

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando el  
SMR para el diseño del banco en U.E.A. Encanto Blanco  
LYOF, Chongos Alto**

Jhonny Julio Alvarez Tovar

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# **ASESOR**

Ing. Benjamín Ramos Aranda

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a los docentes de la escuela profesional de ingeniería de minas de la Universidad Continental, quienes contribuyeron a mi formación académica profesional, un agradecimiento especialmente al Ingeniero Ramos Aranda, Benjamín Manuel por consejos para el desarrollo de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Jhonny y María, quienes estuvieron en todo momento pendientes de mi formación profesional con su motivación y confianza, por su aliento de superación constante y de la misma forma mi hermana Alison por sus consejos de perseverancia que me ayudaron a cumplir mi gran aspiración ser un gran profesional: Ingeniero de Minas.

# ÍNDICE

PORTADA .....	I
ASESOR.....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN .....	XIII
CAPITULO I - PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	15
1.2. Objetivos.....	15
1.3. Justificación .....	16
1.4. Hipótesis de investigación .....	16
CAPITULO II – MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes del problema .....	18
2.2. Bases teóricas .....	20
2.3. Definición de términos básicos .....	56
CAPITULO III - METODOLOGÍA.....	60
3.1. Métodos y alcances de la investigación .....	60
3.2. Población y muestra .....	61
3.3. Técnica e instrumento de recolección de datos .....	61
CAPITULO IV – RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	62
4.1. Generalidad de la U.E.A. Encanto Blanco Lyof .....	62
4.2. Evaluación de las propiedades físicos mecánicos del macizo rocoso .....	65
4.3. Evaluación de las propiedades del macizo rocoso.....	77
4.4. Evaluación de los factores de ajuste.....	81
4.5. Diseño del banco .....	82
4.6. Resultados.....	90
4.7. Discusión de resultado.....	92
CONCLUSIONES .....	93

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	95
ANEXOS.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Color de las rocas igneas .....	23
Tabla 2. Color de rocas sedimentarias detríticas.....	23
Tabla 3. Color de rocas sedimentarias no detríticas .....	24
Tabla 4. Color de rocas metamórficas.....	24
Tabla 5. Valoración de la orientación de las discontinuidades.....	30
Tabla 6. Factor de ajuste de las juntas F1 , F2 y F3.....	30
Tabla 7. Factor de ajuste por el método de excavación F4.....	31
Tabla 8. Tipo de clases del RMR .....	32
Tabla 9. Puntuación de espaciamiento entre diaclasas .....	35
Tabla 10. Puntuación de persistencia .....	36
Tabla 11. Puntuación de apertura .....	36
Tabla 12. Puntuación de la rugosidad .....	36
Tabla 13. Puntuación de relleno.....	36
Tabla 14. Puntuación de la alteración .....	37
Tabla 15. Puntuación del agua freática .....	37
Tabla 16. Orientación de las discontinuidades .....	38
Tabla 17. Clasificación del RMR .....	38
Tabla 18. Métodos para el análisis geotécnico.....	51
Tabla 19. Autores para el cálculo del talud.....	54
Tabla 20. Resumen del método más eficiente para el cálculo del talud .....	54
Tabla 21 Accesibilidad de la U.E.A. Encanto Blanco Lyof .....	62
Tabla 22. Valor de la masa de la muestra .....	65
Tabla 23. Lectura con el martillo Schmidt de 0 a 3 metros .....	67
Tabla 24. Lectura con el martillo Schmidt de 4 a 6 metros .....	67
Tabla 25. Lectura con el martillo Schmidt de 7 a 9 metros .....	67
Tabla 26. Lectura con el martillo Schmidt de 10 a 12 metros .....	68
Tabla 27. Lectura con el martillo Schmidt de 13 a 15 metros .....	68
Tabla 28. Resultado de las lecturas del martillo Schmidt .....	68
Tabla 29. Interpolación entre dureza Schmidt y resistencia a la compresión...	69
Tabla 30 Resultado de la clasificación de la resistencia a la compresión .....	70
Tabla 31. Resultado del RQD .....	70
Tabla 32. Puntuación del RQD de la labor E-2.....	71

Tabla 33. Puntuación del espaciamiento entre discontinuidades del banco E-2. ....	71
Tabla 34. Puntuación de persistencia del banco E-2.....	71
Tabla 35. Puntuación de la apertura del banco E-2.....	72
Tabla 36 Puntuación de rugosidad del banco E-2. ....	73
Tabla 37. Puntuación del relleno del banco E-2 .....	74
Tabla 38. Puntuación de alteración del banco E-2. ....	75
Tabla 39. Puntuación del agua subterránea en el banco E-2 .....	76
Tabla 40. Coeficiente de sismicidad .....	77
Tabla 41. Dirección de azimut, rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento.....	78
Tabla 42. Resultado general de la cartilla de Bieniawski (RMR Básico) .....	80
Tabla 43 Puntuación del factor de ajuste F1 del banco E-2 .....	81
Tabla 44. Puntuación del factor de ajuste F2 del banco E-2 .....	81
Tabla 45. Puntuación del factor de ajuste F3 del banco E-2 .....	81
Tabla 46 Puntuación del factor de ajuste por el método de excavación F4 .....	81
Tabla 47 Resultado de la altura del banco. ....	86
Tabla 48. Clasificación del RMR en el banco E-2.....	90
Tabla 49. Resultado de los factores de ajuste del banco E-2.....	91
Tabla 50. Clasificación de la estabilidad con el SRM del banco E-2.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Compacidad.....	27
Figura 2. Correlación del matillo Schmidt y la densidad para la obtención de la resistencia de compresión .....	34
Figura 3. Clasificación geomecánica del GSI .....	39
Figura 4. Corte directo mediante Mohr y Coulomb .....	40
Ilustración 5. Envolvente triaxial de Mohr y Coulomb .....	40
Figura 6. Envolvente de rotura no lineal de Hoek y Marinos .....	41
Figura 7. Envolvente triaxial de Hoek y Marinos.....	42
Figura 8. Validez de criterio de Hoek y Marinos .....	42
Figura 9. Ensayos triaxiales .....	43
Figura 10. Criterio de rugosidad mediante Barton y Choubey .....	44
Figura 11. Deslizamiento rotacional .....	45
Figura 12. Deslizamiento traslacional.....	46
Figura 13. Deslizamiento planar .....	46
Figura 14. Deslizamiento por cuñas .....	47
Figura 15. Deslizamiento en escaleras.....	48
Figura 16. Deslizamiento por volteo .....	48
Figura 17. Deslizamiento circular .....	49
Figura 18. Relación de estabilidad de talud respecto a la altura e inclinación .....	56
Figura 19. Toma de lecturas con el martillo Schmidt .....	67
Figura 20. Resultado de acuerdo a la resistencia a la compresión.....	69
Figura 21. Evaluación de la persistencia del banco E-2. ....	72
Figura 22. Evaluación de la apertura del banco E-2.....	72
Figura 23. Evaluación de la rugosidad del banco E-2.....	73
Figura 24. Evaluación de relleno del banco E-2 .....	74
Figura 25. Evaluación de la alteración del banco E-2.....	75
Figura 26. Evaluación del agua subterránea del banco E-2. ....	77
Figura 27. Proteo de polos en el banco E-2 .....	78
Figura 28. Curvas isocalóricas del banco E-2. ....	78
Figura 29. Rotura planar .....	79
Figura 30. Roseta de direcciones del banco E-2.....	79

Figura 31. Círculos máximos.....	79
Figura 32. Resultado del GSI para el banco E-2. ....	83
Figura 33. Resultado del Mi .....	84
Figura 34. Resultado del valor "D" .....	84
Figura 35. Resultado de la fuerza de cohesión y el ángulo de fricción .....	85
Figura 36. Diseño del banco actual E-2.....	86
Figura 37. Diseño del banco propuesto del banco E-2. ....	87
Figura 38. Factor de seguridad para el banco actual por el método Spencer con Grid Search .....	88
Figura 39. Factor de seguridad para el banco actual por el método Spencer con Slope Search.....	88
Figura 40. Factor de seguridad para el banco propuesto por el método Spencer con Grid Search .....	89
Figura 41. Factor de seguridad para el banco propuesto por el método Spencer con Slope Search.....	90
Figura 42. Desprendimiento de masa rocosa, debido a que su ángulo de reposo es superior a 90º.....	100
Figura 43. Pruebas con el martillo Schmidt .....	100
Figura 44. Resultado 1 de la altura del banco E-2.....	101
Figura 45. Resultado 2 de la altura del banco E-2.....	101
Figura 46. Resultado 3 de la altura del banco E-2.....	101
Figura 47. Retroexcavadora 324 D .....	102

## RESUMEN

La presente tesis surge de la problemática del cierre de labores por la altura de los bancos, por lo que se realizará un proceso de la caracterización geomecánica. Así, se tiene como objetivo general diseñar el banco a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando el SMR en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto. Esta tesis será de mucha importancia en los sectores de pequeña y minería artesanal no metálica a tajo abierto, ya que ayudará a mejorar la seguridad operacional de las canteras y a continuar con su explotación, para poder realizar el modelamiento se usará el Software Slide 6.0v que nos ayudarán a determinar el factor de seguridad y así obtener un diseño más óptimo.

El método de investigación es de carácter científico con un tipo de investigación aplicada, debido a que en su primera instancia se utilizarán los conocimientos de la investigación básica para poder solucionar el diseño del banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, por lo que su nivel de investigación es explicativo y el diseño a investigar es experimental, de tal manera que las variables dependientes serán manipuladas.

Los resultados para el diseño del banco, aplicando el SMR, nos permiten identificar la estabilidad del talud para posteriormente hacer un modelamiento con el software Slide 6.0v. El resultado en el factor de seguridad del diseño actual con el diseño propuesto se ha incrementado de forma favorable a 1.780.

En nuestras conclusiones, al usar la cartilla del SMR, nos dio un valor 56.25 de clase III, con una estabilidad "parcialmente estable". Esto nos indica que tiene algunas juntas o muchas cuñas, por lo cual su tratamiento es sistemático; así, se hizo un modelamiento con el software Slide 6.0v con bancos escalonados.

Palabras clave: Diseño del banco, evaluación geomecánica, macizo rocoso y SMR (Slope Mass Rating).

## **ABSTRACT**

The present thesis arises from the problem of closing work due to the height of the banks, so a process of geomechanical characterization will be carried out, thus giving a general objective that is the design of the bank from the geomechanical evaluation of the rock mass applying the SMR in UEA Encanto blanco Lyof, Chongos Alto, this thesis will be of great importance in the sectors of small and artisanal non-metallic open-pit mining, since it will help to improve the operational safety of the quarries and continue with their exploitation, in order to To carry out the modeling, the Software Slide 6.0v will be used to help us determine the safety factor and thus obtain a more optimal design.

The research method is of a scientific nature with a type of applied research, due to its first instance is to apply the knowledge of basic research to be able to solve the design of the bank in U.E.A. Charming White Lyof, so its research level is explanatory and the design to be investigated is experimental, in such a way that the dependent variables will be manipulated.

In the results for the bench design, the SMR allows us to identify the stability of the slope to later make a modeling with the Slide 6.0v software, for which the safety factor of the current design with the proposed design has been increased in a favorable way to 1,780.

In our conclusions, when using the SMR chart, it gave us a class III value of 56.25, with a "partially stable" stability, this indicates that it has some joints or many wedges, which its treatment is systematic, so a modeling with Slide 6.0v software with stepped banks.

Keywords: Bank design, geomechanical evaluation, rock mass and SMR (Slope Mass Rating).

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis denominada “Estudio geomecánico del macizo rocoso aplicando el SMR para el diseño de banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto” se realiza por temas de seguridad, debido a que esta unidad minera no tiene estudios precisos con referencia a la estabilidad de los bancos de donde se realizan las operaciones, de acuerdo a lo referido por los trabajadores, esta pequeña minería tiene más de 10 años de explotación.

Si bien es cierto la U.E.A. Encanto Blanco Lyof es un centro de estudio y a partir de ella se podrá aplicar a diferentes empresas mineras ya sean pequeñas y artesanales mineras que se encuentren a su alrededor. Asimismo, se harán cálculos y procedimientos de datos obtenidos de campo. Estos datos se sistematizarán en Excel y como complemento para el diseño de banco se usará el software Slide 6.0v para facilitar su aplicación donde nos dará el valor del factor de seguridad, esto nos permitiría un análisis estricto de la estabilidad del banco, si es competente con el diseño.

EL presente trabajo se desarrolla en (04) capítulos:

El capítulo I contiene el planteamiento de estudio, en la cual se describe el planteamiento y formulación del problema, objetivos, justificación, hipótesis y descripción de variables.

En el capítulo II se presenta el marco teórico que nos dará un aporte general de lo que se es necesario para el desarrollo de la presente tesis. Esto nos dará una precisión y un respaldo de la presente investigación de estudio. Este capítulo nos describe los antecedentes, las bases teóricas y las definiciones de los términos.

El capítulo III aborda la metodología que presenta el proyecto. Se describe el tipo de investigación que se realizará, esta contendrá los métodos y alcances de la investigación, población y muestra, y la técnica e instrumentos de recolección de datos.

El capítulo IV describe los resultados y las discusiones obtenidas en la investigación, los cuales se describirá a mayor detalle en el desarrollo y los resultados de tratamiento, análisis de la información y la discusión de resultados.

Finalmente, se da a conocer las conclusiones, las referencias bibliográficas y anexos.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1. Problema general**

¿Cuál es el diseño del banco a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando el SMR en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la clasificación del macizo rocoso empleando la cartilla de Bieniawski (RMR) en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto?
  
- b) ¿Cómo influye los factores del SMR para el diseño del banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar el banco a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando el SMR en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Clasificar el macizo rocoso empleando la cartilla de Bieniawski (RMR) en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

b) Determinar la influencia de los factores del SMR para el diseño del banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Justificación práctica**

Con el desarrollo de la investigación se solucionará el problema del diseño de banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

#### **1.3.2. Justificación metodológica**

Para el desarrollo de la presente tesis, el investigador creará instrumentos y metodologías propias para la recolección de datos, el procesamiento y formulación de conclusiones, que pueden servir de base para otras investigaciones similares.

