio, la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas.



*Figura 15.* Diseño depósito de desmonte propuesta para las explotaciones por los contratistas zona Santa María Este Rinconada

Para el diseño y la estabilidad de los botaderos para determinar el adecuado factor de seguridad y favorecer la estabilidad de talud de los botaderos de desmonte donde con los ensayos y simulaciones se ve como debe ser el botadero diseñado para que puedan establecer en la empresa donde se explota y se extrae la minera y donde se busca minimizar los accidentes y desprendimiento y deslizamiento.

#### **4.6.2 Estabilidad del botadero.**

Para determinar la estabilidad de los terrenos se han realizado estudios geotécnicos de estabilidad de taludes para el proyecto de Santa María Rinconada, se trató de hacer el monitoreo diarios y supervisión sobre estabilidad física de pendientes de terrenos, que serán ejecutados por los supervisores de las unidades operativas a fin de evitar posibles deslizamientos y desprendimiento de material y riesgos geológicos, donde existe un temor por parte de la central de cooperativas dueñas de la unidad minera mencionada, evitando el estudio al 100 %. El análisis de estabilidad de taludes (Software Slide ) considera un factor de seguridad de 1,1 para una altura de banco de 25 m ángulos de talud de 35° y para bancos de 25 m. ángulos de talud de 35° y con una resistencia al corte de 1,5 kn/m<sup>2</sup> tomando en consideración las propiedades antes mencionadas.

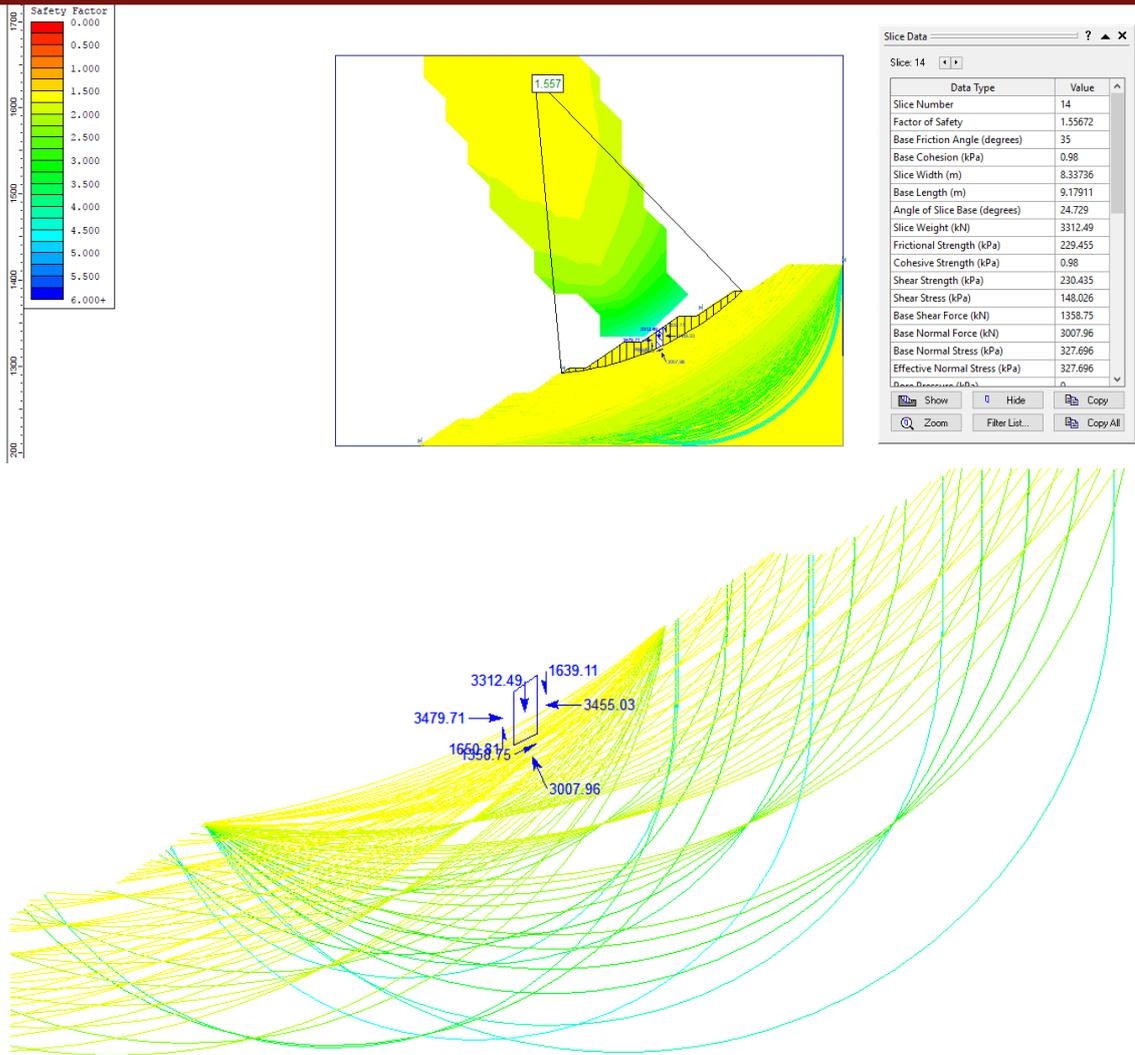
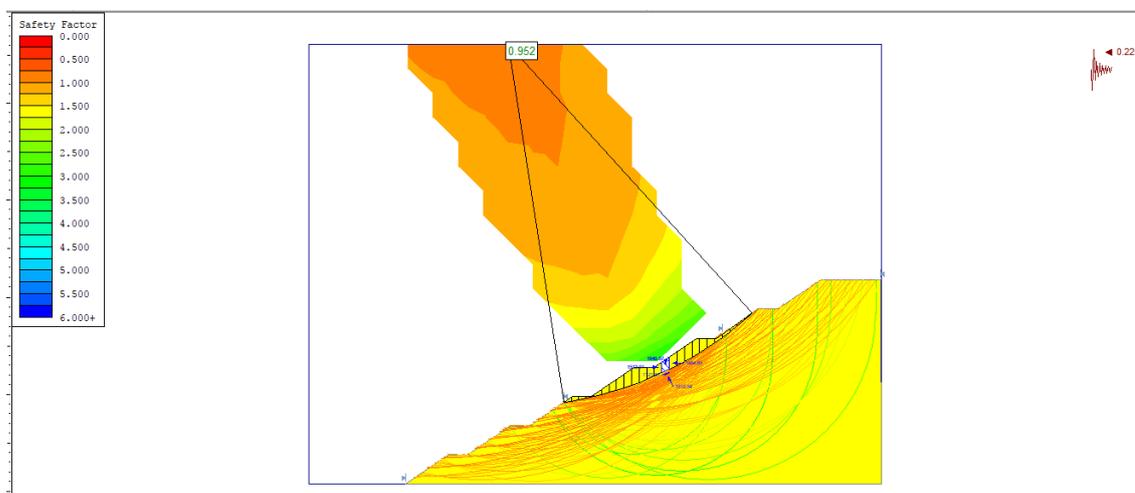


Figura 16. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmorte del diseño como deberían instalarse Santa María Este, por el programa *Rock Science – Slide*, análisis estático.



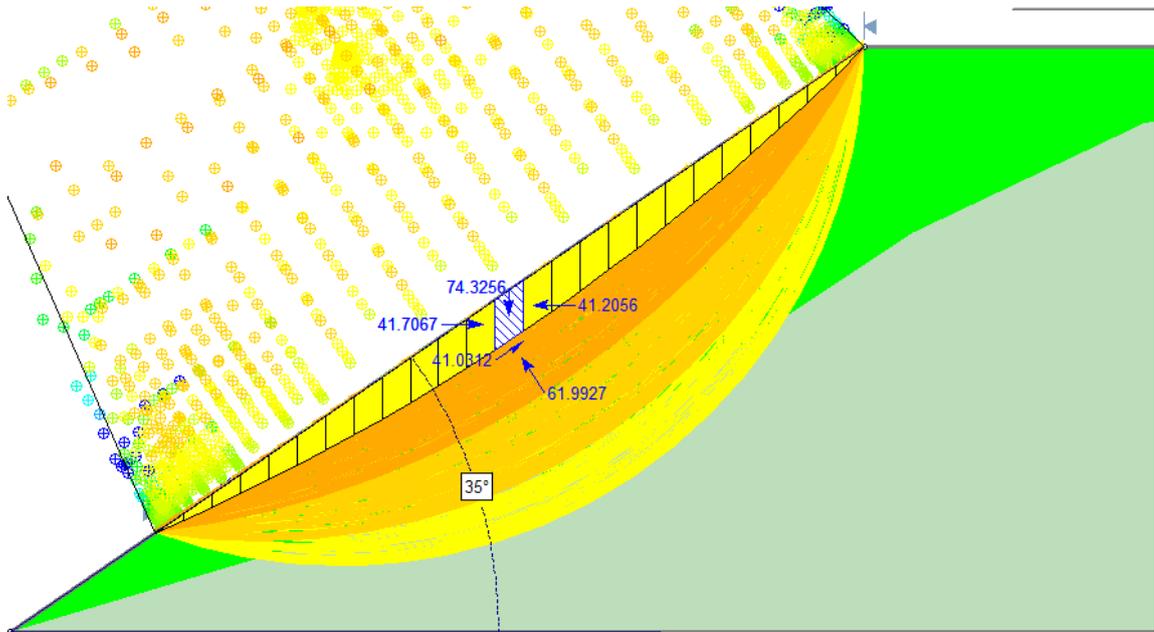


Figura 17. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmorte del diseño, Santa María Este, por el programa *Rock Science – Slide*, análisis pseudoestático.

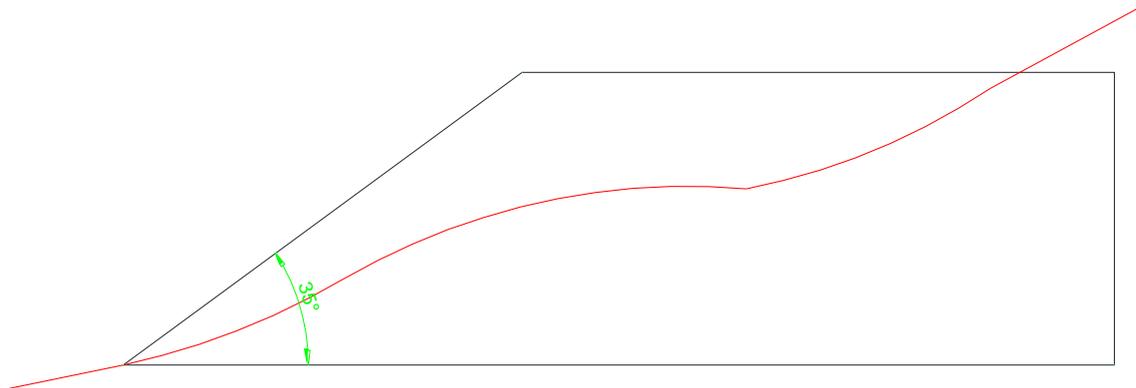
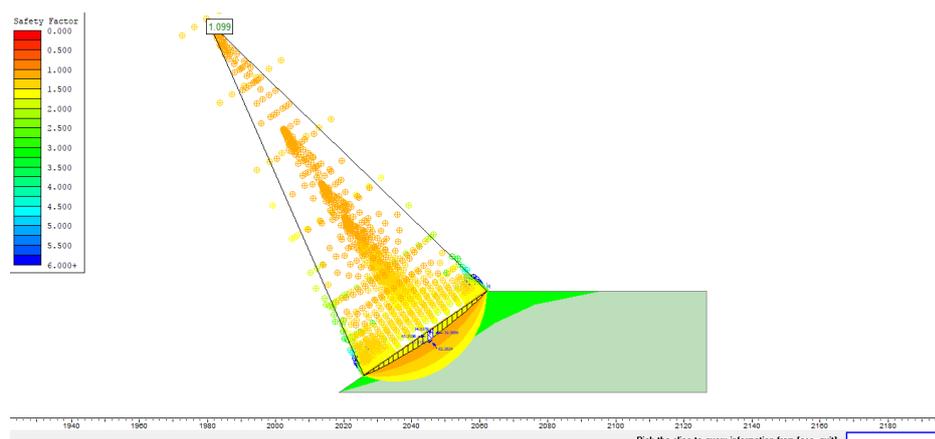


Figura 18. Sugerencia del nuevo diseño propuesta sección depósito de desmorte en zona donde se pueda instar con carga para evitar deslizamientos y cálculo de FS, Santa María Este.