### **1.4. Hipótesis de investigación**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

La evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando el SMR permite diseñar un banco estable en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

a) Al clasificar el macizo rocoso empleando la cartilla de Bieniawski (RMR) se obtiene un valor de calidad en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

b) Los factores del SMR influyen en la determinación en el diseño del banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

### **1.5. Identificación de variables**

#### **1.5.1. Variable independiente**

- X: Evaluación geomecánica

Indicadores:

- Slope Mass Rating (SMR)
- RMR de Bieniawski

### **1.5.2. Variable dependiente**

- Y: Diseño de Banco

Indicadores:

- Factores geométricos
  - Altura
  - Ancho
  - Ángulo de inclinación

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

- Tesis para optar el título de Magister Scientiae en Geotecnia y Geomecánica Minera de la Universidad Nacional del Altiplano denominada "*Diseño de estabilidad de taludes para el nivel de resistencia al corte en el frente de minado del proyecto San Antonio y María- Ananea*". El estudio concluye que con los nuevos diseños de bancos tendrán un FS: 1.1 para su estabilidad, esto reducirá los riesgos y peligros. Para una altura de banco de 10 m los ángulos de talud de 75 y para bancos de talud será de 65 y así se evitará los accidentes que con frecuencia solían suceder ". (1)
  
- Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas denominada "*Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018*". El investigador concluye que en lo referente al sostenimiento de acuerdo a los valores determinados por Bieniawski (RMR) y Barton (Q), en el caso del Mineral no requiere sostenimiento, en el caso de la Zona de Contacto el sostenimiento es esporádico, ya que el levantamiento litológico estructural se realizó en la zona mineralizada; en el caso de la Pizarra el sostenimiento será a través de Split Set de 5 y 7 pies espaciado cada uno de 1.2 x1.2 mts. Distribuidos en forma de tres bolillos + malla electrosoldada en terrenos muy fracturados o cuadrados de madera donde requiera; en el caso de la Cuarcita el sostenimiento será con puntales de seguridad, en las partes donde requiera, hacer un buen

control de perforación y voladura; y en el caso de la Granodiorita será cuando lo requiera. (2)

- Memoria para optar el título de Ingeniero de Minas denominada “*El estudio de control de Talud en Fase 4 de División Andina*”. La investigación tiene como objetivo general realizar un estudio que permita primero explicar y luego corregir la diferencia que se observa entre las líneas de diseño programado y las líneas reales obtenidas para los taludes de las Fase 4. Se concluye que un buen talud minero radica principalmente en tres factores: la línea de pre corte, la línea buffer y el explosivo. Las desviaciones de los tiros de precorte pueden producir grandes cambios en el resultado de talud. Por otro lado, la línea buffer debe trabajar en conjunto con la línea de pre corte para poder obtener el mejor resultado posible. El explosivo juega un papel fundamental ya que es uno de los factores más importantes para el cálculo de los parámetros de perforación y tronadura”. (3)
- Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas denominada “*Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018*” en una de sus conclusiones nos menciona que mediante el empleo del método Romana SMR (1985), las zonas analizadas se consideran inestables. (4)
- Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas denominada “*Influencia del comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el diseño de bancos de la cantera de arena fina Cabra Cabra de la empresa S.M.R.L. Cabra Cabra, distrito de Namora – Cajamarca, 2017*”. Los investigadores concluyen que obtenido un RMR de 42, calificándola como una roca regular, influye en el diseño de bancos ya que mediante esta clasificación se determinara el ángulo de fricción y cohesión los cuales son parámetros principales para determinar el factor de seguridad con el programa Slide. (5)

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Propiedades físicas de la roca intacta**

#### **2.1.1.1. Tipo de roca**

Los tipos de roca se subdividen en tres tipos.

#### **a. Rocas ígneas**

Su formación es por “la cristalización de un fundido rocoso, esta se le conoce como lava. Por lo que se divide en tres partes cuando la lava es expulsada a la superficie se le llamara roca extrusiva o volcánica”. Esto dependerá de la composición magmática que considera dos puntos para poder clasificarlos que es el fundido magmático y el ambiente donde se cristalice. (6)

- **Rocas intrusivas o plutónicas**

Son todas aquellas rocas que cristalizan desde el magma bajo la superficie de la tierra o en la corteza terrestre, su cristalización o formación es lenta y sus minerales tiende a ser grandes, como por ejemplo pueden ser: (6)

- Granito
- Pegmaita
- Tonalita
- Granodorita
- Diorita
- Gabro

- **Rocas extrusivas o volcánicas**

Son todas aquellas rocas que fueron expulsadas a la superficie o también llamada corteza terrestre, formando la cristalización rápidamente. Cuando su sede una cristalización violenta, estos minerales suelen ser pequeños, como por ejemplo pueden ser: (6)

- Riolita
- Andesita
- Basalto
- Piedra pómez
- Toba
- Obsidiana

- **Rocas ígneas porfiríticas**

Estos se cristalizan en un tiempo intermedio de estas dos rocas intrusivas y extrusivas, lo que el tamaño será medio y variado. (6)

**b. Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias son las que son formadas por la acumulación y litificación de partículas que se ha generado por procesos ya sea físico, químicos y biológico que ocurren en la superficie. (7)

- **Detríticas**

Estas rocas también denominadas clásticas o siliclásticas son aquellos que están compuestas por granos, por la acción de la meteorización física y erosión de rocas, estos detritos son transportados hacia cuencas sedimentarias, donde por diagénesis y litificación generan sedimentaria detrítica, como por ejemplo pueden ser: (7)

- Lutita
- Arenisca
- Conglomerado
- Limolita
- Lodolita

- **Químicas**

Son aquellas que se han formado por la precipitación química directa de partículas iónicas o coloidales disueltas en soluciones acuosas salinas concentradas, estas empiezan con la meteorización química, como por ejemplo pueden ser: (7)

- Caliza
- Dolomía
- Bauxita

- **Bioquímicas**

Son aquellos que por la acumulación y litificación del material sólido generan tipos de organismos que son microorganismos, como por ejemplo pueden ser: (7)

- Fosforita

- Caliza fosilífera
- Diatomita

- **Orgánicas**

Se forman por los procesos de acumulación, diagénesis y litificación de restos de planta y algunos seres vivos, como por ejemplo pueden ser: (7)

- Turba
- Lignito
- Carbón bituminoso
- Antracita

### **c. Rocas metamórficas**

- **Foliadas**

Son aquellas estructuras foliadas o bandeadas, esto nos indica que estas rocas al observarse se encuentra una alineación preferencial de acuerdo a los minerales en la roca, como por ejemplo pueden ser: (7)

- Pizarra
- Filita
- Esquisto
- Gneis
- Migmatita
- Milonita

- **No foliadas**

Son aquellos que se presenta masivas y cristalinas, es decir que no se observa foliación o bandeo de minerales, como por ejemplo pueden ser: (5)

- Mármol
- Cuarzita
- Antracita
- Brecha de falla

### 2.1.1.2. El color según el tipo de roca

Para poder reconocer una roca, lo primero que se tiene que evaluar, es los siguientes grupos al que se pertenece. (8)

#### a. Rocas ígneas

Tiene un aspecto granudo, poroso o vítreo. Nunca dispone en láminas. (8)

**Tabla 1. Color de las rocas ígneas**

Roca homogénea con cristales pequeños incluidos en una pasta vítrea		Roca heterogénea formada enteramente por cristales		
Color claro	Color oscuro			
PUMITA	OBSIDIANA	BASALTO	GRANITO	GABRO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poco pesada</li> <li>• Muy porosa</li> <li>• Flota en el agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligera</li> <li>• Sin poros</li> <li>• Aspecto brillante</li> <li>• Con fractura típica de vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesada</li> <li>• A veces con pequeños cristales visibles de olivino (verde o marrón)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granos minerales visibles a simple vista</li> <li>• De colores claros</li> <li>• Compuesta por cristales grises, translúcidos de cuarzo asociados a feldespatos (blanco o rosa) y mica negra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granos minerales visibles</li> <li>• Sólo minerales oscuros (gris, negro y verde)</li> </ul>

*Tomado del Instituto de Geociencias*

#### b. Rocas sedimentarias

##### • Rocas sedimentarias detríticas

**Tabla 2. Color de rocas sedimentarias detríticas**

Formada por fragmentos (detrítica)			
Fragmentos imperceptibles	Los fragmentos se ven a simple vista		
		CONGLOMERADOS	
ARCILLA	ARENISCA	PUDINGAS	BRECHAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se acerca a los labios húmedos se adhiere ligeramente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formada por granos de arena de tamaño &lt;2 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragmentos mayores de 2 mm de forma redondeada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragmentos mayores de 2 mm de forma angulosa</li> </ul>

*Tomado del Instituto de Geociencias*

- **Color de rocas sedimentarias no detríticas**

**Tabla 3. Color de rocas sedimentarias no detríticas**

No formada por fragmentos (no detrítica)		
CARBONATICAS	EVAPORITAS	ROCAS ORGANÓGENAS
CALIZA	SALES	CARBÓN PETRÓLEO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• De colores claros, gris, blanco, rosados</li> <li>• Puede contener fósiles</li> <li>• Hace reacción en contacto con ácido clorhídrico</li> <li>• Pueden tener origen orgánico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De color blanco, incoloro o carne</li> <li>• Algunas tiene sabor salado, Halita</li> <li>• Si son blancas y sin sabor son los yesos</li> <li>• Si son de color carne y sabor amargo, Carnalita o sin sabor, silvina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De color negro con zonas brillantes a mates en donde se aprecia en ocasiones la presencia de restos vegetales</li> <li>• Es blando y mancha de negro las superficies que toca</li> </ul>

*Tomado del Instituto de Geociencias*

**c. Rocas metamórficas**

Aspecto esquistoso o también llamado en láminas, se caracterizan por los colores claros (gris o blanco), grano fino y no poroso. (8)

**Tabla 4. Color de rocas metamórficas**

Con esquistosidad (láminas)			Sin esquistosidad	
PIZARRA	ESQUISTO	GNEIS	MÁRMOL	CUARCITA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roca oscura</li> <li>• Sin brillo o brillo mate</li> <li>• A veces puede contener fósiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roca brillante</li> <li>• A veces se pueden reconocer micas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esquistosidad menos definidas que las anteriores</li> <li>• Alternancia de bandas claras y oscuras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roca masiva sin estructura definida</li> <li>• Color blanco</li> <li>• Produce reacción con ácido clorhídrico</li> <li>• No raya el vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roca masiva sin estructura definida</li> <li>• Color blanco</li> <li>• No produce reacción con ácido clorhídrico</li> <li>• Raya el vidrio</li> </ul>

*Tomado del Instituto de Geociencias*

**2.1.1.3. La textura según el tipo de roca**

**a. Rocas ígneas**

- **Textura cristalina afanítica**

Los cristales no son visibles a simple vista. (9)

- **Textura cristalina fanerítica**

Son cristales reconocidos a simple vista estas se subdividen en diferentes tamaños: fanerítica fina que tiene un tamaño menor a 1mm, fanerítica media que

fluctúa su tamaño entre 1 y 5 mm, fanerítica gruesa que esta entre 5mm y 3cm y fanerítica muy gruesa que supera los 3cm. (9)

- **Textura granuda**

Son mosaicos de cristales homogéneo o heterogenia sin grandes contrastes de tamaño cristalino. (9)

- **Textura porfídica**

Son mosaico cristalino en que existen cristales de mayor tamaño inmersos en una masa de fondo de tamaño inferior. (9)

- **Textura vítrea**

Está constituida por vidrio, es el 90% del volumen que se toma un total de vidrio. (9)

- **Textura clástica**

Está constituida por fragmentos, cuyo tamaño, morfología y relaciones texturales puede ser variables, estos son por la acumulación de piroclastos. (9)

## **b. Rocas sedimentarias**

- **Textura clástica**

Esta está constituida por fragmentos llamado clastos de minerales y/ o rocas englobados por un material aglomerante que actúa de nexo. (9)

- **Textura cristalina**

Esta textura está constituida por mosaico de cristales minerales formados por precipitación química a partir de soluciones acuosas. (9)

- **Textura bioclástica**

Esta textura está constituida por los restos de organismo (conchas de bivalvos, gasterópodos, etc.). (9)

### **c. Rocas metamórficas**

- **Textura granoblástica**

Esta textura está constituida por un mosaico de cristales más o menos equidimensionales. (9)

- **Textura lepidoblástica**

Esta textura está constituida por minerales laminares, que son homogéneamente orientados más o menos paralelos entre sí. (9)

- **Textura Nematoblástica**

Esta textura está constituida por minerales prismáticos aciculares, que están dispuestos homogéneamente orientados con sus ejes mayores paralelos entre sí. (9)

- **Textura Porfidoblástica**

Esta textura está constituida por cristales de mayor tamaño, lo más conocido es el Gneises. (9)

#### **2.1.1.4. La porosidad $\eta$ (%)**

Es una relación que es expresada como un porcentaje. Entre “el volumen de espacios de vacíos de un suelo y el volumen total de la muestra, lo que nos dará una probabilidad de encontrar vacíos” en el volumen total. Por lo que  $0 < \eta < 100\%$  (se expresa en %). En el siguiente cuadro se verán los valores de  $\eta$  y la fórmula para poder calcularla. (10)

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} * 100(\%)$$

#### **2.1.1.5. Contenido de agua o humedad (%)**

Es la cantidad relativa agua que se encuentra en masa solidos o al volumen del suelo analizado. Esta se expresa por porcentajes (%) la relación es mediante el peso del agua y el peso del sólido. Esto también tuvo una gran controversia debido a que se encontrado diferentes tipos de agua que están en el suelo por lo que se recomienda secar el mineral en un horno a una tempera que varía entre  $105^{\circ}\text{C}$ - $110^{\circ}\text{C}$ , durante 18 a 24 horas, para luego saber su peso constante. (11)

Lo cual satura la muestra tomada del suelo, con conocimiento de la densidad del agua para así obtener el peso saturado.

$$H = \frac{\text{Peso húmeda} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100(\%)$$

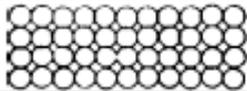
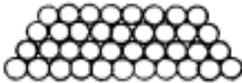
#### 2.1.1.6. Grado de saturación (%)

Se define como el grado o la proporción en que los espacios vacíos de un suelo o una roca contienen fluido (agua, petróleo). Se expresa como un porcentaje en relación con el volumen total de vacíos”. Es la relación porcentual entre el volumen de agua en una masa de suelo o roca, y el volumen total de espacios vacíos. Por lo que  $0 \leq S \leq 100\%$ . Físicamente en la naturaleza  $S=0\%$ , pero admitiendo tal extremo,  $S=0\% \Rightarrow$  suelo seco y  $S=100\% \Rightarrow$  suelo saturado. (10)

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100(\%)$$

#### 2.1.1.7. Relación de vacíos e (%)

Es una relación entre el volumen de espacios vacíos y el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo, lo que hace es una compactación este término se refiere al grado de acomodo alcanzado por las partículas del suelo dejando más o menos vacíos entre ellas. En la siguiente ilustración 1 se presenta una sección de los estados más sueltos y más compactos posible de tal conjunto. Las partículas sólidas tienen un valor puede ser menor a 1, y puede alcanzar valores muy altos. (10)

	Estado más suelto. $\eta = 47,6\%$ ; $e = 0,91$
	Estado más compacto. $\eta = 26\%$ ; $e = 0,35$

**Figura 1. Compactación**  
Tomado de Padilla Velázquez, Ricardo Rubén

$$e = \frac{V_v}{V_s} \text{ o } \frac{\eta}{1 - \eta}$$

#### 2.1.1.8. Densidad (kg/m³)

Las densidades se dividen en tres tipos:

### a. Densidad volumétrica

Es la densidad calculada cuando se ha medido el volumen total” (10)

$$D_v = \frac{m}{V_t}$$

### b. Densidad aparente

Esta densidad es la que habitualmente se determina experimentalmente.

(10)

$$D_a = \frac{m}{V_a}$$

### c. Densidad última del sólido

Es la densidad real del sólido. Para sólidos cristalinos se puede determinar una vez conocida la composición química exacta y la estructura cristalina, esto se conociendo la masa y las dimensiones que tiene el volumen”. (12)

$$D_u = \frac{m}{V_s}$$

#### 2.1.1.9. Absorción (%)

La absorción o también llamada succión de agua en el interior de los sistemas poroso de los materiales. La saturación en agua afecta de forma sustancial a otras propiedades físicas y mecánicas de los materiales, tales como la densidad global, conductividad térmica y resistencia mecánica, por lo que su medida es importante. Para poder determinar la absorción se basa en sumergir una probeta de muestra completa en agua, y medir gradualmente o parcialmente el incremento de la masa de las probetas en esos tiempos. (13)

$$Abs = \frac{Peso\ saturado - Peso\ seco}{Peso\ seco} \times 100$$

#### 2.2.2. Clasificación del macizo rocoso

##### 2.2.2.1. SMR – Romana

El SMR o Slope Mass Rating se tiene a que es una clasificación geomecánica que nos ayuda analizar la estabilidad del talud, esta clasificación nace a partir de la clasificación de Bieniawski, el índice de RMR. (14)

La obtención del SMR es la suma del RMR con los factores de ajuste más el factor de excavación, para tener en claro los factores de ajuste se obtiene del producto de los tres factores que están relacionados a la orientación de las discontinuidades.