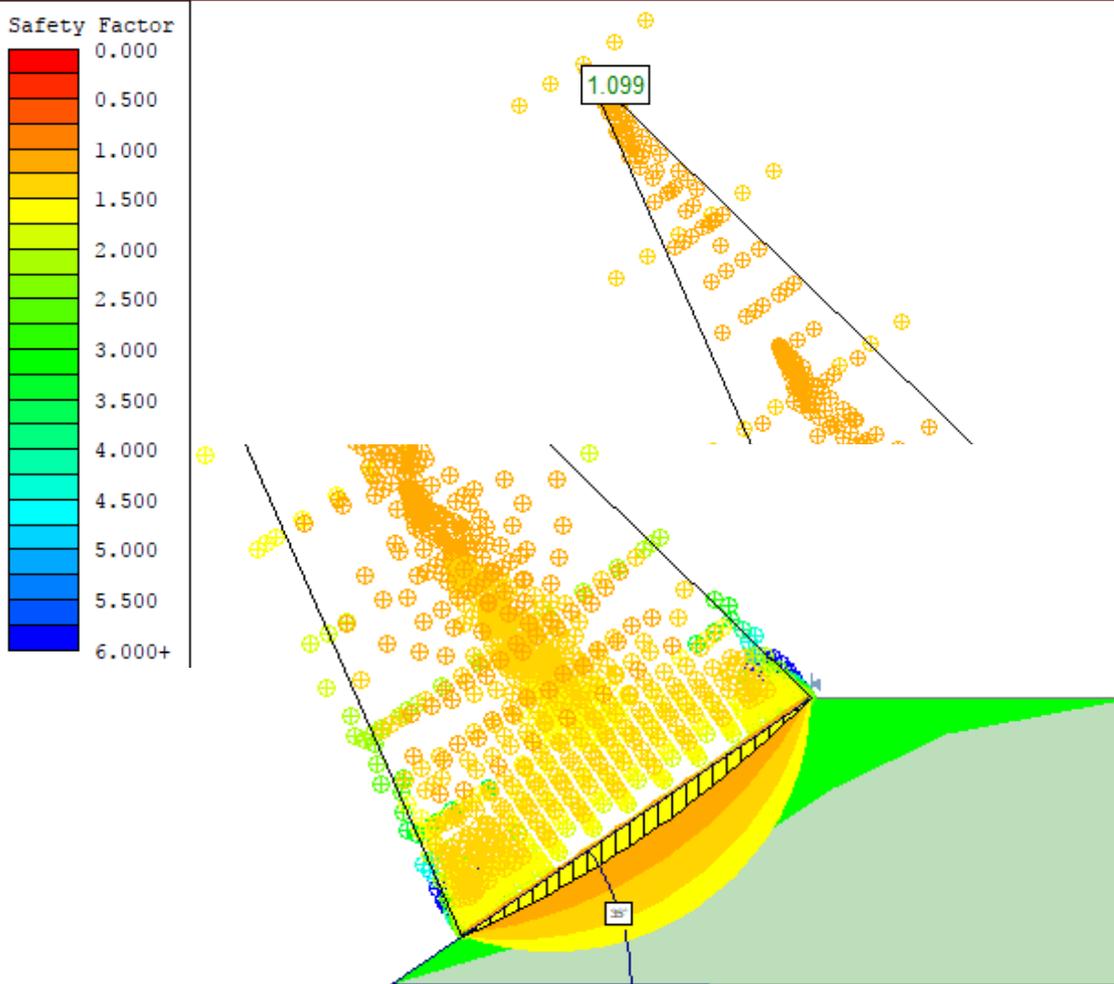
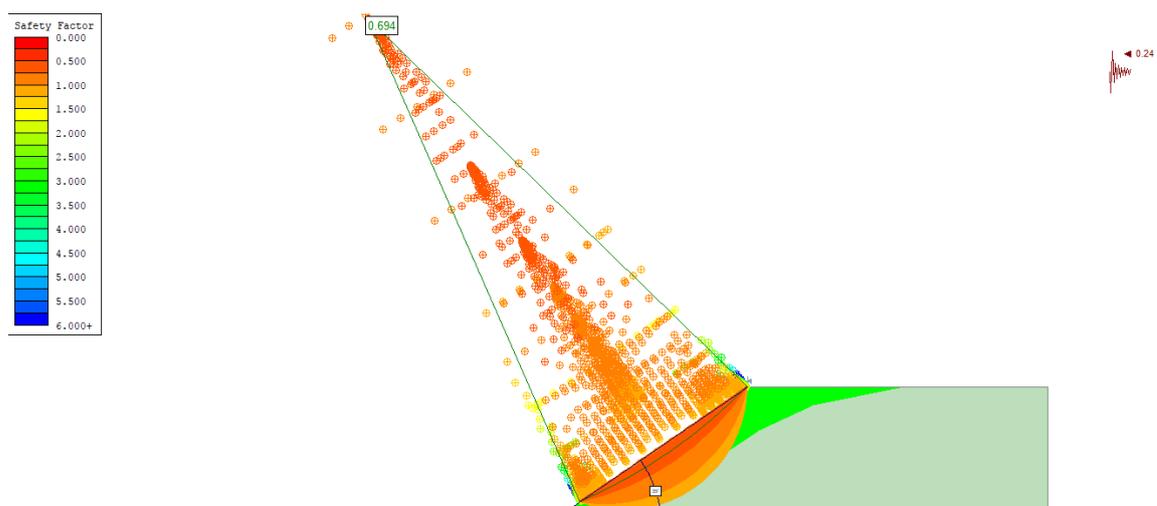


Figura 19. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmorte mediante carga Santa María Este, por el programa *Rock Science – Slide*, análisis estático.



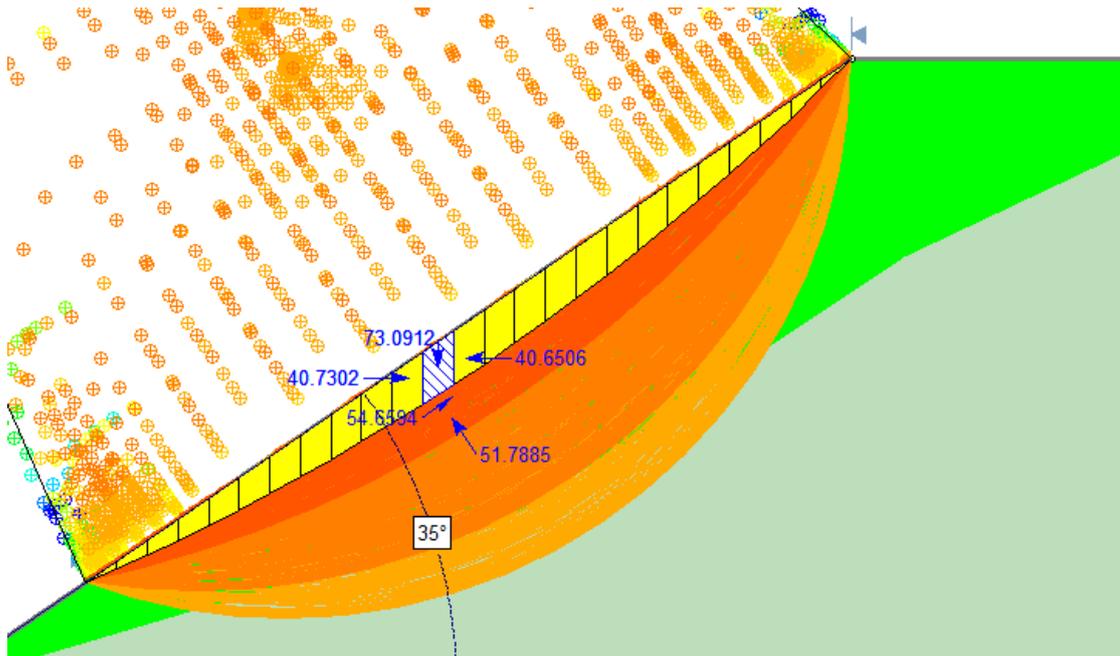


Figura 20. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmorte con carga por el programa *Rock Science – Slide*, análisis pseudoestático.

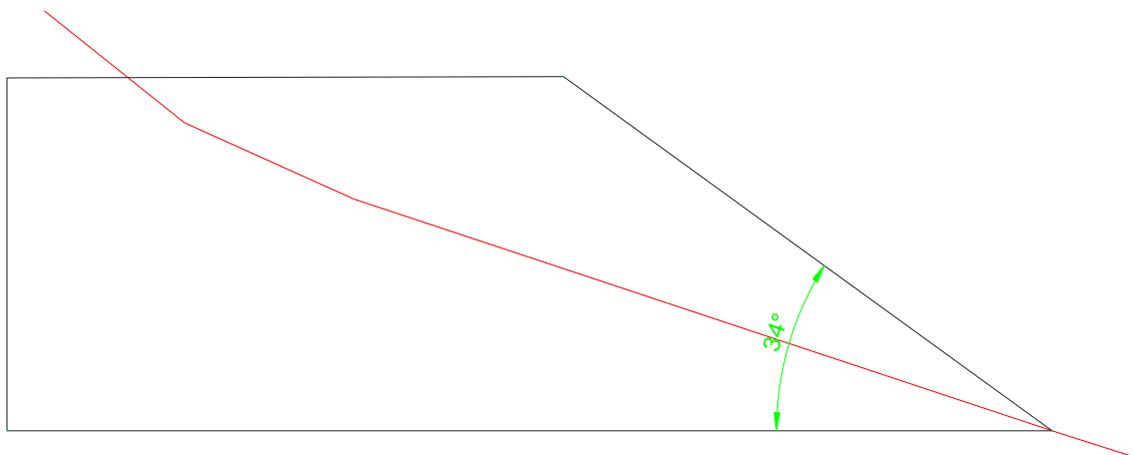


Figura 21. Sugerencia de diseño de sección depósito de desmorte en laderas para los contratistas, Santa María Este.

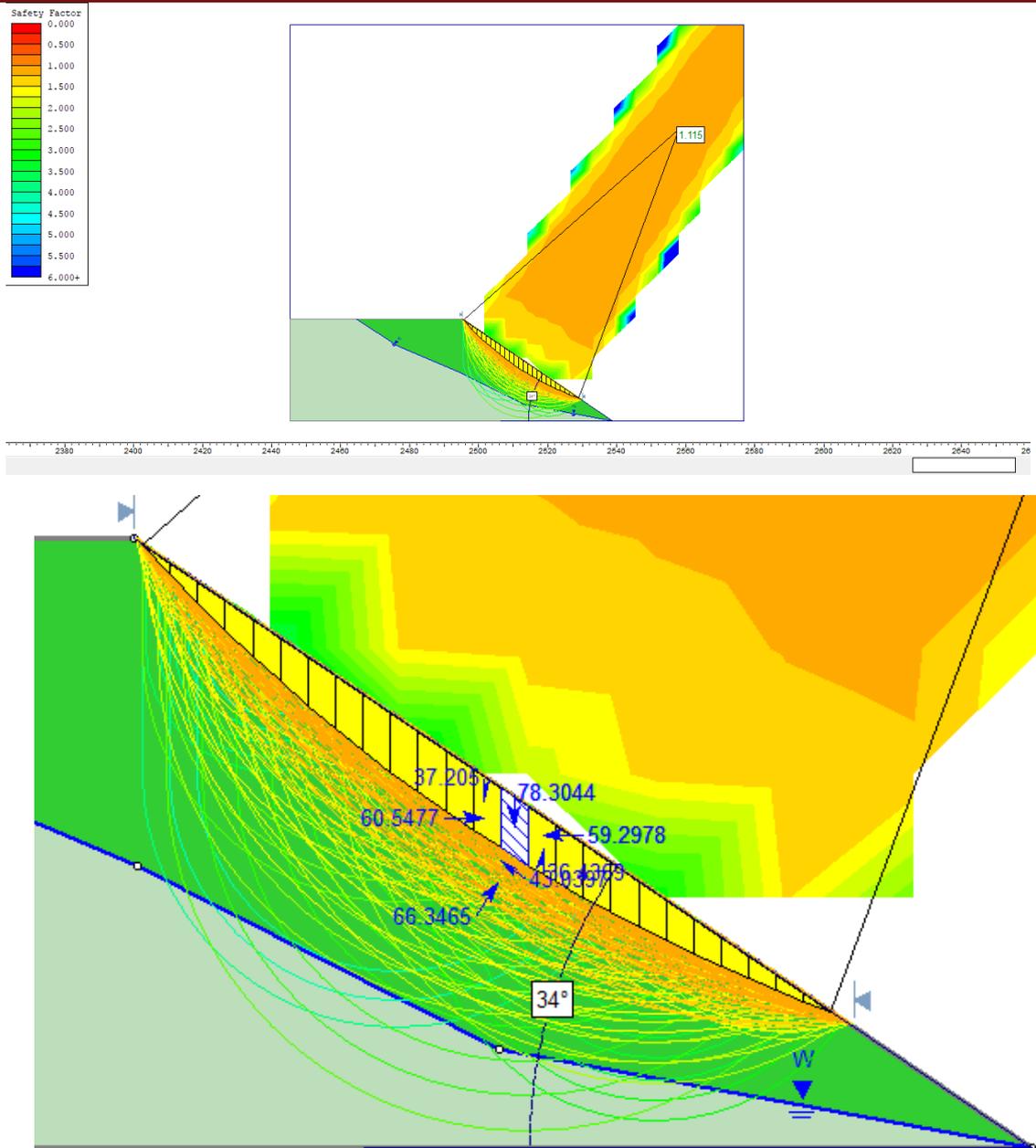
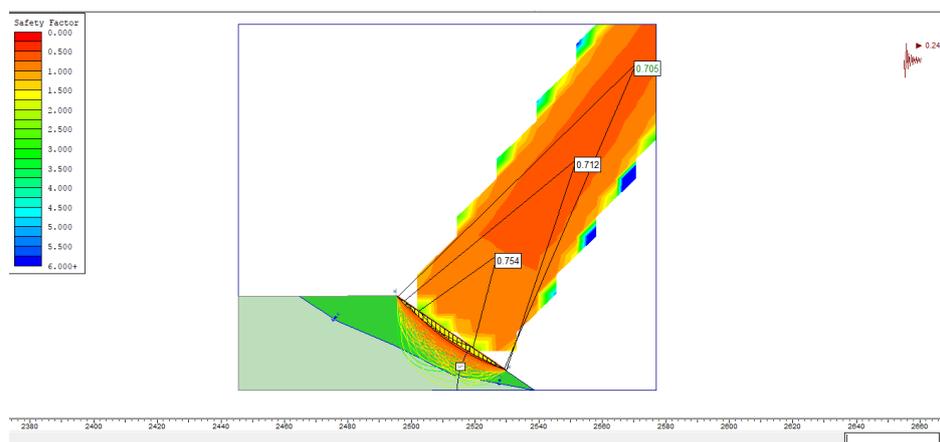


Figura 22. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte en laderas Santa María Este, por el programa *Rock Science – Slide*, análisis estático.