La obtención se obtiene restando del RMR primario o básico un factor de ajuste  $F$  que depende de la orientación de las discontinuidades y sumando un factor de excavación  $F_4$  que es función del método de excavación utilizado (14)

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

### a) Factores de ajuste

- **Factores de ajuste por las juntas**

$F_1$  depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y el de la cara del talud. Se le asigna un valor de 1 cuando los dos rumbos son paralelos y 0,15 cuando esto difieren en más de 30°. (15)

Empíricamente, Romana (1985) ha obtenido la siguiente relación:

$$F_1 = |1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s)|^2$$

Donde:

$\alpha_j$  es la dirección del buzamiento de las discontinuidades.

$\alpha_s$  es la dirección del buzamiento del talud.

$F_2$  depende del buzamiento de la discontinuidad si la rotura plana es el mecanismo más probable de fallo del talud. Cuando la discontinuidad tiene un buzamiento de 45° o superior, al factor  $F_2$  se le asigna un valor de 1 y de 0,15 cuando dicho buzamiento es inferior a 20°. (15)

Romana (1985) propone la siguiente expresión para el cálculo de  $F_2$ :

$$F_2 = \text{tg}^2 \cdot \beta_j$$

Donde:

$\beta_j$  es buzamiento de la discontinuidad.

Si la rotura por vuelco es el mecanismo más probable, se adopta el valor de 1 para el factor  $F_2$ .

$F_3$  evalúa la relación entre el buzamiento de la junta y el del talud. Para este factor se utilizan los valores propuestos por Bienisawski para la orientación de las discontinuidades que se presentan a continuación. (15)

**Tabla 5. Valoración de la orientación de las discontinuidades**

Orientación de las Discontinuidades	Valor del parámetro de ajuste
Muy favorable	0
Favorable	-5
Normal	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

*Tomado de Ramírez y Alejano*

En caso de rotura plana,  $F_3$  indica la probabilidad de que las juntas afloren en la cara del talud. Se considera una situación normal cuando el buzamiento medio de la familia de discontinuidades es igual al del talud, con lo cual solo unas pocas juntas estarán descalzadas. Si el buzamiento de plano del talud es  $10^\circ$  mayor que el de las discontinuidades, las condiciones serán muy desfavorables ya que casi todas estarán descalzadas.

A continuación, se verá una tabla con los factores ya expuestos. (15)

**Tabla 6. Factor de ajuste de las juntas  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$**

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$<5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
P/T	$F_1$	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$>45^\circ$
	$F_2$	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	$F_2$	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ-0$	$0^\circ$	$0-(-10^\circ)$	$<-10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ-120^\circ$	$>120^\circ$		-
P/T	$F_3$	0	-5	-25	-50	-60

*Tomado de Romana, M.*

- **Factores de ajuste por método de excavación  $F_4$**

Los taludes naturales son más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el talud, y de los mecanismos internos de protección que

muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc.).  $F_4 = + 15$ " (15)

El precorte aumenta la estabilidad de los taludes en media clase.  $F_4 = + 10$ ". (15)

Las técnicas de voladura suave (recorte), bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes.  $F_4 = + 8$ ". (15)

Las voladuras normales, con métodos razonables, no modifican la estabilidad.  $F_4 = 0$ . (15)

Las defectuosas, muy frecuentes, pueden dañar seriamente a la estabilidad.  $F_4 = - 8$ . (15)

La excavación mecánica de los taludes por ripado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad.  $F_4 = 0$ . (15)

**Tabla 7. Factor de ajuste por el método de excavación  $F_4$**

<b>Método de excavación</b>	<b>Puntuación</b>
Taludes naturales, son los más estables.	$F_4 = +15$
Excavados mediante precorte	$F_4 = +10$
Excavados con técnicas de voladura suave (recorte)	$F_4 = +8$
Ejecutados por medio de voladuras bien realizadas	$F_4 = 0$
Excavados mediante voladuras defectuosas que pueden dañar la estabilidad	$F_4 = -8$
Excavación mecánica de taludes por "ripado", estos suelen suceder en el macizo rocosos muy fracturados o en rocas blandas	$F_4 = 0$

**Tomado de Romana, M.**

### 2.2.2.2. RMR – Bieniawski (Rock Mass Rating)

De acuerdo al RMR o Rock Mass Rating es una clasificación geomecánica que fue diseñado por Z.T. Bieniawski, en los años de 1973 se tuvieron 8 parámetros, pero a partir de los años 1974 y que posteriormente fue modificado hasta los años 1989, por lo que se trata de 6 parámetros con 5 valores que tienen como función de condiciones para ciertos parámetros, al tener el valor de cada uno de estos se tendrán que sumar, lo que tendrá un rango de 0 a 100.

Según Bieniawski (1989), menciona que los siguientes 6 parámetros son usados para clasificar la roca, usando el sistema RMR: (16)

- Resistencia a la compresión simple
- RQD
- Espaciamiento entre diaclasas
- El estado de las diaclasas
- La presencia de agua
- La orientación de las discontinuidades

Este parámetro se obtendrá por una serie de condiciones que nos ayudará a la obtención de una puntuación de cada uno de ellos, lo que no dará un valor del RMR que variará en un rango de 0 a 100.

De acuerdo al valor que se obtenga del RMR, el macizo rocoso se clasifica de la siguiente manera.

**Tabla 8. Tipo de clases del RMR**

Tipos de Clase	RMR	Descripción
CLASE I	$RMR > 80$	Macizo rocoso muy bueno
CLASE II	$80 > RMR > 60$	Macizo rocoso bueno
CLASE III	$60 > RMR > 40$	Macizo rocoso medio
CLASE IV	$40 > RMR > 20$	Macizo rocoso malo
CLASE V	$RMR < 20$	Macizo rocoso muy malo

*Tomado de Bieniawski*

**a. Resistencia de la roca inalterada  $\sigma_c$ :**

La resistencia de la roca se determina usando la carga puntual o carga simple o mediante el martillo de Schmidt, esta tiene una valoración que puede llegar a 15 puntos:

- **Mediante la carga puntual**

Se determina la resistencia a la compresión simple de la roca mediante los testigos que se realizan por sondajes o en laboratorio a partir del índice de resistencia a la capara puntual (Is). Este procedimiento consiste en romper una muestra que después se pondrán en dos puntas cónicas metálicas que serán accionadas por una prensa. (17)

- **Mediante el ensayo de compresión simple**

Se realiza en una probeta de roca que se somete a una carga axial de compresión, en una prensa que esta llega a la rotura.

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

- **El martillo de Schmidt.**

Consiste en realizar ensayos en las diferentes posiciones del martillo hacia la roca, así se obtendrá diferentes valores lo que significa que, a mayores ensayos en el macizo rocos, mayor será la fiabilidad de los resultados.

Se encuentra una relación son rebotes obtenidos por el martillo Schmidt, por lo que se consideran los valores más altos de la mitad de los rebotes realizados.

$$\log \sigma_c = 0.0008 \gamma R + 1.01$$

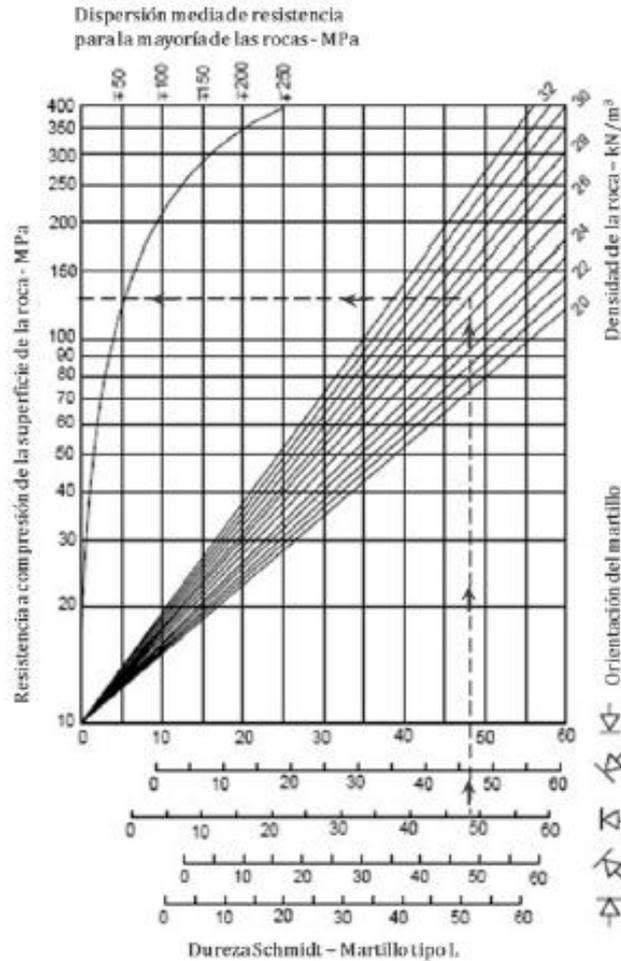
Donde:

$\sigma_c$ = resistencia compresiva de la roca.

$\gamma$ = densidad de la roca en KN/m<sup>3</sup>

R=rebote del martillo tipo L

Estas medidas del rebote se correlacionar con la resistencia mediante el grafico de Miller (18)



**Figura 2. Correlación del martillo Schmidt y la densidad para la obtención de la resistencia de compresión  
Tomado de Miller, 1965**

### b. RQD (Rock Quality Designation)

El RQD es un parámetro que constituye a la calidad de roca para su determinación, este no considera factores externos. La mínima puntuación de este parámetro es de 3 y la máxima es de 20 puntos. A continuación, verán las tres formas de cálculo del índice:

- **Primer procedimiento**

Se calculó a través de perforaciones diamantinas, midiendo y sumando el trozo de testigos mayores que 10 cm, que son recuperados del sondaje diamantino. (19)

$$RQD = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{L_{total}} * 100$$

Donde:

$l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  = Longitud de los testigos superiores a 10 cm

$L_{total}$  = Longitud total del sondeo

- **Segundo procedimiento**

Este método es calculado por  $\lambda$ , es expresada por el número de juntada por unidad de longitud en cualquier dirección. (19)

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de fisuras}}{SPAN}$$

- **Tercer procedimiento**

El último procedimiento es por discontinuidades, que se encuentran por metro cúbico del macizo rocoso, representado por el  $j_V$ . (19)

○  $RQD = 115 - 3.3j_V$ .

Donde:

$j_V$ . = número de discontinuidades por metro cúbico

### c. Espaciamiento entre diaclasas

Este parámetro considerado es el espaciamiento que se encuentra entre familias de diaclasa en el macizo rocoso esta separación estará o se encontrará en metros. Este tiene como puntuación mínima de 5 y como máxima es de 20 puntos, se vio que este parámetro influye de forma directa a la resistencia del macizo rocoso que a mayor cantidad de las juntas la resistencia disminuirá.

**Tabla 9. Puntuación de espaciamiento entre diaclasas**

Espaciamiento entre diaclasas	>2	0.6-2m	2-0.6m	0.06-0.02m	<0.06m
Puntuación	20	15	10	8	5

Tomado de *Bieniawski, Z.T.*

### d. El estado de las diaclasas

- **Persistencia**

La persistencia es considerada como longitud de la discontinuidad en un determinado plano

**Tabla 10. Puntuación de persistencia**

Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Puntuación	6	4	2	1	0

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

- **Apertura**

La apertura es la distancia entre paredes adyacentes de una discontinuidad estas pueden estar con aire, agua u otro material, la apertura es una discontinuidad que tiene permeabilidad de la discontinuidad y del macizo rocoso.

**Tabla 11. Puntuación de apertura**

Apertura	Nada	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5mm
Puntuación	6	5	4	1	0

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

- **Rugosidad**

Es la existencia de que existe en el plano de la discontinuidad lo que hace incidir en la resistencia al corte.

**Tabla 12. Puntuación de la rugosidad**

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
Puntuación	6	5	4	1	0

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

- **Relleno**

El relleno es definido por su espesor. Esta se encuentra en las discontinuidades, el material que se tiene debe de ser continuo y consistente. Lo que esto hará es tener una resistencia al corte de las discontinuidades que se tienen.

**Tabla 13. Puntuación de relleno**

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno Blando >5mm
Puntuación	6	4	2	2	0

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

- **Alteración**

El grado de la alteración es reflejado en la matriz de la roca.

**Tabla 14. Puntuación de la alteración**

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

**e. Presencia de agua**

La presencia de agua es vital y de suma importancia en el macizo rocoso, en las diaclasas, debido a que estos criterios nos ayudarán a saber el flujo de agua en el que nos encontramos. La presencia del agua tendrá un valor máximo de 15 puntos.

**Tabla 15. Puntuación del agua freática**

Agua freática	Caudal por 10m de tunel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min
	Relacion de agua/Tension principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuacion	15	10	7	4	0

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

**f. Orientación de las discontinuidades**

Se enfoca la orientación en la que se encuentra el rumbo y el buzamiento, este nos ayudará a la toma de decisión cuando es un túnel, cimentación o talud para la labor que se pretende ejecutar. Este parámetro de orientación de las discontinuidades tiene un puntaje desde 0 hasta -60.

**Tabla 16. Orientación de las discontinuidades**

Orientaciones rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valoraciones	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

### g. Clasificación del RMR

**Tabla 17. Clasificación del RMR**

Clasificación del RMR					
PUNTUACION	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

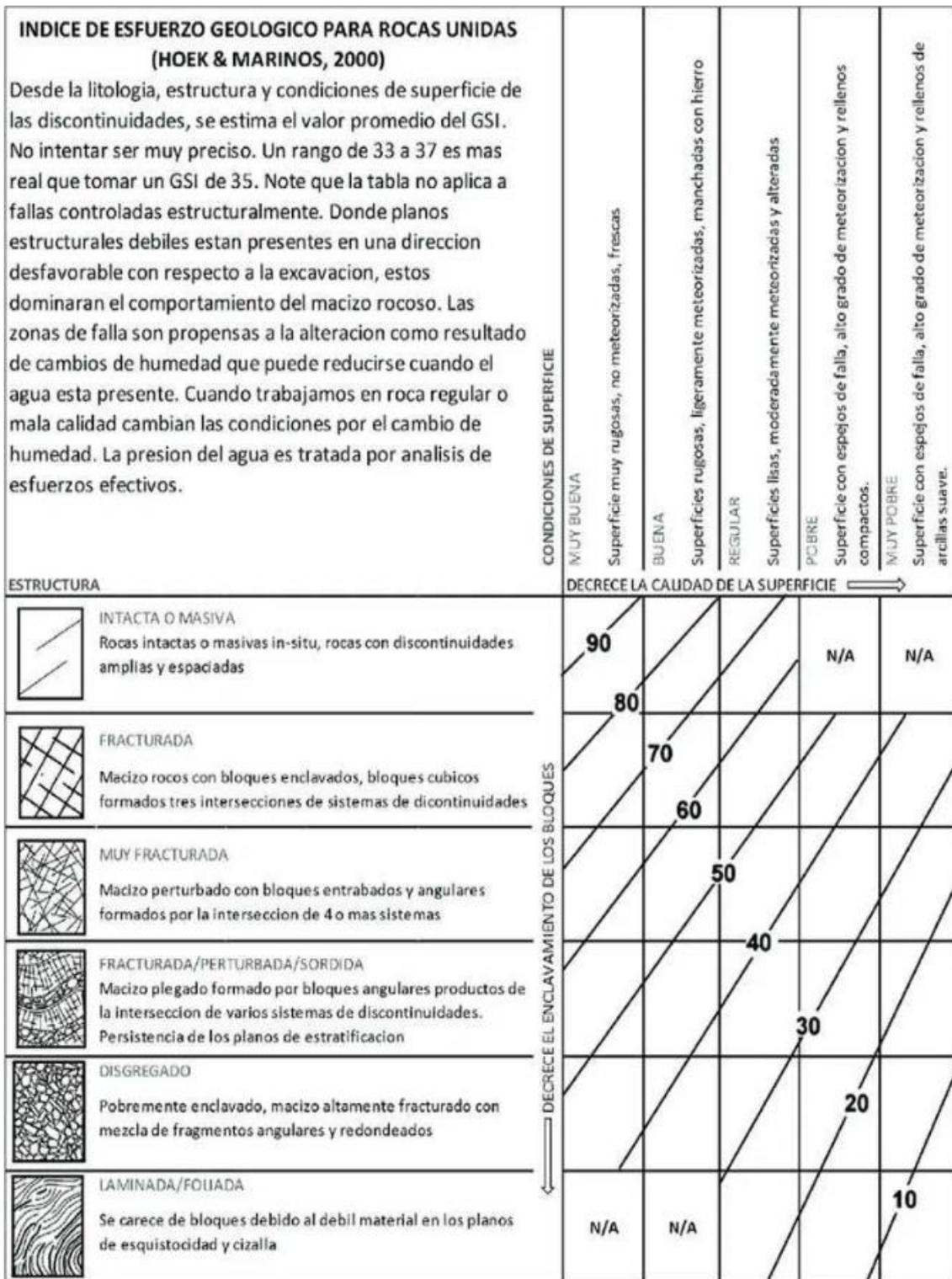
*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

### h. GSI – Hoek y Marinos (2000)

El GSI o también llamado índice de resistencia geológica es un método de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso. Esta se basa en la observación del macizo rocoso a través de su nivel de estructura y de las discontinuidades presentes en su superficie.