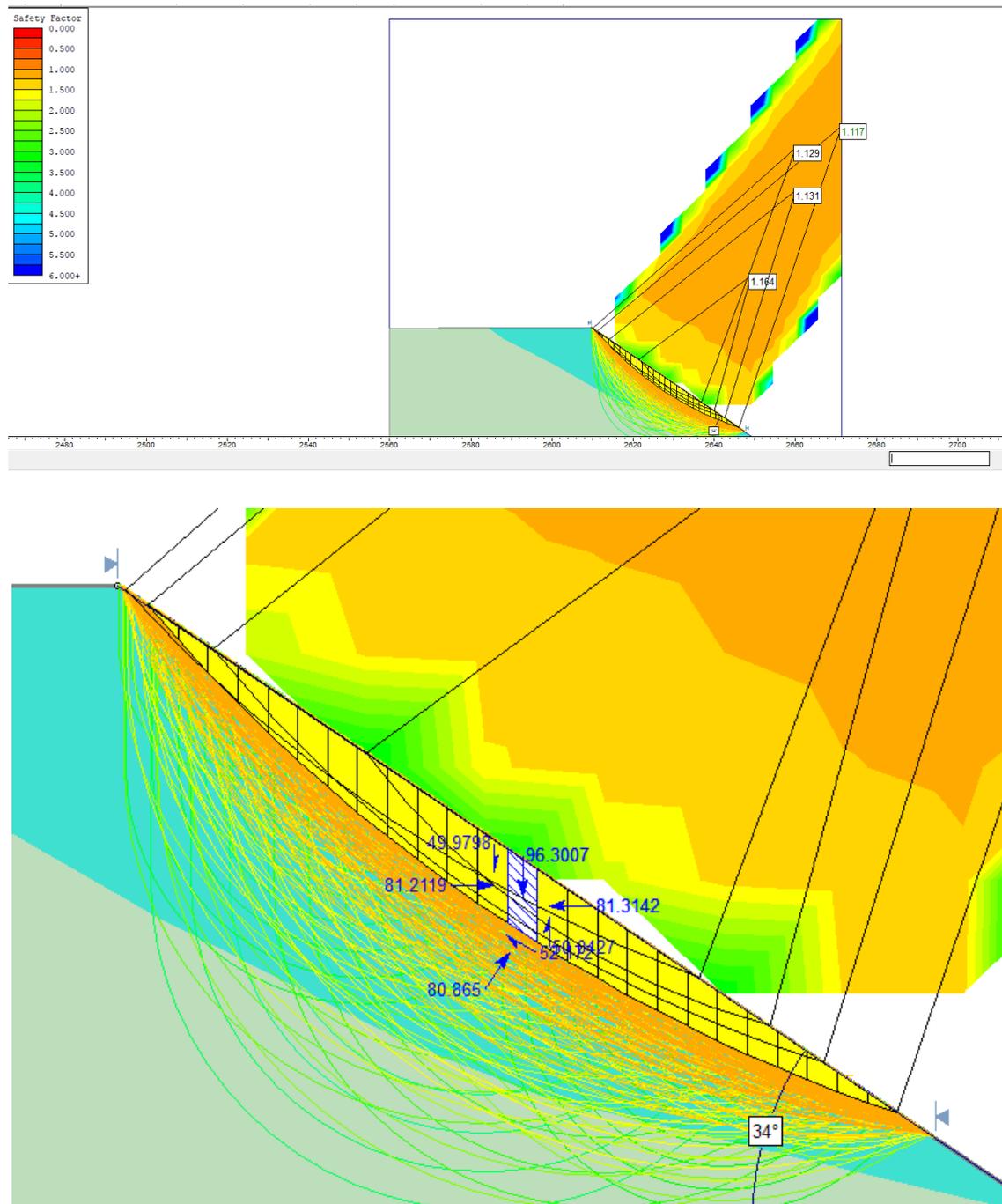


Figura 25. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmorte en las laderas Santa María Este, por el programa *Rock Science – Slide*, análisis estático.

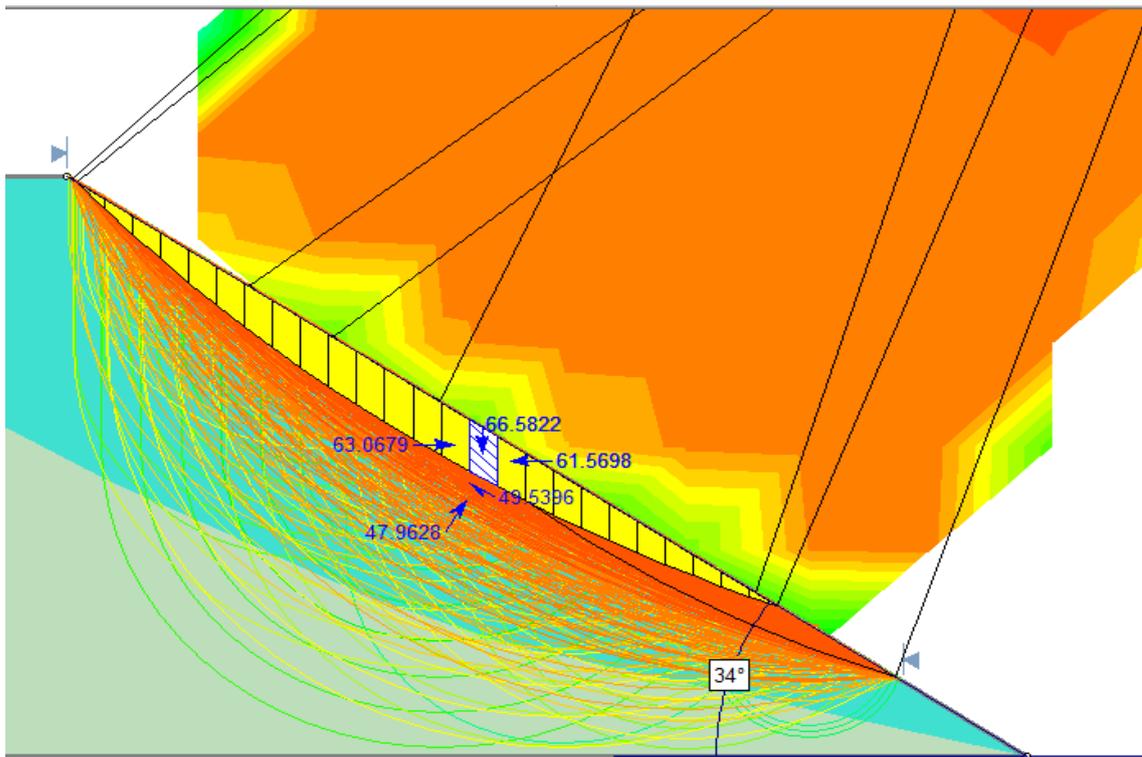
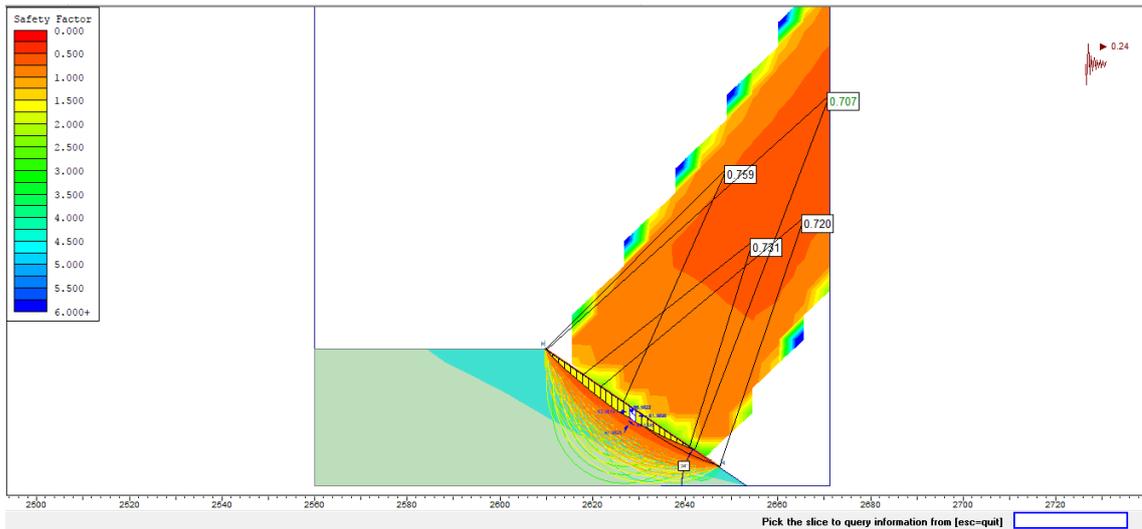


Figura 26. Cálculo de factor de seguridad depósito de desmonte en las laderas Santa María Este, por el programa *Rock Science – Slide*, análisis pseudoestático.