Este índice de resistencia geológica tiene una valoración entre 0 hasta 100, los valores que son más pequeños se les considera como macizo rocoso débiles o de menor calidad, donde en esta se puede visualizar meteorizada y altamente fragmentada, por lo contrario, cuando hay una valoración cerca de 100 nos indica que el macizo roco es de buena calidad con una estructuración sin afectación de meteorización de la roca y poca fragmentación.

- Calidad muy buena  $80 < \text{GSI} \leq 100$
- Calidad buena  $60 < \text{GSI} \leq 80$
- Calidad regular  $40 < \text{GSI} \leq 60$
- Calidad mala  $20 < \text{GSI} \leq 40$
- Calidad muy mala  $0 < \text{GSI} \leq 20$



**Figura 3. Clasificación geomecnica del GSI Tomado de Hoek y Marinos,2000**

**2.2.3. Criterio de rotura del macizo rocoso**

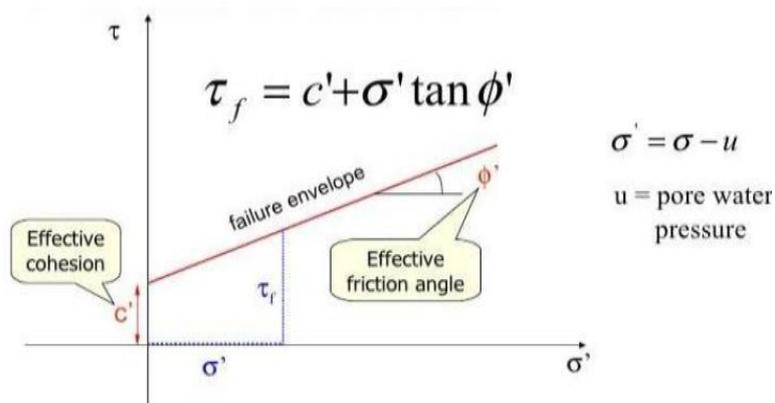
**2.2.3.1. Criterio de rotura de Mohr y Coulomb**

También conocido como “el criterio de la fricción interna”, lo que predice que el material fallará si el esfuerzo cortante en un plano potencial de fractura excede

el valor dado por el producto del esfuerzo normal y un coeficiente conocido como fricción interna más un cierto valor inicial. (21)

- La formulación del corte directo del criterio viene dada por la siguiente fórmula.

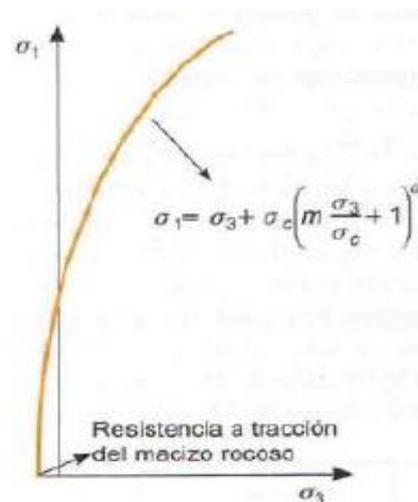
$$\tau' = c' + \sigma_n' \cdot \tan \phi'$$



**Figura 4. Corte directo mediante Mohr y Coulomb**  
Tomado de Hoek, y otros, 2002

- El criterio para los datos triaxiales viene dado por el criterio de Mohr y Coulomb

$$\sigma_1' = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma_3'$$



**Ilustración 5. Envolvente triaxial de Mohr y Coulomb**  
Tomado de Hoek, y otros, 2002

### 2.2.3.2. Criterio de rotura de Hoek y Brown

La formulación del criterio de rotura de Hoek y Brown:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Siendo:

$$m_b = m_i \exp \left( \frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right)$$

$$s = \exp \left( \frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right)$$

$$s = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{GSI}{15}} \right)$$

Parámetros:

$m_b$ ,  $s$  y  $a$  están definidos por las expresiones indicadas, a su vez son función de:

- $m_i$ : parámetro de la roca intacta
- GSI: Índice de Resistencia Geológica
- D: factor de alteración del macizo rocoso

#### • Envoltente de rotura no lineal de Hoek y Marinos

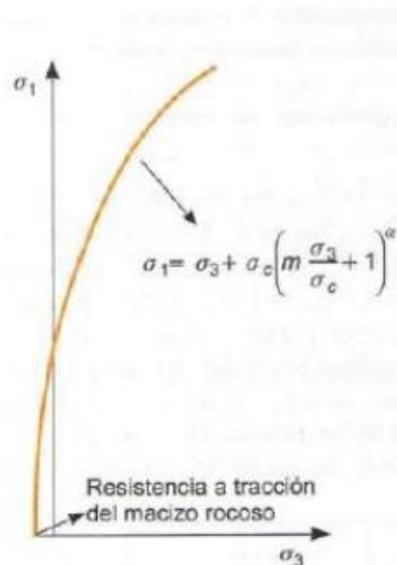
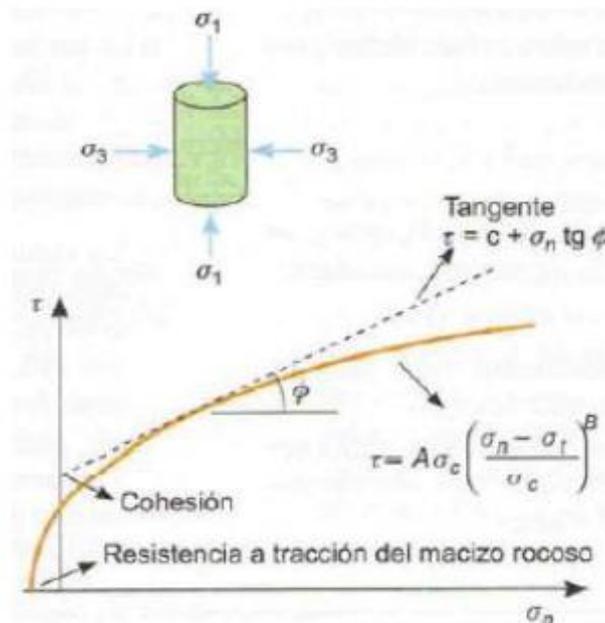


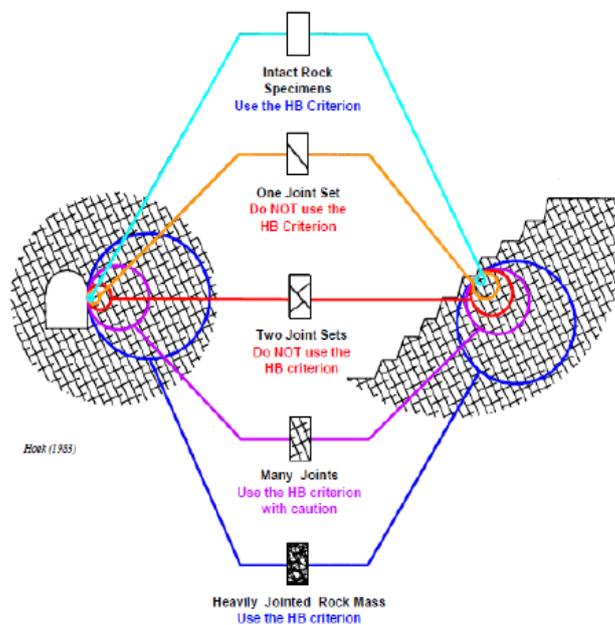
Figura 6. Envoltente de rotura no lineal de Hoek y Marinos  
Tomado de Hoek, Brown y otros

- **Envolvente triaxial de Hoek y Marinos**



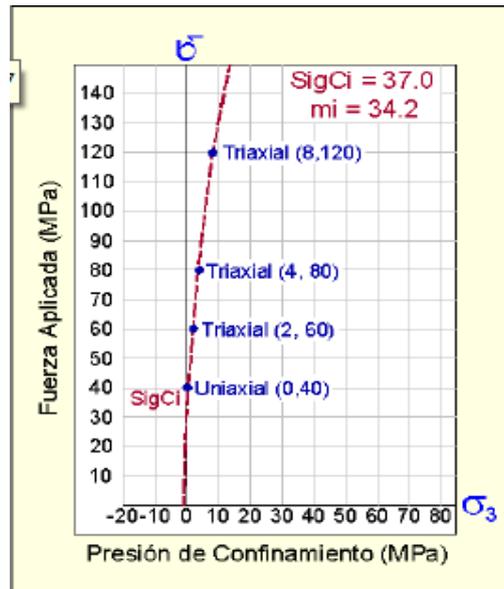
**Figura 7. Envolvente triaxial de Hoek y Marinos**  
Tomado de Hoek, Brown y otros

- **Validez del Criterio**



**Figura 8. Validez de criterio de Hoek y Marinos**  
Tomado de Hoek, Brown y otros

- Estimación del parámetro “mi”



**Figura 9. Ensayos triaxiales**  
Tomado de Hoek, Brown y otros

### 2.2.3.3. Criterio de Barton y Choubey

Se trata de un criterio empírico, deducido a partir del “análisis del comportamiento de las discontinuidades en ensayos de laboratorio, que permite estimar la resistencia al corte de las discontinuidades rugosas”. Se expresa de la siguiente forma: (22)

$$\tau = \sigma_n * \tan \left( \phi_r + JRC \cdot \log_{10} * \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right)$$

$\phi_r$ : ángulo de fricción residual

$JRC$ : coeficiente de rugosidad de la junta

$JCS$ : la resistencia a la compresión simple de las paredes de la discontinuidad

El ensayo de corte directo determina la resistencia al corte pico y residual en discontinuidades en función de los esfuerzos normales aplicados sobre el plano, y consiste en aplicar esfuerzos tangenciales a una muestra de roca que contiene la discontinuidad a ensayar hasta provocar el desplazamiento relativo entre las dos partes. La carga normal aplicada permanece constante a lo largo del ensayo. (22)

- Angulo de rozamiento residual ( $\varphi_r$ )
  - Si las paredes de la discontinuidad no están meteorizadas  $\varphi_r = \varphi_b$ )
  - Si las paredes de la discontinuidad están meteorizadas,  $\varphi_r$  se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\varphi_r = (\varphi_b - 20) + 20(r/R)$$

- r es el rebote del martillo en la superficie meteorizada
- R es el rebote del martillo en la superficie sana

- JRC

El coeficiente JRC depende de la rugosidad de las paredes de la discontinuidad, y varía entre 1 y 20. Se puede obtener a partir de los perfiles de rugosidad estándar.

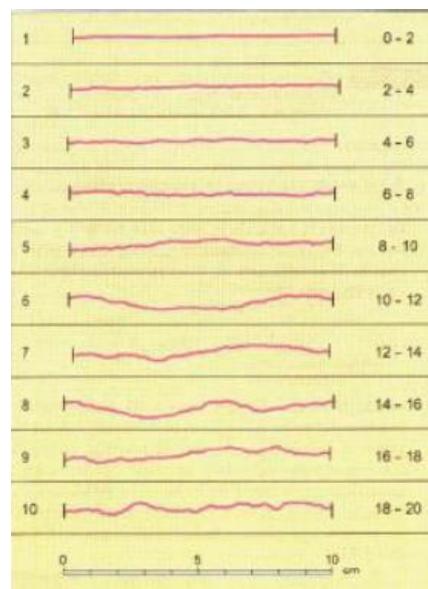
- JCS

Puede obtenerse a partir de los resultados del esclerómetro sobre la pared de la junta mediante la expresión:

$$\log \sigma_c = 0.0008\gamma r + 1.01$$

r: rebote del martillo en superficie meteorizada

$\gamma_{roca}$ : peso específico de la roca (KN/m<sup>3</sup>)



**Figura 10. Criterio de rugosidad mediante Barton y Choubey  
Tomado de Barton, N y Choubey, V**

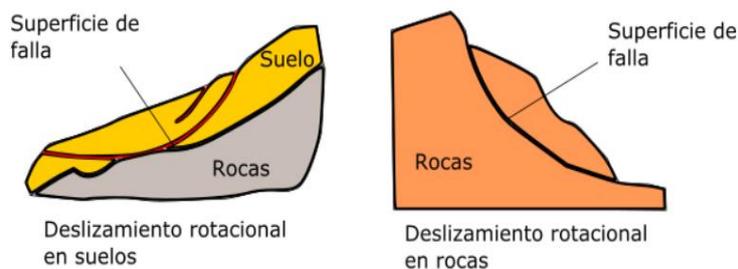
#### 2.2.4. Modelo de rotura en el talud

El comportamiento de los bancos o taludes de un frente tiene una gran posibilidad de roturas. A medida que estas no son controladas debidamente, estas pueden ocasionar grandes daños a la empresa de forma directa en a los costos y a la seguridad. Por lo que a continuación se verán diferentes tipos de fallas que ocasión rotura en los bancos o talud, en ellos se encuentra las estructuras (con control estructural) y cuando estas no se identifican con las familias se les denomina falla (sin control estructural). (23)

##### 2.2.4.1. Deslizamiento rotacional

Deslizamiento ocurre a lo largo de una superficie de ruptura del suelo de la ladera es curva y cóncava. La masa se inclina o gira hacia atrás formando como una cuchara, estas se dividen en tres partes que son de forma circular, somera y no circular.

La relación que debe ser es  $0.15 < D/L < 0.33$ , donde D es distancia del cuervo cóncavo o curvo y L es la longitud.

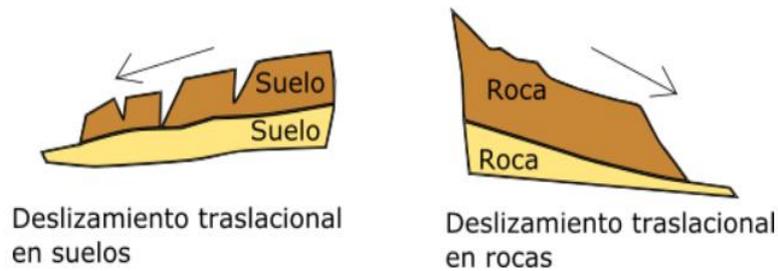


**Figura 11. Deslizamiento rotacional**  
**Tomado de Geologiaweb**

##### 2.2.4.2. Deslizamiento traslacional

Es un deslizamiento que se mueve en contacto con la superficie subyacente, este deslizamiento comúnmente un plano de estratificación, puede ser además la superficie de falla/fractura.

La relación que debe ser es  $D/L < 0.10$ , donde D es distancia del cuervo cóncavo o curvo y L es la longitud.



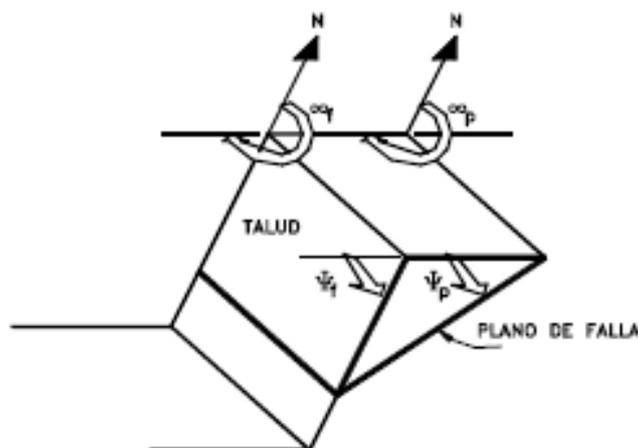
**Figura 12. Deslizamiento traslacional**  
Tomado de Geologiaweb

### 2.2.4.3. Deslizamiento planar

Es controlada por una sola discontinuidad, se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser una estratificación, una junta tectónica, una falla geológica, etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud, con la misma dirección que el talud y un buzamiento mayor que el ángulo de fricción de las discontinuidades.

Condiciones geométricas necesarias para la rotura plana:

- El plano de rotura buza paralelamente o aproximadamente paralelo (dentro de  $20^\circ$ ) a la cara del talud
- El plano de rotura
- Buzamiento del plano de rotura mayor que el ángulo de fricción interna de la superficie de rotura interna de la superficie de rotura (discontinuidad)

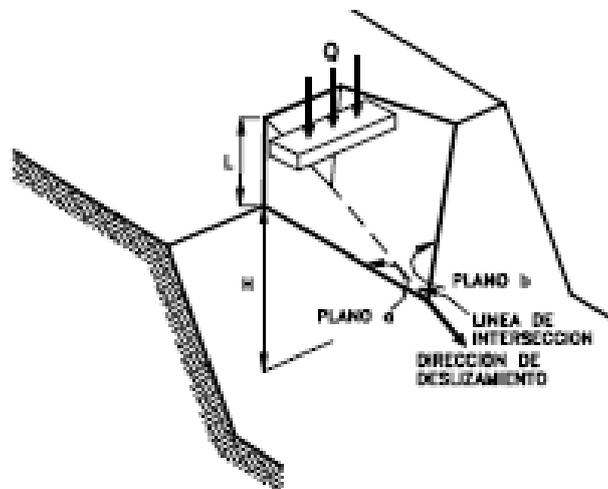


**Figura 13. Deslizamiento planar**  
Tomado de Hoek, E.y Bray J.W.(1981)

#### 2.2.4.4. Deslizamiento por cuñas

Controlada por dos discontinuidades, este corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de la línea de su intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y se deben cumplir iguales condiciones cinemáticas que para la rotura plana. Se tiene las siguientes condiciones generala para la rotura por cuña.

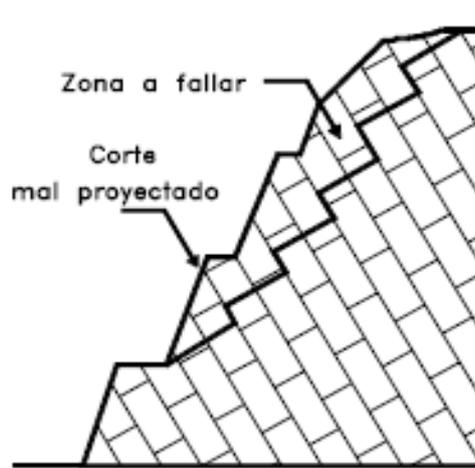
- Buzamiento de la línea de intersección mayor que el ángulo de fricción de las superficies de rotura (discontinuidades).
- Inclinación de la línea de intersección menor que el buzamiento de la cara del talud.
- Orientación de la línea de intersección intercepta la cara del talud, y es aproximadamente paralela a la dirección de buzamiento de la cara del talud.



*Figura 14. Deslizamiento por cuñas  
Tomado de Hoek, E.y Bray J.W.(1981)*

#### 2.2.4.5. Deslizamiento en escaleras

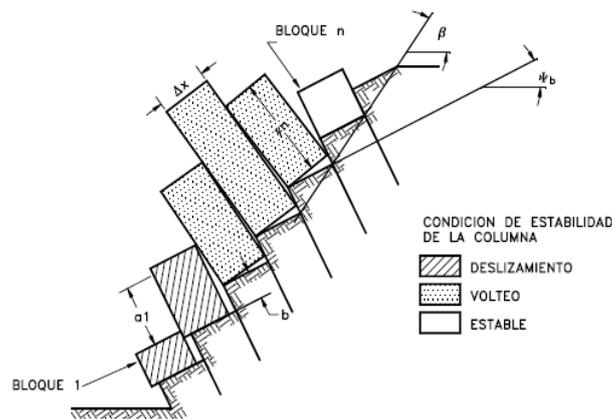
Controlada por varias discontinuidades a diferentes niveles



**Figura 15. Deslizamiento en escaleras**  
Tomado de Hoek, E.y Bray J.W.(1981)

#### 2.2.4.6. Deslizamiento por volteo

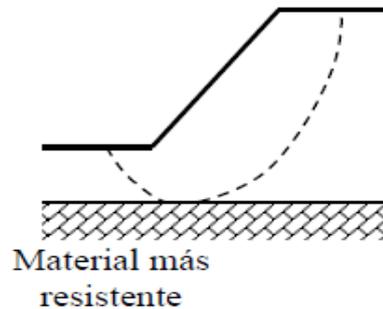
Involucra columnas de roca definidas por discontinuidades de buzamiento de gran magnitud, se produce en taludes donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o sub paralela al mismo. En general, los estratos aparecen fracturados en bloque a favor de sistemas de discontinuidades ortogonales entre sí. (24)



**Figura 16. Deslizamiento por volteo**  
Tomado de Hoek, E.y Bray J.W.(1981)

#### 2.2.4.7. Deslizamiento circular

Ocurren en masas rocosas que están muy fracturadas o compuestas de material con muy baja resistencia al cortante.



*Figura 17. Deslizamiento circular  
Tomado de Hoek, E. y Bray J.W. (1981)*

## 2.2.5. Cálculo de la estabilidad de talud

### 2.2.5.1. Factores que afectan o controlan la estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud está enfocada en diferentes factores como se explicará a continuación. Uno de los factores es el geométrico que viene hacer la altura y la inclinación. Los factores geológicos son como se presenta el macizo rocoso al medio ambiente, estos nos llevarán la presencia de planos y zonas débiles y algunas alteraciones en el talud. Por otro lado, en los factores hidrogeológicos que son la presencia de agua y los factores con el comportamiento mecánico del terreno.

#### a. Fuerzas desestabilizadoras.

Provocados por las acciones externas y por el propio peso del material

#### b. Fuerzas estabilizadoras.

Se desarrollan como reacción a las fuerzas desestabilizadoras

### 2.2.5.2. Componente de análisis de estabilidad de taludes

- Geometría del talud
- Modelo geológico – geotécnico
- Condiciones de agua subterránea
- Cargas en el talud
- Sostenimiento
- Análisis del tipo o modo de rotura
- Criterio de rotura del suelo y/o roca

### **2.2.6. Métodos para el diseño del banco**

En el diseño del banco hay diferentes modelos, para poder diseñarlos como pueden ser el método límite de equilibrio, análisis cinemática, modelos numéricos y dinámicos. Por lo que se recomienda usar los métodos numéricos ya que estos nos muestran una mejor expresión de los detalles de las condiciones de la estabilidad de taludes.

Sin embargo, nos encontramos con otro método que es el de límite de equilibrio que son más sencillos de utilizar y permiten ver las fallas de traslación como de rotación, las fallas en cuña. Esta nos dará la estabilidad del banco que tiene una relación directa con el factor de seguridad. Si la fuerza de desplazamiento es menor que la resistencia al corte de la roca, entonces nos indicarán que la pendiente es estable. Pero un diseño se enfoca en la estabilidad del talud y prevenir otros riesgos como la caída de rocas por lo que se adhiere bermas o bancos en forma escalonada.

Por lo que se conoce el factor de seguridad tienes rangos de estabilidad, por ejemplo, cuando es menor a 1 se dice que es inestable, mientras que es igual a uno esta se encuentra en equilibrio, pero si es mayor a uno, se dice que es estable. Pero para minería que se desarrollan a cielo abierto este factor varía en un intervalo de estabilidad de 1.2 a 1.4, utilizando el análisis de equilibrio límite para calcular los esfuerzos excesivos en la pendiente. (23)

#### **2.2.6.1. Metodología utilizada en la modelación del diseño de banco**

Las metodologías disponibles que se verán a continuación nos ayudan a analizar el comportamiento del macizo rocoso.

**Tabla 18. Métodos para el análisis geotécnico**

Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Límite de equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elasto-plásticas y "creep". Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de "creep".	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

*Tomado de Suarez Díaz, Jaime*

### 2.2.6.2. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Las tablas que se presentará más adelante nos darán una idea general de la estabilidad del talud. Estos desarrollan un cálculo rápido del factor de seguridad, de los cuales se separaron los más importantes para poder describirlos un poco más. (25)

#### a) Ordinario (Fellenius)

- Presupone una superficie circular de rotura
- Ignora las fuerzas entre fajas (normales y tangenciales)
- Solo se satisface el equilibrio de momentos
- Es uno de los procedimientos más simples

b) Bishop simplificado (1955)

- Presupone que los esfuerzos de corte entre dovelas son nulos (esto reduce que el número de incógnitas en  $n-1$ ).
- Se satisfacen el equilibrio de momentos respecto del centro de la superficie de rotura y el equilibrio de fuerzas en la dirección vertical.
- La solución resulta sobredimensionada (el equilibrio de fuerzas horizontales no se satisface para una dovela)

c) Janbu simplificado

- Presupone que los esfuerzos de corte entre dovelas son nulos (esto reduce el número de incógnitas en  $n-1$ ).
- Se satisfacen los equilibrios de fuerzas en las direcciones horizontal y vertical.
- La solución resulta sobredimensionada (el equilibrio de momentos respecto del centro de la superficie de rotura no se satisface completamente).

d) Janbu corregido

- Presupone que los esfuerzos de corte entre dovelas son nulos (esto reduce el número de incógnitas en  $n-1$ ).
- El método introduce un factor de corrección "fo", que tiene en cuenta la inexactitud de asumir esfuerzos de corte nulos entre fajas.
- La solución resulta sobredimensionada (el equilibrio de momentos respecto del centro de la superficie de rotura no se satisface completamente)

e) Lowe y Karafiath

- Presupone que las fuerza entre dovelas están inclinadas a un ángulo =  $(\text{ángulo de la superficie del terreno} + \text{ángulo de la base de la dovela}) / 2$ .
- Se satisfacen los equilibrios de fuerzas en las direcciones horizontal y vertical

- La solución resulta sobredimensionada (el equilibrio de momentos respecto del centro de la superficie de rotura no se satisface completamente).

f) Corps of Engineers I

- Presupone que las fuerzas entre dovelas están inclinadas a un ángulo = ángulo de la superficie del terreno.
- Se satisfacen los equilibrios de fuerzas en las direcciones horizontal y vertical.
- La solución resulta sobredimensionada (el equilibrio de momentos respecto del centro de la superficie de rotura no se satisface completamente).

g) Corps of Engineers II

- Presupone que las fuerzas entre dovelas están inclinadas a un ángulo = ángulo promedio de las tangentes de los puntos límites derecho e izquierdo de la superficie de rotura.
- Se satisfacen los equilibrios de fuerzas en las direcciones horizontal y vertical.
- La solución resulta sobredimensionada (el equilibrio de momentos respecto del centro de la superficie de rotura no se satisface completamente).

h) Spencer

- Presupone que las fuerzas entre fajas están inclinadas a un ángulo constante y no conocido (es decir por calcular).
- El equilibrio se satisface completamente

i) Morgenstern – Price

- Similar al método de Spencer, que presupone que las fuerzas entre fajas están inclinadas a un ángulo constante pero no conocido (y por calcular).
- La inclinación se presupone que varía de acuerdo a una función arbitraria.
- El equilibrio se satisface completamente.

**Tabla 19. Autores para el cálculo del talud**

Autor	Parámetros	Inclinación del Talud	Método Analítico Utilizado	Observaciones
Taylor (1966)	$c_u$ $c, \phi$	0-90° 0-90°	$\phi = 0$ Círculo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
Bishop y Morgenstern (1960)	$c, \phi, r_u$	11-26.5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua.
Gibson y Morgenstern	$c_u$	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con cero resistencia en la superficie y $c_u$ aumenta linealmente con la profundidad.
Spencer (1967)	$c, \phi, r_u$	0-34°	Spencer	Círculos de pie solamente.
Janbú (1968)	$c_u$ $c, \phi, r_u$	0-90°	$\phi = 0$ Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
Hunter y Schuster (1968)	$c_u$	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y $c_u$ aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Giger (1971)	$c, \phi$	20-90°	Análisis límite	
O'Connor y Mitchell (1977)	$c, \phi, r_u$	11-26°	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$
Hoek y Bray (1977)	$c, \phi$ $c, \phi$	0-90° 0-90°	Círculo de fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.
Cousins (1978)	$c, \phi$	0-45°	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1966).
Charles y Soares (1984)	$\phi$	26-63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.
Barnes (1991)	$c, \phi, r_u$	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

*Tomado de Suarez Días, Jaime*

Para determinar el método, se elaboró un resumen de la tabla ya mencionada, donde se figura cuáles de los métodos es más eficiente, ya que estos disponen de las fuerzas horizontales, verticales y el momento de equilibrio.

**Tabla 20. Resumen del método más eficiente para el cálculo del talud**

Metodo	Equilibrio de Fuerzas		Equilibrio de Momentos
	Horizontal	Vertical	
Ordinario	No	No	Si
Bishop simplificado	No	Si	Si
Janbu simplificado	Si	Si	No
Lowe-Karafiath	Si	Si	No
Corps of engineers	Si	Si	No
<b>Spencer</b>	<b>Si</b>	<b>Si</b>	<b>Si</b>
<b>GLE (Morgenstern-Price)</b>	<b>Si</b>	<b>Si</b>	<b>Si</b>

### **2.2.6.3. Factor de seguridad**

El mecanismo de fallas nos permite determinar el factor de seguridad, el que nos entrega las condiciones mínimas según la inclinación del talud.

En la ingeniería se estipula que para taludes mineros su factor más utilizada deben ser mayor a 1.3. Pero esto tendrá un valor de acuerdo de que si esta pendiente es seca o una pendiente excavada en una masa roca donde el nivel del agua subterránea es muy alto.