#### 4.6.3 Metodología de análisis.

Bishop simplificado.

$$FS = \frac{\sum [c \cdot b + (W_i - u_i \cdot b) \tan \phi]}{\sum W_i \sin \alpha} \cdot \frac{1}{m_\alpha}$$

$$m_\alpha = \cos \alpha_i [1 + (\tan \alpha_i \cdot \tan \phi) / FS]$$

Dónde:

FS = Factor de seguridad

c = Cohesión del suelo

$\phi$  = Ángulo de fricción interna

b = Ancho de la dovela

Wi= Peso total de la dovela

Ui= Presión de poros

$\alpha_i$  = Ángulo de la base de la dovela con la horizontal

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha empleado exclusivamente el método simplificado de Bishop, debido a que, los valores de los factores de seguridad obtenidos mediante dicho método para superficies de falla circulares difieren en un 5% a 10% por defecto (es decir, dando un margen conservador de seguridad) de los valores obtenidos empleando métodos rigurosos de análisis (tales como el de Spencer o el de Morgenstern – Price). Por tanto, para fines prácticos, el método simplificado de Bishop es satisfactorio.

Tabla 4

*Factor de seguridad obtenida con software*

Altura de banco	Angulo de banco	Factor de seguridad	
		Estático	Pseudoestático
23	35	1,585	1,287
30	36	1,431	1,211
30	36	1,563	1,214

Factor de seguridad obtenida en los ensayos estatico y pseudoestatico de las simulaciones con software

Se considera vital la estabilidad del botadero en su construcción en su diseño y planeamiento el análisis de sensibilidad cuantas toneladas puede recibir un botadero, corroborando con el estudio que hizo Mamani (2017) si es importante la capacidad del botadero.

El diseño de un depósito de desmonte es relevante desde el punto de vista del factor de seguridad y la capacidad a largo plazo, corroborando con Villanueva (2016) si es importante ya que pueden fallar el talud del botadero por otros factores.

#### **4.6.4 Plan de monitoreo de estabilidad del botadero física.**

Se realizarán inspecciones de campo diariamente por los supervisores de seguridad en zonas de riesgo (frentes de explotación minería, botaderos de desmonte, sedimentación, etc.) estas inspecciones nos conllevarán a identificar fracturas y puntos de posible riesgo (deslizamiento) a fin de que no perjudiquen el normal desarrollo de las operaciones mineras.

En caso se haya localizado una posible grieta se procederá a realizar las mediciones correspondientes según sea necesario a fin de determinar el grado de riesgo, se realizará un informe por parte del ingeniero supervisor según la gravedad y riesgo potencial a fin de determinar soluciones.

#### 4.6.5 Capacidad de recepción de material en los botaderos

Con este análisis podemos inferir que las capacidades de recepción de desmonte del botadero en la explotación y extracción anual, esto puede variar con los equipos que se emplea, con los equipos de extracción que se visualizó se hizo el cálculo que produce la empresa minera de estudio 6 566 400.00 Ton al año que se dispondrá, tendrá capacidad portante admisible total presentando un área sin riesgo potencial de presentar una línea de rotura por sobre esfuerzos de carga.

Tabla 5

*Capacidad de material diseñado de desmonte en el botadero*

<b>Niveles</b>	<b>Capacidad (Kg)</b>	<b>Capacidad (Tn)</b>	<b>Duración (Año)</b>
<b>4675</b>		0	0
<b>4700</b>	6 566 400 000	6 566 400	1
<b>4725</b>	13 132 800 000	13 132 800	2
<b>4750</b>	26 265 600 000	26 265 600	4
<b>4775</b>	39 398 400 000	39 398 400	6
<b>4800</b>	52 531 200 000	52 531 200	8
<b>4825</b>	65 664 000 000	65 664 000	10

Se observa el llenado del depósito de desmonte desde la capacidad en ton y volumen en m<sup>3</sup> para una duración desde el año 0 hasta 10 años propuesta.



## CONCLUSIONES

El depósito de desmonte es estable desde un punto de vista físico geomecánico, según el análisis estático y pseudoestático realizado con el Software Slide V. 6.0 se ha determinado el factor favorece en la estabilidad del talud del botadero por tal motivo todo el desmonte procedente de mina será almacenado.

Se determinó que el comportamiento geomecánico favorece la estabilidad del botadero con ángulo de  $35^\circ$  y  $36^\circ$ , para el control del depósito de material estéril, además según el cálculo de la capacidad portante, presentando un área de fundación estable sin riesgo potencial de presentar una línea de rotura por sobre esfuerzos de carga.

Para el diseño de taludes, se determinó las variables considerables con un factor de seguridad de 1,431 y 1,211 para una altura de banco de 30 m ángulos de talud de  $36^\circ$  y con una resistencia al corte así se evitará los accidentes que con frecuencia solían suceder enlutando a decenas de familias humildes.

.



## RECOMENDACIONES

Ampliar el estudio y una propuesta es la instrumentación geotécnica para control del comportamiento del botadero el cual los resultados nos ayudarán que los parámetros geotécnicos serán más exactos y evitar posibles fallas en la estructura del depósito del botadero y concientizar a la empresa minera. Será necesario hacer un mantenimiento preventivo y correctivo de preferencia antes del periodo de lluvias.

Se sugiere almacenar solo material de desmonte, caso contrario realizar un nuevo análisis de estabilidad química para determinar si otro material que se pretendiera almacenar no genere drenaje ácido.

Sugerencias para realizar la construcción del canal de derivación y coronación que evitarán la filtración de aguas a la estructura del depósito, lo cual garantizará factores de seguridad estático y Pseudoestático por encima de los mínimos permisibles.

## BIBLIOGRAFIA

- Alva, J. E. (1994). *Análisis de estabilidad de taludes*. 62.
- Angel, M., & Moncayo, C. (2005). *Curso - Proyecto CYTED XIII - 3 - Junio 2005 - Córdoba - Argentina*.
- Arreygue Rocha, M., Monroy, G., Hugo, V., Arreygue-Rocha, E., Hugo Garduño-Monroy, V., Canuti, P., Casaglie, N., Iotti, A., & Chiesa, S. (2002). Análisis geomecánico del escarpe La Paloma, Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19(2), 91–106.
- Beneyto, P. A., Gutierrez, G. J., Mroginski, J. L., Rado, H. A. Di, Awruch, A. M., Möller, O., Signorelli, J. W., Storti, M. A., & Rosario, A. (2001). *Mecánica Computacional Vol XXX*, págs. <http://ing.unne.edu.ar/mecap://www.amcaonline.org.ar>
- Berrones, R. F., García, F. A., & Liu, X. L. (2003). Efecto del flujo de agua en la estabilidad de taludes. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 18(2), 35–52.
- Bojorque, J. (2016). Análisis dinámico de estabilidad de taludes por medio de elementos finitos. *Maskana*, 7(2), 167–180. <https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.12>
- Bongiorno, R. (2011). *Determinación de expresiones matemáticas para el cálculo de los esfuerzos aplicados a la estabilidad de taludes Determination of mathematical expressions for calculating the*.
- Camacho Orozco, S., & Ramos Cañón, A. (2016). Indicador potencial de falla para taludes condicionados por las geoformas. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 0(40), 39–45. <https://doi.org/10.15446/rbct.n40.53658>
- Castro, A., Vargas, W., & Pinzón, A. (2006). *Provenientes De Explotaciones Mineras Design Process of a Mining Waste Backfill*. 107–117.
- Castro, L. (2012). Combinación de sistemas. *Técnicas de Ingeniería*, 1–10.
- Che, A., Yang, H., Wang, B., & Ge, X. (2016). Wave propagations through jointed rock masses and their effects on the stability of slopes. *Engineering Geology*, 201, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.12.018>
- Chen, T., Deng, J., Sitar, N., Zheng, J., Liu, T., Liu, A., & Zheng, L. (2017). Stability