Según Arturo nos indica que una pendiente saturada fallará si se excava en un ángulo más pronunciada que  $64^\circ$ , pero si es para una pendiente seca esta será muy estable y dependerá del factor de seguridad y a la altura a que se está trabajando para la minería, donde una pendiente tiene que permanecer estable durante un periodo corto, se le considera un factor 1.5 como valor aceptable, pero para una pendiente permanente, se le considera un factor de seguridad de 1.5 que se le es el más apropiado, en el siguiente cuadro se verá la relación general de taludes de acuerdo a su altura y su inclinación. (26)

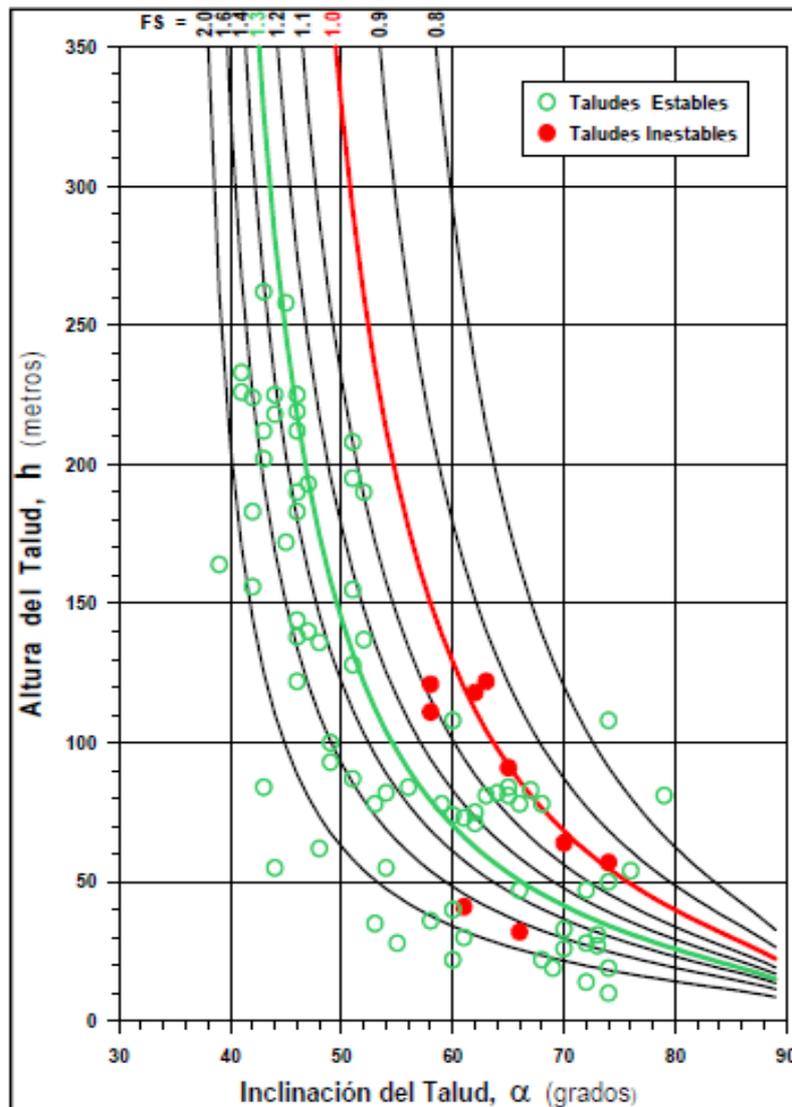


Figura 18. Relación de estabilidad de talud respecto a la altura e inclinación  
Tomado de Morales Cárdenas, Mario Orlando

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Altura del banco**

Es la distancia vertical entre el punto más alto de un banco de explotación y el pie del mismo.

- **Angulo global**

Es el ángulo formado entre el copete y la horizontal de la base, cuando el material se estabiliza por sí mismo.

- **Angulo de fricción**

Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento.

- **Persistencia**

La persistencia es considerada como longitud de la discontinuidad en un determinado plano.

- **Ancho de berma**

Son los volúmenes del macizo rocoso que son derramos por la inestabilidad así pudiendo controlar la estructura del banco

- **Buzamiento**

Es la inclinación máxima que forma el estrato con la horizontal, medido perpendicularmente al rumbo.

- **Caliza**

Es una roca sedimentaria que está compuesta por carbonato de calcio.

- **Cartilla geomecánica**

Es una herramienta de trabajo para poder identificar el tipo de roca al que pertenecer.

- **Diaclasas**

Es una fractura en la roca que esta no presenta deslizamiento del bloque, pero está a la vez puede tener una mínima separación de manera transversal.

- **Discontinuidades**

Es un cambio abrupto en las propiedades físicas de materiales adyacentes en el interior de la tierra.

- **Diseño de banco**

El diseño de banco se realiza de forma escalonada en los yacimientos de rajo abierto, esto disponen de dos caras descubiertas: una de ella es la cara superior horizontal y la otra es una cara vertical lateral.

- **Dureza**

Resistencia de un mineral a ser quebrado en su estructura, se toma como ejemplo que si un mineral es más duro cuando este es rayado por otro.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

Es la distancia perpendicular en que se encuentran dos discontinuidades.

- **Factor de Seguridad**

El factor de seguridad o también llamado coeficiente de seguridad es el valor del resultante de dividir la resistencia al corte disponible del suelo entre el esfuerzo cortante actuante.

- **Factores de ajuste por el método de excavación**

Los factores es el comportamiento de cómo se realiza la explotación en la unidad minera

- **Falla**

Es una fractura o zona fracturada a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura.

- **Estabilidad**

Es la resistencia que un cuerpo a la destrucción mecánica de su estructura, a la falla por deslizamiento bajo condiciones normales, para las que fue diseñado.

- **Macizo rocoso**

Es el conjunto del bloque de matriz rocosa y de discontinuidades. Mecánicamente son medio discontinuos, anisótropos y heterogéneos, por lo que su clasificación es fundamental en la ingeniería geológica.

- **Matriz rocosa**

Se considera continua, presentando el comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral.

- **Muestra**

Es la toma de un material en un lugar para luego realizar su evaluación

- **Orientación de diaclasas**

Se enfoca la orientación en la que se encuentra el rumbo y el buzamiento

- **Presencia de Agua**

La presencia de agua es vital y de suma importancia en el macizo rocoso en las diaclasas, debido a que estos criterios nos ayudarán a saber el flujo de agua en el que nos encontramos

- **Resistencia a compresión simple de la roca intacta**

Es la resistencia en función a las fuerzas de cohesión y fricción del material

- **RQD (Rock Quality Designation)**

Es un parámetro que constituye a la calidad de roca

- **RMR (Rock Quality Designation)**

El RMR o Rock Mass Rating es un sistema que consiste en una clasificación del macizo rocoso con los índices de calidad estos tienen parámetros geotécnicos, criterios de excavación y sostenimiento.

- **Rugosidad**

Es el conjunto de irregularidades que posee una superficie

- **Rumbo**

Es la dirección del ángulo, respecto al norte que forma la línea de intersección del estrato con un plano horizontal

- **SMR (Slope Mass Rating)**

El SMR o Slope Mass Rating es una clasificación geomecánica considerando parámetros y permiten cuantificar la calidad geomecánica de un afloramiento rocoso, su mayor aplicación es en taludes rocosos.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Métodos y alcances de la investigación**

##### **3.1.1. Método general**

El método general de la investigación es el científico, ya que su finalidad es interpretar hechos para buscar el camino y encontrar la solución al problema planteado.

##### **3.1.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, debido a que en una primera instancia es aplicar los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema del diseño de banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof.

##### **3.1.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es explicativo, el propósito que consiste es en explicar las causas que generan el problema del diseño de banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof.

##### **3.1.4. Diseño de investigación**

El trabajo de investigación es experimental, debido que la variable dependiente será manipulada para encontrar el efecto en la variable independiente.

## **3.2. Población y muestra**

### **3.2.1. Población**

La población está conformada por la U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

### **3.2.2. Muestra**

La muestra es un afloramiento de caliza que se encuentra en operación en la U.E.A. Encanto Blanco Lyof, Chongos Alto.

## **3.3. Técnica e instrumento de recolección de datos**

La recolección de datos se realizará directamente con el macizo rocoso en la cantera de la U.E.A. Encanto Blanco Lyof, donde se tomarán muestras de las propiedades mecánicas de la roca intacta y de las discontinuidades.

Para la toma de datos como instrumentos de medición se usaron la brújula, martillo Schmidt, wincha, libreta de campo y tablas geomecánica. También se tomaron muestras de campo para realizar ensayos en el laboratorio para obtener sus propiedades físicas. La evaluación de la compresión uniaxial se realizará con el martillo Schmidt y el ábaco de Miller de 1995 lo que se obtendrá un resultado en MPa. Obtenido estos datos se procesarán en el software Rockdata 3.0v para poder tener la fuerza de cohesión y fricción, cuando se obtienen estos datos se tendrá que usar el software Slide 6.0v para poder diseñar un banco.

## CAPITULO IV

### RESULTADO Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Generalidad de la U.E.A. Encanto Blanco Lyof

##### 4.1.1. Ubicación y accesibilidad

- Ubicación

Se encuentra en el distrito de Chongos Alto, provincia de Huancayo en el departamento de Junín, a una altitud comprendida entre los 4500 a 4600 m s. n. m. El área de la concesión minera es equivalente a 500.00 Has.

- Accesibilidad

**Tabla 21 Accesibilidad de la U.E.A. Encanto Blanco Lyof**

Ruta	Distancia (Km)	Tiempo (horas)	Tipo de Vía
Lima - Oroya	194	5,5	Asfaltado
La Oroya- Huancayo	123	2.2.5	Asfaltado
Huancayo - Vista Alegre	47	1,25	Asfaltado
Huancayo -Vista Alegre	47	1,25	Asfaltado
Vista Alegre - Cerca Puquio	28	0,6	Trocha carrozable
Cerca Puquio - Cantera	22	0,5	Trocha carrozable
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>	<b>2,35</b>	<b>---</b>

##### 4.1.2. Geología

###### 4.1.2.1. Geología regional

###### a. Formación Condorsinga

La formación tiene una potencia que varía entre 500 m y 1500 m. Consiste de calizas en bancos regulares cuyo grosor vario comúnmente entre 0.2 y 1 m.

Pudiendo llegar excepcionalmente a 3 m en su parte media y superior, también hay dolomitas. Las lutitas son escasas. Los cherts están comunes en la parte inferior, donde pueden formar lechos continuos, o concreciones cuya frecuencia decrece cuando se sube en la secuencia.

Las calizas comúnmente contienen oolitos y pellets cementadas por micrita. Los bioclastos son frecuentes y sus núcleos están formados por restos de crinoideos y pelecípodos. En alguna arena de grano grueso frecuentes en la parte alta se nota estratificación oblicua y ondulaciones de olas.

### **b. Formación Cercapuquio**

Se trata de unas series de areniscas cuarzosas y limonitas depositadas en un ambiente continental a litoral. Su grosor alcanza 322 m. En el flanco NE del sinclinal de Chaucha, pero es comúnmente cercano a 200 m, mientras que en el lugar tipo, la mina de *Cercapuquio*, llega a 800 m.

Descansa en concordancia sobre de las calizas Condorsinga sin que se noten señales de erosión, sino algo de oxidación. Sin embargo, ocurre un cambio de fácil a brusco, de una plataforma carbonatada marina a una zona de sedimentación fluvial en medio continental, que se supone una laguna de sedimentación de una cierta duración.

### **c. Glaciación**

Glaciación g2 (Pleistoceno: entre -24000 y -12000 años): Hansen et al (1984) examinaron núcleos de sedimentos del lago de Junín y los datos en varios niveles por el método C14, además de estudiar los diagramas de Pólenes.

Concluyen que la última gran fase glacial o fase Runrún entre 12000 y 24000 años atrás, corresponde a la glaciación Pinedale/Wisconsin tardío de Norte América y que a ella se deben los arcos morrenicos g2 bien desarrollados alrededor del lago de Junín.

La región entre g2 y las terrazas fluviales no es fácil de establecer. Sin embargo, haberlo hecho en el valle del río Cochas-Pachaca, en cuya parte media, entre la hacienda Cochas y la confluencia con el río Pinascochas, se

puede observar como el cono fluvioglacial construido a partir de las morrenas g2 pasa progresivamente a una terraza que la consideramos como t2.

#### **4.1.2.2. Geología local**

El área en estudio está formada por rocas sedimentarias como calizas que comúnmente contienen oolitos y pellets cementados por micrita se cargan progresivamente de diminutivos granos de cuarzo que pueden constituir hasta 20% de la roca al tope de la formación, los bioclastos son frecuentemente y sus núcleos están formados por restos de crinoideos y pelecípodos. En algunos oblicua y ondulaciones de olas.

También se ven como relleno de fracturas mineral de calcita que tiene en promedio una orientación NS y NE con potencias que varían desde 0.50 m. hasta 10 m como roca encajonada tenemos caliza que ya ha sido descrita anteriormente.

#### **4.1.2.3. Geología estructural**

En la cordillera Occidental, las estructuras de la fase incaica se observan en forma privilegiada en la cuenca alta del río Cañete y de sus afluentes, que presenta cortes verticales que a menudo sobrepasan 1000 m, así como en los picos y nevados que alcanzan alturas superiores a 5000 m.

Siguiendo la carretera Lima – Yauyos – Huancayo entre el caserío de Magdalena (Desvío de Yauyos) y Chaucha, se puede observar un perfil casi continuo de las estructuras que afectan el Cretáceo y las capas rojas Casapalca.

#### **4.1.2.4. Geología económica**

La minería no metálica en el área de estudio, constituye una actividad económica importante en la economía de la región. Mayormente está relacionada con la explotación de caliza, sílice, carbón y rocas ornamentales (marzo y travertinos).

Pese a su antigüedad de la actividad no metálica, la explotación en la gran mayoría de canteras es de forma artesanal, escasamente mecanizada igualmente en su tratamiento, buena parte de las canteras en actividad se

trabajan esporádicamente, solo cuando hay requerimientos de dicha materia prima.

El potencial de los recursos no metálicos en la región es grande, se requiere realizar estudios específicos para evaluarlos e incrementar su utilización industrial.

## 4.2. Evaluación de las propiedades físicas mecánicas del macizo rocoso

### 4.2.1. Evaluación de las propiedades físicas de las rocas intactas.

#### 4.2.1.1. Propiedades físicas de la roca intacta

##### a. Tipo de roca

- Roca sedimentaria

##### b. Color

- Color Blanco

##### c. Textura

- Clástica

##### d. Valor de la masa de la muestra

Tabla 22. Valor de la masa de la muestra

M roca	0,31242	kg
M seca	0,30031	kg
M sat.	0,30661	kg

##### e. Densidad

$$Densidad = \frac{Masa\ seco}{Volumen\ del\ suelo}$$

$$Densidad = \frac{0.30031}{0.00011}$$

$$Densidad = 2730.0909\ kg/m^3$$

##### f. Porosidad $\eta$

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} * 100(\%)$$

Desarrollo:

$$\eta = \frac{0.000545}{0.00910} * 100(\%)$$

$$\eta = 59.89\%$$

### g. Contenido de agua o humedad

$$H = \frac{\text{Peso humeda} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Desarrollo:

$$H = \frac{0.30661 - 0.30031}{0.30031} * 100$$

$$H = 2.098\%$$

### h. Grado de saturación

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Desarrollo:

$$S_r = \frac{0.000365}{0.000545} * 100$$

$$S_r = 13.1794\%$$

### i. Relación de vacíos $e$

$$e = \frac{V_v}{V_s} \text{ o } \frac{\eta}{1 - \eta}$$

Desarrollo:

$$e = \frac{0.000545}{0.000365}$$

$$e = 1.49\%$$

### j. Absorción

$$Abs = \frac{\text{peso saturado} - \text{peso Seco}}{\text{peso seco}} * 100$$

$$Abs = \frac{3.0078441 - 2.9460411}{2.9460411} * 100$$

$$Abs = 2.097\%$$

## 4.2.2. Evaluación de las propiedades mecánicas de la roca intacta

### 4.2.2.1. Resistencia al rebote con el martillo Schmidt (R)



Figura 19. Toma de lecturas con el martillo Schmidt

### 4.2.2.2. Lecturas con el martillo Schmidt

#### a. Muestreo de 0 a 3 metros

Tabla 23. Lectura con el martillo Schmidt de 0 a 3 metros

	1	2	3
a	22	20	23
b	20	22	24
c	22	20	21
Promedio			22.89

#### b. Muestreo de 4 a 6 metros

Tabla 24. Lectura con el martillo Schmidt de 4 a 6 metros

	4	5	6
a	24	20	32
b	20	22	20
c	30	20	26
Promedio			23.78

#### c. Muestreo de 7 a 9 metros

Tabla 25. Lectura con el martillo Schmidt de 7 a 9 metros

	7	8	9
a	22	20	28
b	24	25	20
c	22	26	22
Promedio			23.22

d. Muestreo de 10 a 12 metros

**Tabla 26. Lectura con el martillo Schmidt de 10 a 12 metros**

	10	11	12
a	22	20	24
b	24	26	20
c	20	26	22
Promedio			22.67

e. Muestreo de 13 a 15 metros

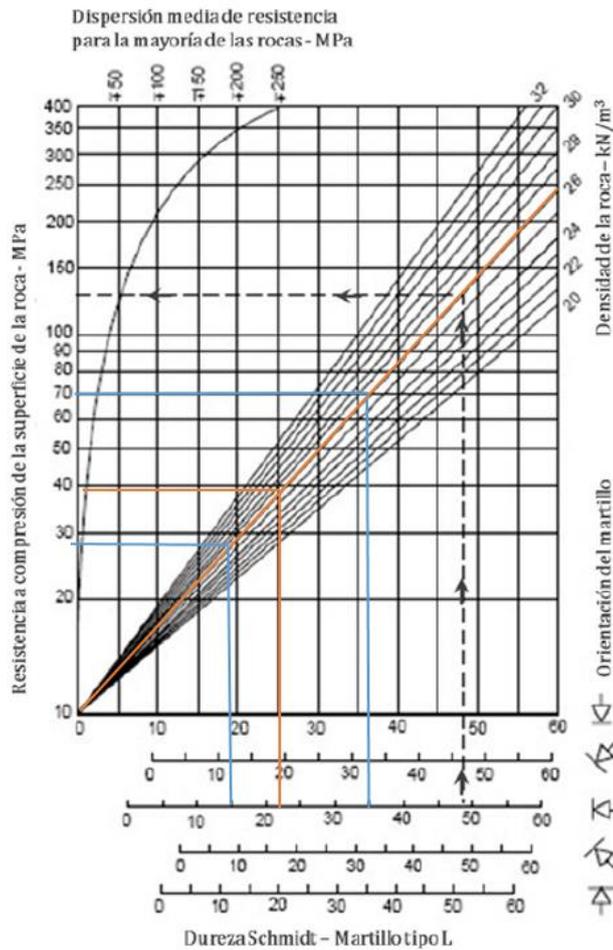
**Tabla 27. Lectura con el martillo Schmidt de 13 a 15 metros**

	13	14	15
a	24	30	22
b	22	22	26
c	28	26	28
Promedio			22.11

f. Resultado de las lecturas del martillo Schmidt

**Tabla 28. Resultado de las lecturas del martillo Schmidt**

Muestra	Resultado
0-3m	21.89
5-6m	22.78
6-9m	23.67
9-12m	22.67
12-15m	25.33
Promedio	23.37
90% Promed.	21.04
Redondeo	21



**Figura 20. Resultado de acuerdo a la resistencia a la compresión Tomado de Miller, 1995**

En el gráfico nos das una referencia en el que se encuentra en un rango de 50 a 100 MPa. En el siguiente cuadro, se verá los valores tomados de la ilustración 21, por lo cual se hará la interpolación para tener un dato preciso de la resistencia a la compresión cuando la dureza del martillo Schmidt es 21.

**Tabla 29. Interpolación entre dureza Schmidt y resistencia a la compresión**

Dureza Schdmidt	Resistencia a la compresión
15	28
21	X
35	70

Resolución:

$$\frac{35 - 15}{21 - 15} = \frac{70 - 28}{x - 28}$$

$$X = 41 \text{ MPa}$$

Obtenido de este dato se clasificará en la resistencia a la compresión por el ISRM.

**Tabla 30 Resultado de la clasificación de la resistencia a la compresión**

Descripción	Resistencia a la compresión
Extremadamente blanda	<1 Mpa
Muy blanda	1-5 MPa
Blanda	5-25 Mpa
Moderadamente blanda	25-50 MPa
Dura	50-100 MPa
Muy dura	100-250 MPa
Extremadamente blanda	>250 Mpa

**Tomado de ISRM**

### 4.2.3. Evaluación de las propiedades de las discontinuidades

#### 4.2.3.1. RQD

Se realizará el método de cálculo de  $\lambda$ , según Priest Jutson.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de fisuras}}{SPAN}$$

$\lambda =$  discontinuidades por metro lineal

Obteniéndose:

**Tabla 31. Resultado del RQD**

Rango(m)	SPAN(m)	Nº de discontinuidades	RQD
0-3m	1	16	52,49
5-6m	1	14	59,18
6-9m	1	16	52,49
9-12m	1	14	59,18
12-15m	1	15	55,78
			<b>55,824</b>

**Tomado de Bieniawski, Z.T.**

Puntuación:

**Tabla 32. Puntuación del RQD de la labor E-2**

RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
Puntuación	20	17	13	6	5

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

#### 4.2.3.2. Espaciamiento entre discontinuidades

**Tabla 33. Puntuación del espaciamiento entre discontinuidades del banco E-2.**

Rango(m)	Espaciamiento(m)	Espaciamiento entre discontinuidades					Puntuación
0-3	0.8	>2	0.6-2m	2-0.6m	0.06-0.02m	<0.06m	15
3-6	1.2	>2	0.6-2m	2-0.6m	0.06-0.02m	<0.06m	15
6-9	1.6	>2	0.6-2m	2-0.6m	0.06-0.02m	<0.06m	15
9-12	1.4	>2	0.6-2m	2-0.6m	0.06-0.02m	<0.06m	15
12-15	0.8	>2	0.6-2m	2-0.6m	0.06-0.02m	<0.06m	10
Promedio							14
Redondeo							14

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*

#### 4.2.3.3. Condiciones de las juntas

##### a. Persistencia

**Tabla 34. Puntuación de persistencia del banco E-2.**

Rango(m)	Persistencia (m)	Persistencia					Puntuación
0-3	2.0	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	4
3-6	2.5	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	4
6-9	2.3	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	4
9-12	3.1	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	2
12-15	2.6	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	4
Promedio							3,6
Redondeo							4

*Tomado de Bieniawski, Z.T.*



**Figura 21. Evaluación de la persistencia del banco E-2.**

**b. Apertura**

**Tabla 35. Puntuación de la apertura del banco E-2.**

Rango(m)	Apertura (m)	Apertura					Puntuación
0-3	0.9	Nada	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5mm	4
3-6	0.8	Nada	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5mm	4
6-9	1.2	Nada	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5mm	5
9-12	0.9	Nada	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5mm	4
12-15	0.8	Nada	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5mm	4
Promedio							4,2
Redondeo							4

**Tomado de Bieniawski, Z.T**



**Figura 22. Evaluación de la apertura del banco E-2**

c. Rugosidad

**Tabla 36 Puntuación de rugosidad del banco E-2.**

Rango(m)	Rugosidad					Puntuación
0-3	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	4
3-6	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	4
6-9	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	4
9-12	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	5
12-15	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	4
					Promedio	4,2
					Redondeo	4

**Tomado de Bieniawski, Z.T**



**Figura 23. Evaluación de la rugosidad del banco E-2**

d. Relleno

**Tabla 37. Puntuación del relleno del banco E-2**

Rango(m)	Relleno				Puntuación	
0-3	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno Blando >5mm	6
3-6	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno Blando >5mm	4
6-9	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno Blando >5mm	6
9-12	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno Blando >5mm	6
12-15	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno Blando >5mm	6
Promedio					5,6	

**Tomado de Bieniawski, Z.T**



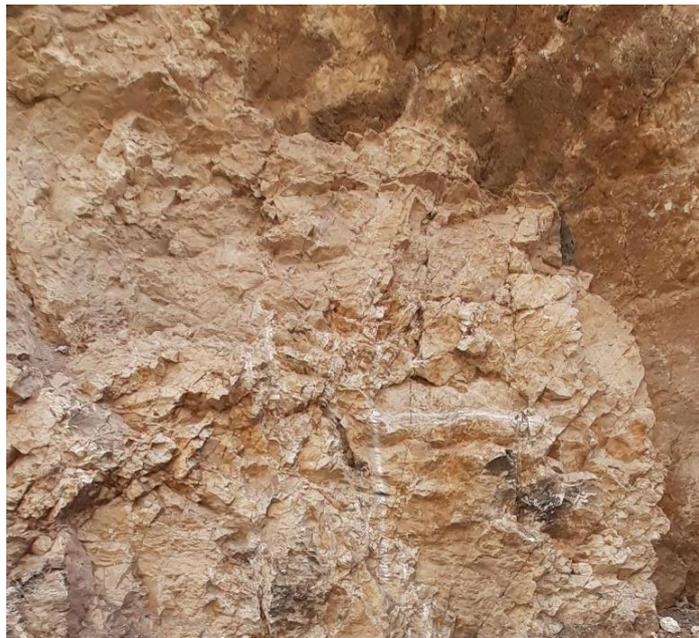
**Figura 24. Evaluación de relleno del banco E-2**

e. Alteración

**Tabla 38. Puntuación de alteración del banco E-2.**

Rango(m)	Alteración					Puntuación
0-3	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	3
3-6	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	3
6-9	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	4
9-12	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	3
12-15	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	3
					Promedio	3,2
					Redondeo	3

**Tomado de Bieniawski, Z.T**



**Figura 25. Evaluación de la alteración del banco E-2.**

#### 4.2.3.4. Agua subterránea

**Tabla 39. Puntuación del agua subterránea en el banco E-2**

Rango (m)	Agua Subterránea						Puntuación
0-3	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min	15
	Relación de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
3-6	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min	15
	Relación de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
6-9	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min	15
	Relación de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
9-12	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min	15
	Relación de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
12-15	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min	15
	Relación de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
						Promedio	15

**Tomado de Bieniawski, Z.T**



**Figura 26. Evaluación del agua subterránea del banco E-2.**

#### 4.2.3.5. Sismicidad

El análisis que se tiene el riesgo del proyecto, donde se ha determinado la distribución de isoaceleración máxima que tiene como punto de 50 años de vida útil con un nivel del 10%.

**Tabla 40. Coeficiente de sismicidad**  
Coeficiente sísmico propuesto para presas pequeñas y medianas

Zona	Presas de tierra	Presas de encofrado
I	0,15 - 0,25	0,10 - 0,2
II	<b>0,10 - 0,15</b>	0,05 - 0,10
III	0,05 - 0,10	0,05

**Tomado de Ruesta, P., Díaz J. y Alva, J.**

### 4.3. Evaluación de las propiedades del macizo rocoso.

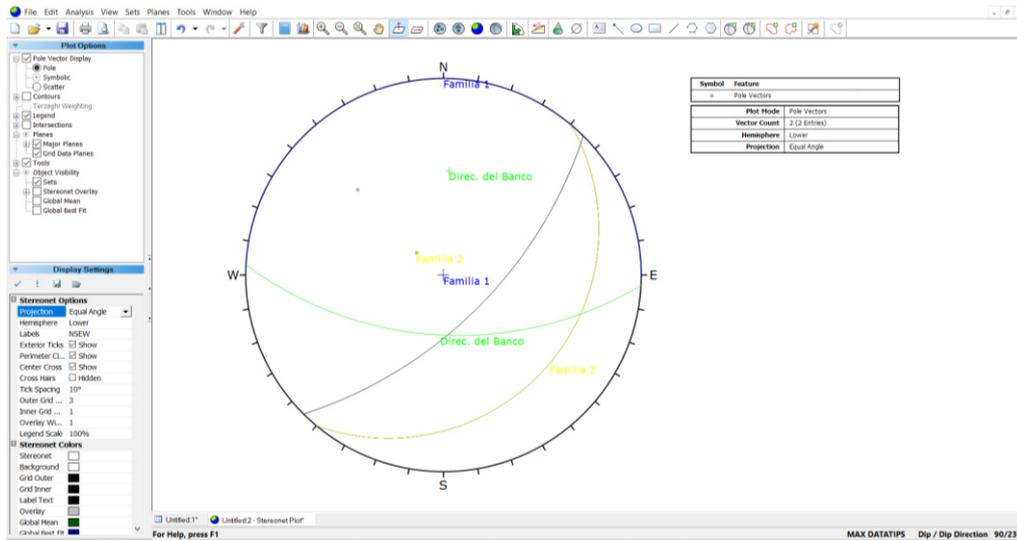
#### 4.3.1. DIPS

Levantamiento estructural mediante el software Dips 6.0v, Para la presente tesis se ha realizado un análisis con las discontinuidades que se presentar en la labor minera E-2. Lo que se ha considerado los valores del estudio fueron el rumbo, azimut, dirección de buzamiento, buzamiento, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 41. Dirección de azimut, rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento**

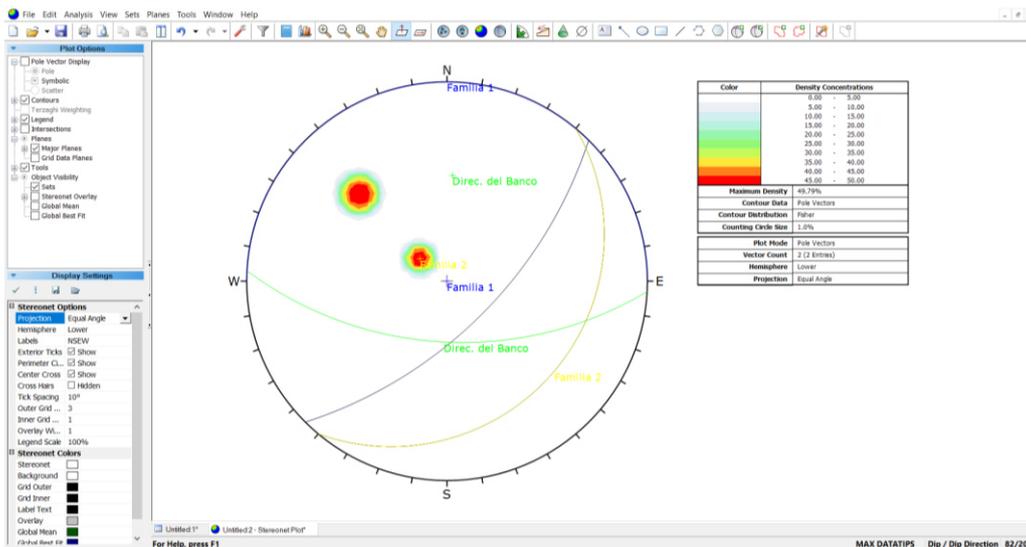
Familia	Azimut	Rumbo	Buzamiento	Direc. Buzamiento
1	297	N63 W	45	135
2	200	S20 W	40	130
Banco	304	S56 W	93	183

### 2.3.1.1. Proteo de polos



**Figura 27. Proteo de polos en el banco E-2**

### 2.3.1.2. Curvas isocalóricas



**Figura 28. Curvas isocalóricas del banco E-2.**



### 4.3.2. Resultado RMR

**Tabla 42. Resultado general de la cartilla de Bieniawski (RMR Básico)**

Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión (MPa)		
	Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
Puntuación		20	17	13	6	5		
Espaciamiento entre diaclasas		>2	0.6-2m	2-0.6m	0.06-0.02m	<0.06m		
Puntuación		20	15	10	8	5		
Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
	Puntuación	6	4	2	1	0		
	Apertura	Nada	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5mm		
	Puntuación	6	5	4	1	0		
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
	Puntuación	6	5	4	1	0		
	Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
	Puntuación	6	4	2	2	0		
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
	Puntuación	6	5	3	1	0		
Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min		
	Relación de agua/tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación	15	10	7	4	0		

**Tomado de Bieniawski (RMR)**

#### 4.4. Evaluación de los factores de ajuste

##### 4.4.1. Factor de ajuste F1 (Rumbo de junta y talud)

**Tabla 43 Puntuación del factor de ajuste F1 del banco E-2**

		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Rotura Plana	>30	30° - 20°	20° - 10°	10°-5°	<5°
	Vuelco	0,15	0,4	0,7	0,85	1