- investigation and stabilization of a heavily fractured and loosened rock slope during construction of a strategic hydropower station in China. *Engineering Geology*, 221, 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.02.031>
- Cori, H., Tejada, Z., & Sarmiento, Z. (2011). Estudio del Diseño de Talud de las Escombreras Mineras para Mitigar el Impacto Ambiental por Deslizamiento. *Ciencia y Desarrollo*, 13, 7–11.
- Deere, D. U., & Patton, F. D. (1971). Estabilidad de Taludes en Suelos Residuales. *IV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, 87–170.
- Escobar Toro, L. J., & Valencia Gonzáles, Y. (2012). Análisis De Estabilidad Y Probabilidad De Falla De Dos Taludes De Suelo Tropical En La Autopista Medellín – Bogotá En El Tramo De Vía Entre Marinilla Y Santuario . Analysis and Probability of Failure of Two Tropical Soil Slope of Highway Medellin - Bogota. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 31, 51–64.
- Fernández, W., Villalobos, S., & King, R. (2018). Probabilistic analysis of slope stability in completely decomposed granite residual soils Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(1), 5–14.
- Herrera Rodríguez, F. (2000.). *Análisis de estabilidad de taludes Análisis de estabilidad de taludes*.
- Johari, A., & Mehrabani Lari, A. (2017). System probabilistic model of rock slope stability considering correlated failure modes. *Computers and Geotechnics*, 81, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2016.07.010>
- Li, X., Díaz-Mirón, L. E. R., Espinoza-Ayala, J., & González, J. A. (2011). Evaluación de efectos de sumersión en la estabilidad de taludes. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 2(4), 149–165.
- Matteis, Á. F. de. (2003). Geología y Geotecnia Tema: Estabilidad de taludes. *Universidad Nacional de Rosario*, 42.
- Montoya Orozco, A., 2009. Confiabilidad de la estabilidad de taludes, México: s.n.
- Mora, R. S., & Rojas, E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en

- la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas TT - The Effect of Saturation on the Slope Sliding in the San Juan de Grijalva Community, Chiapas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 13, 55–68.
- NARANJO A., ABEL; SOTO J., C. M. (2007). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169513313002>.
- Neves, D. M. dos S., & Lacaba, R. G. (2011). Deslizamientos de los taludes en el yacimiento kimberlítico de Catoca, Angola. *Minería y Geología*, 27(3), 26–42.
- Ortiz S., O., Canchari S., G., & Giraldo P., M. (2013). *Diseño de disposición conjunta de relaves y desmonte en la mina Yauricocha*. 14, 37–46.
- Patini, A. de C. G. (2011). propuesta metodológica para la evaluación de estabilización de taludes y terraplenes en proyectos de carreteras. *TqP Chí Khoa Học Đại Học Huế*, 64, 10–14.
- Peña-Rincón, C. A. (2017). Datos de precipitación con el modelo HSB para pronóstico de deslizamiento de suelos superficiales. *Boletín de Geología*, 39(2), 49–56. <https://doi.org/10.18273/revbol.v39n2-2017003>
- Ramos, A. A. (2017). *Análisis de Estabilidad de Taludes en Rocas. Simulación con LS-DYNA y Comparación con Slide*. 83. [http://oa.upm.es/47326/1/tfm\\_abel\\_antonio\\_ramos\\_vasquez.pdf](http://oa.upm.es/47326/1/tfm_abel_antonio_ramos_vasquez.pdf)
- Reynares, M., Franco, F., Zanardi, L., & Morbidoni, N. (2003). *diseño de protecciones marginales*. 1–2.
- Roberto, U. (2015). Comparación de la rotura parabólica en el estudio de la estabilidad de taludes por el método analítico y el cálculo variacional. *Ciencia e Ingeniería*, 36(3), 149–158.
- Rojas, S. N. (2015). *El cálculo del factor de seguridad como elemento principal para el diseño de obras de estabilización de taludes en la vía latacunga – la maná sector cruz blanca*. 351.
- Sanhueza, C., Valenzuela, P., Palma, J., Araneda, O., & Calderón, K. (2011). Evaluación del comportamiento geotécnico de suelos volcánicos chilenos para su uso como material de filtro en la depuración de aguas residuales domésticas. *Revista de La*



- Construccion*, 10(2), 66–81. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2011000200007>
- Sanhueza Plaza, C., & Rodríguez Cifuentes, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de La Construccion*, 12(1), 17–29. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2013000100003>
- S'aigua. (2006). *Estudio estabilidad de taludes*. 58. [http://info.igme.es/SidPDF/135000/770/135770\\_0000002.pdf](http://info.igme.es/SidPDF/135000/770/135770_0000002.pdf)
- Siva Subramanian, S., Ishikawa, T., & Tokoro, T. (2017). Stability assessment approach for soil slopes in seasonal cold regions. *Engineering Geology*, 221, 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.03.008>
- Sobarzo, V., Villalobos, F., & King, R. (2011). Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina. *Obras y Proyectos*, 9, 38–48. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132011000100005>
- Trujillo-Vela, M. G., & Ramos-Cañón, A. M. (2012). *A model for a disrupted mass movement process simulation. A comparison against the infinite slope method*. 22(2), 25–37.
- Vásquez “et al”. Diseño y operaciones de minas a cielo abierto. pp.110-125
- Yang, Z. Y., Li, D. Q., Cao, Z. J., & Tang, X. S. (2018). System reliability of soil slope using generalized subset simulation. *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*, 39(3), 1–50. <https://doi.org/10.16285/j.rsm.2016.0780>

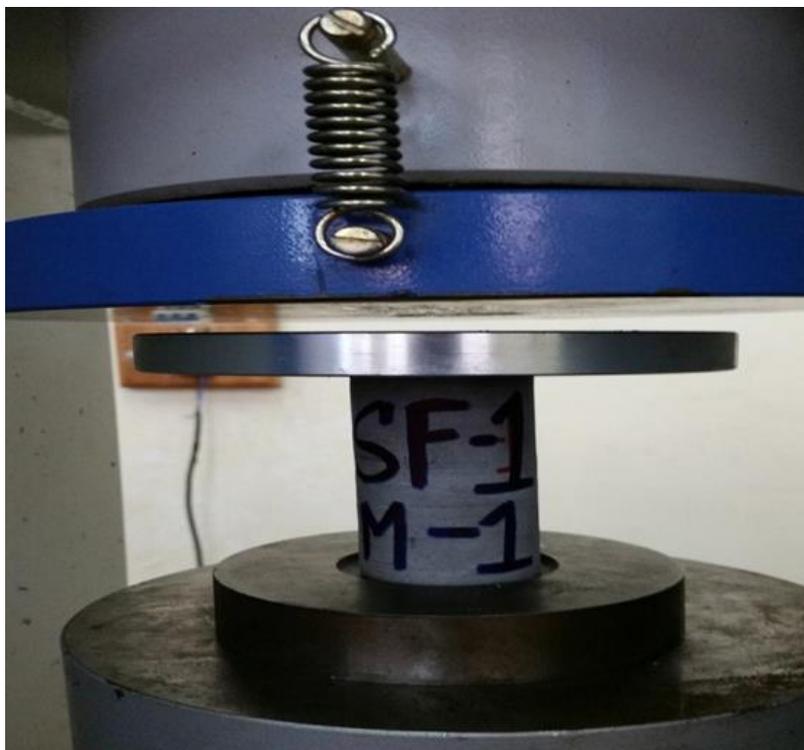


## ANEXOS

*Anexo 1 Preparación de testigo en laboratorio de mecánica de rocas*



*Anexo 2 Prueba de muestras a la compresión simple en laboratorio de mecánica de rocas*



*Anexo 3 Muestras realizadas a la compresión simple*



*Anexo 4 Proyecto de estudio en la zona Santa María – Rinconada*



*Anexo 5 Botaderos en las operaciones mineras sin ningún diseño y control*



*Anexo 6 Perfil del botadero colapsado sin las condiciones de diseño y control*



*Anexo 7 Botaderos de desmote colapsando y desprendimientos*



*Anexo 8 Botaderos cerca de operaciones y peligro para personal*



*Anexo 9 Botaderos con áreas reducidas a las entradas de una galería*



## Anexo 10 Ensayos de compresión en los laboratorios

	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS	
--	--	---	--

**INFORME N°011-2020-LG&MR-FIM-UNA-PUNO**

**\*ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE NÚCLEOS DE ROCA**

**SOLICITADO POR:**  
JUAN CARLOS CHAIÑA CONTRERAS

**PROYECTO:**  
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO PARA EL CONTROL DEL  
DESLIZAMIENTO DEL BOTADERO DE DESMONTE MINERO ZONA ESTE – SANTA  
MARÍA, RINCONADA PUNO PERÚ.

**UBICACIÓN:**  
BOTADERO DE DESMONTE MINERO ZONA ESTE – SANTA MARÍA, RINCONADA –  
PUNO – PERÚ.

**MUESTRA:**  
CUARCITO, PIZARRA.

**FECHA:**  
31 DE ENERO DEL 2020.

NOTA:

- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.
- Condición de la muestra, preparadas según norma vigente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas.

M.Sc. Ing. Licio Quispe Gutierrez  
JEFE DE LABORATORIO  
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

JEFE DE LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P. Página 1 de 3

Av. Floral N°1153 Puno - Perú <a href="http://web.unap.edu.pe/">http://web.unap.edu.pe/</a>	Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas unminas@gmail.com, itaura.geo@gmail.com owalvelasquez@hotmail.com	Teléfono (+051) 366193 (+051) 921 474 201
---	---	---

**Anexo 11 Ensayo compresión simple del núcleo roca pizarra**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS

**ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE NÚCLEOS DE ROCA**

INFORME No : 011-2020-LG&MR-FIM-UNA-PUNO  
REFERENCIA : ASTM D 3148, D 2938  
FECHA DE EMISIÓN: 31 DE ENERO DEL 2020.  
SOLICITADO POR : JUAN CARLOS CHAIÑA CONTRERAS.  
PROYECTO : TESIS- COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO PARA EL CONTROL DEL DESLIZAMIENTO DEL BOTADERO DE DESMONTE MINERO ZONA ESTE – SANTA MARÍA, RINCONADA PUNO PERÚ  
UBICACIÓN : BOTADERO DE DESMONTE MINERO ZONA ESTE – SANTA MARÍA, RINCONADA – PUNO – PERÚ  
MUESTRA : PIZARRA  
RESPONSABLE : MSC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ

---

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3148, D 2938, obteniéndose los siguientes resultados:

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS	UCS	Tipo de Rotura	Observaciones
	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	L/D	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (MOSE & SIZOV, 1980)	(MPa)	corregido (MPa)	corregido (Kg-f/cm <sup>2</sup> )		
UCS - 01	4.460	8.940	15.623	2.004	9520	1.000	0.977	59.76	68.42	595.76	local	--
UCS - 02	4.450	8.910	15.553	2.002	13670	1.000	0.977	86.19	84.22	858.81	matriz	--
UCS - 03	4.450	8.900	15.553	2.000	10340	1.000	0.977	65.20	63.70	649.51	matriz	--
Número de resultados								3	3	3		
Valor máximo, MAX								86.19	84.22	858.81		
Valor mínimo, MIN								59.76	59.42	595.76		
Mediana, MED								65.20	63.70	649.51		
Valor promedio, MEAN								70.38	68.78	701.36		
Desviación estándar, SDEV								13.96	13.63	138.98		
Coeficiente de variación, CV								1.44	1.45	1.45		

M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez  
JEFE DE LABORATORIO  
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

---

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P. Página 3 de 3

Av. Floral N°1153  
Puno - Perú  
<http://web.una.edu.pe/>

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas  
unaminas@gmail.com, ilaura.geo@gmail.com  
osvalvelasquez@hotmail.com

Teléfono  
(+051) 366193  
(+051) 921 474 201

**Anexo 12 Ensayo compresión simple de núcleo roca cuarcita**



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL  
ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS**



**ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE NÚCLEOS DE ROCA**

INFORME No : 011-2020-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
REFERENCIA : ASTM D 3148, D 2938.  
FECHA DE EMISIÓN: 31 DE ENERO DEL 2020.  
SOLICITADO POR : JUAN CARLOS CHAIÑA CONTRERAS.  
PROYECTO : TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO PARA EL CONTROL DEL DESLIZAMIENTO DEL BOTADERO DE DESMONTE MINERO ZONA ESTE – SANTA MARÍA, RINCONADA PUNO PERÚ  
UBICACIÓN : BOTADERO DE DESMONTE MINERO ZONA ESTE – SANTA MARÍA, RINCONADA – PUNO – PERÚ.  
MUESTRA : CUARCITA.  
RESPONSABLE : MSC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

---

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3148, D 2938, obteniéndose los siguientes resultados:

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS	UCS	Tipo de Rotura	Observaciones
	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	L/D	(Kg-f)	Relación D/L (PROD Y ANCHO)	Por diámetro (PUNO & BROMBERG)	(MPa)	corregido (MPa)	corregido (Kg-f/cm <sup>2</sup> )		
CUARTITA 01	4.480	8.960	15.623	2.007	35410	1.000	0.977	222.27	217.34	2216.26	matriz	--
CUARTITA 02	4.450	8.900	15.553	2.007	12840	1.000	0.977	80.96	79.13	806.89	matriz	--
CUARTITA 03	4.470	8.910	15.693	1.993	26700	1.000	0.976	166.85	163.08	1663.00	matriz	--

Número de resultados	3	3	3
Valor máximo, MAX	222.27	217.34	2216.26
Valor mínimo, MIN	80.96	79.13	806.89
Mediana, MED	166.85	163.08	1663.00
Valor promedio, MEAN	156.69	153.18	1562.05
Desviación estándar, SDEV	71.20	69.64	710.09
Coefficiente de variación, CV	-0.63	-0.63	-0.63



MSC. Ing. Lucio Quea Gutierrez  
JEFE DEL LABORATORIO  
GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS

---

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P. Página 2 de 3

Av. Floral N° 1153  
Puno - Perú  
<http://web.unap.edu.pe/>

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas  
unaminas@gmail.com, ilaura.geo@gmail.com  
owalvelasquez@hotmail.com

Teléfono  
(+051) 366193  
(+051) 921 474 201