**Tomado de Romana. SMR**

##### 4.4.2. Factor de ajuste F2 (Buzamiento de la junta)

**Tabla 44. Puntuación del factor de ajuste F2 del banco E-2**

		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Rotura Plana	<20	20-30	30-35	35-45	<110°45
	Vuelco	0,15	0,4	0,7	0,85	1

**Tomado de Romana. SMR**

##### 4.4.3. Factor de ajuste F3 (Buzamiento de la junta y talud)

**Tabla 45. Puntuación del factor de ajuste F3 del banco E-2**

		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Rotura Plana	>10°	10°-0°	0°	0°-(10°)	<(-10°)
		<110°	110°-120°	>120°	-	-
	Vuelco	0	-6	-25	-50	-60

**Tomado de Romana. SMR**

##### 4.4.4. Factor de ajuste F4 (Método de excavación)

**Tabla 46 Puntuación del factor de ajuste por el método de excavación F4**

Factor de ajuste por el método de excavación	Talud Natural	Pre corte	Voladura Suave	Voladura o Mecánico	Voladura Deficiente
	+15	+10	+8	0	-8

**Tomado de Romana. SMR**

##### 4.4.5. SMR

Para su cálculo usaremos la siguiente formula:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 68 + (0.15 * 1 * -25) - 8$$

$$SMR = 56.25$$

#### **4.5. Diseño del banco**

Para poder realizar el diseño del banco, se realizará diferentes procesos desde la obtención de los resultados de las cartillas de Bieniaswki y las cartillas de Romana; luego, estos datos obtenidos de campo se procesarán en los diferentes softwares para poder obtener un diseño del banco competente en la labor E-2, ya obtenidos los datos de las cartillas de Bieniaswki y las cartillas de Romana nos indica que el banco o talud tiene algunas juntas o muchas cuñas esto nos hace pensar que el banco tiene familias que forman cuñas y éstas están propensas a deslizarse, con este dato nosotros vemos un parámetros que el talud tiene que ser de forma inclinada menor de los  $75^{\circ}$ , para continuar con el diseño del banco buscaremos más parámetros por lo que usaremos el software Rockdata 3.0v que con los datos del Sigci, H, GSI, Mi y D obtendremos resultados por el criterio de rotura de Hoek y Brown y con estos datos nos darán los resultados de Mohr y Coulomb para el esfuerzo de cohesión y el ángulo de fricción.

Para continuar con el diseño se usará el software Slide 6.0v para su modelamiento se necesitará los siguientes datos:

- Densidad
- Fuerza de cohesión
- Angulo de fricción
- Factores geométricos

Cuando estos datos son procesados se obtendrá el factor de seguridad, este factor seguridad nos ayudara a comprender que si el talud es competente. Por lo que a continuación se desarrollara de forma detalla el procesamiento de datos para su mayor comprensión.

##### **4.5.1. Cálculo de tensiones mediante el Software Rock Data 3.0v**

El software Rock Data 3.0v con los diferentes criterios de rotura nosotros necesitaremos el criterio de rotura de Mohr y Coulomb para poder obtener la fuerza de cohesión y el ángulo de fricción, por lo que a continuación se verá el procedimiento.

A continuación, se mostrará los datos y el resultado obtenido al aplicar el Rock Data 3.0v.

#### 4.5.1.1. Datos

- a. Sigci: 41 Mpa
- b. H= 32m, altura.
- c. GSI: 42

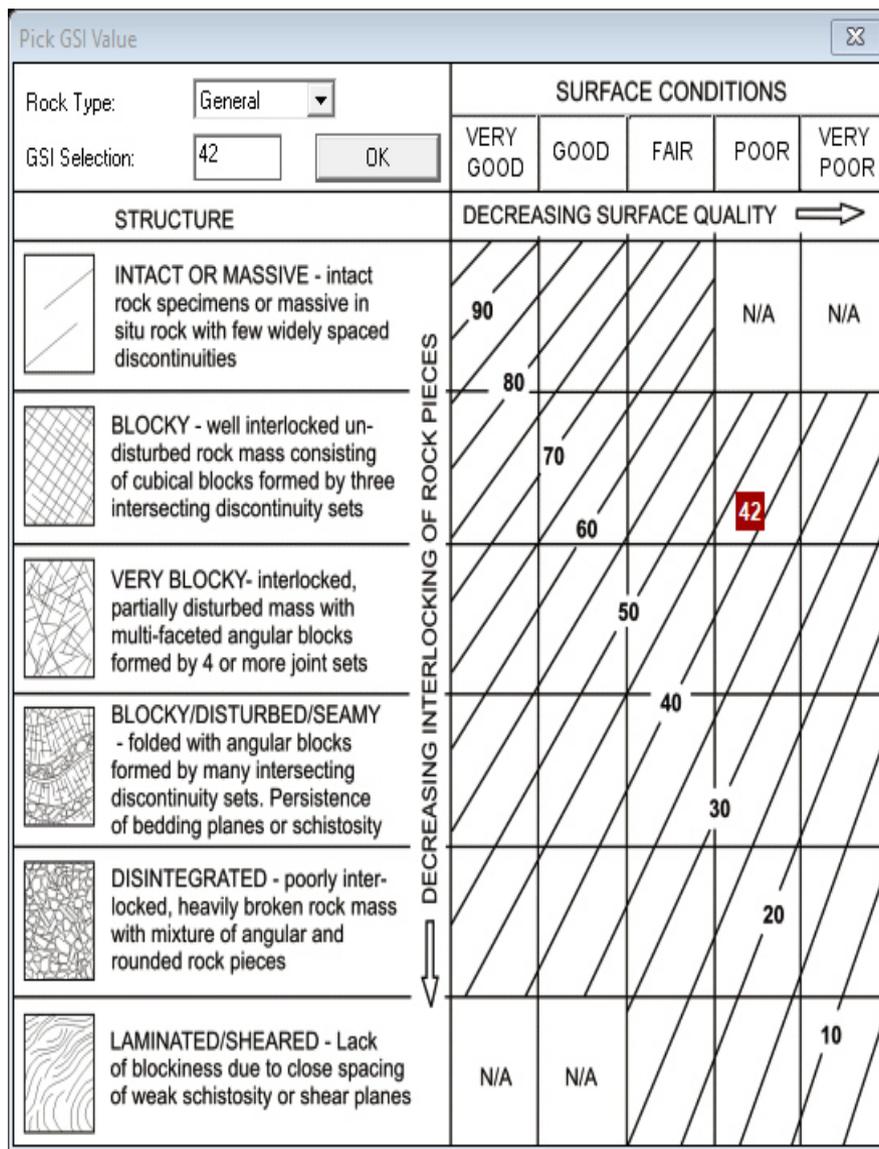


Figura 32. Resultado del GSI para el banco E-2.

d. Mi: 8

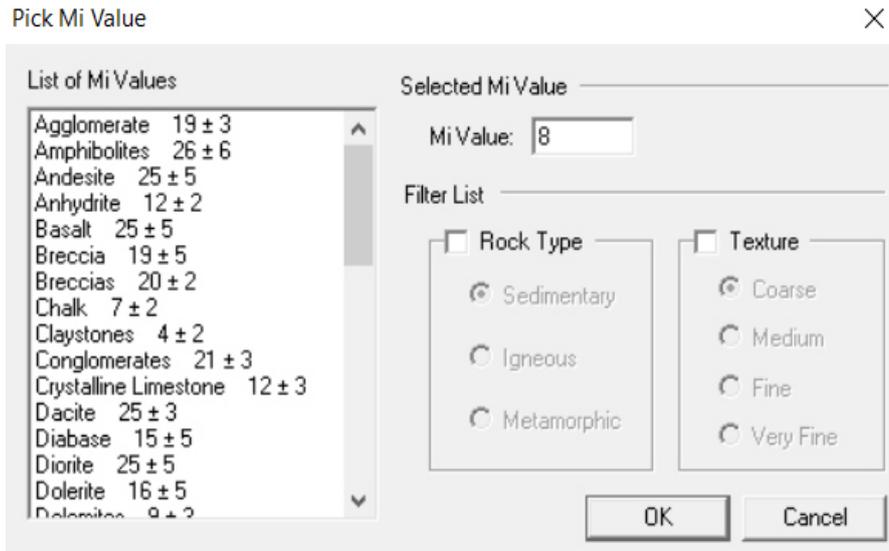


Figura 33. Resultado del Mi

e. D=1

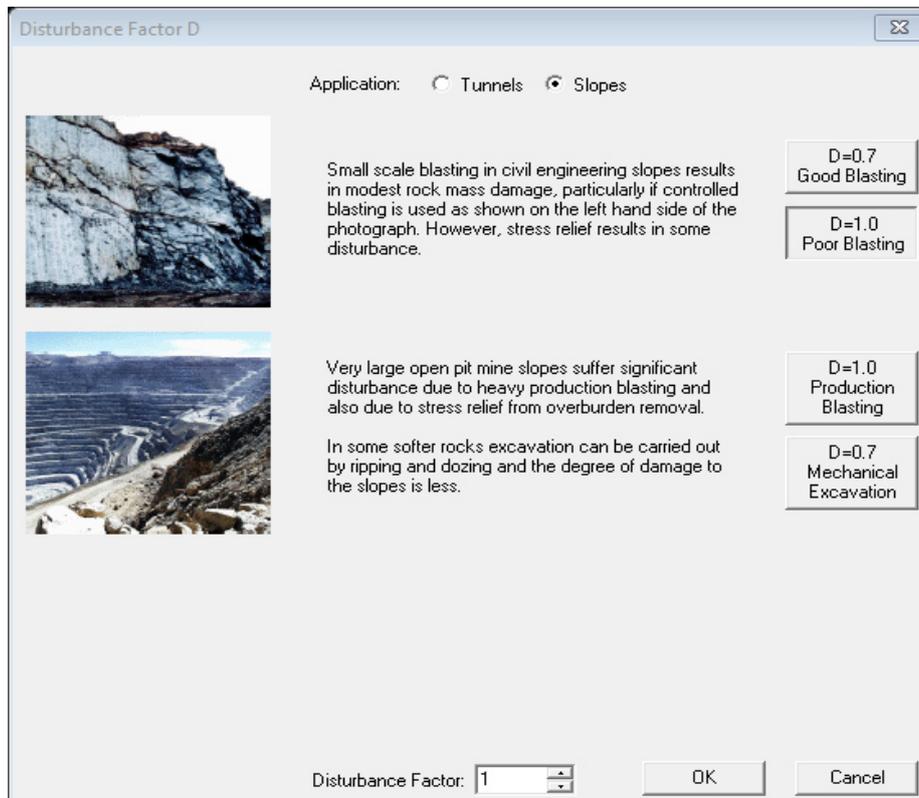
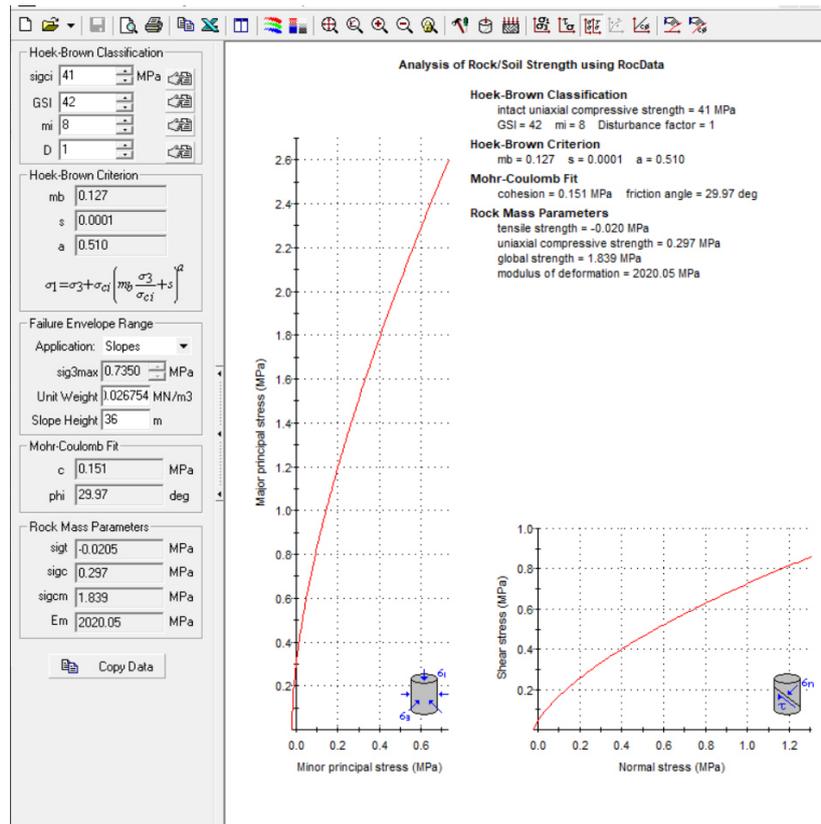


Figura 34. Resultado del valor "D"

### 4.5.1.2. Resultados del Rock Data 3.0v



**Figura 35. Resultado de la fuerza de cohesión y el ángulo de fricción**

Con los datos obtenidos del Rock Data 3.0v se obtendrá la fuerza de cohesión y el ángulo de fricción los cuales son:

- Fuerza de cohesión= 0.151 MPa = 151 KN/m<sup>2</sup>
- Angulo de fricción = 29.97 °

### 4.5.2. Diseño de banco mediante el software Slide 6.0 v

Al realizar el diseño del banco se tomará como base la ilustración 42 para poder diseñar el banco actual de la labor E-2 que se enfrenta a un futuro deslizamiento o caídas de rocas, por lo que se tomaran datos de campo para su proyección.

#### 4.5.2.1. Diseño del banco actual

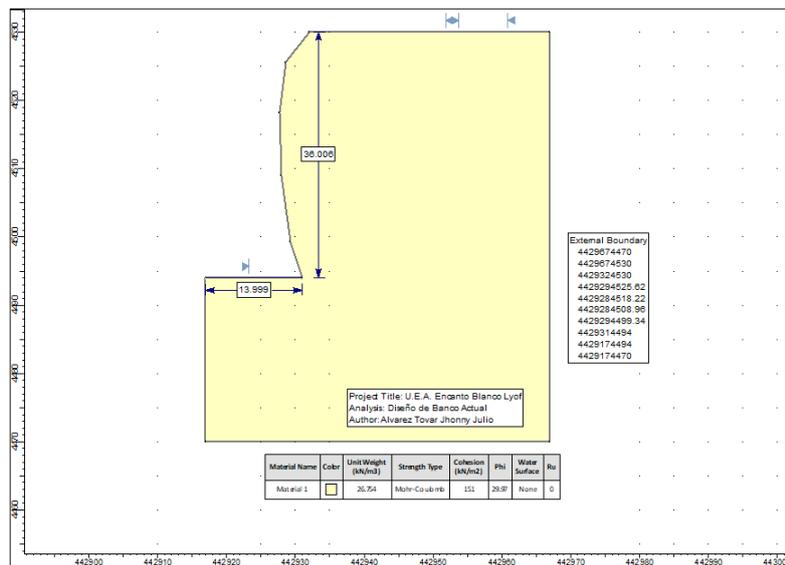
Para realizar el diseño del banco se tomará datos de campo como nos indica la tabla 47 para así poder hacer una proyección de su altura, como se pudo

observar el banco E-2 no tiene una forma geométrica estable, esta tiene una inclinación anti horaria, lo cual proyecta una inestabilidad. Para poder proyectar el banco actual de la labor E-2, se necesitará de los siguientes datos:

- Densidad =  $2730.0909 \text{ kg/m}^3 = 26.754 \text{ KN/m}^3$
- Angulo de fricción =  $29.97$
- Cohesión =  $0.151 \text{ Mpa} = 151 \text{ Kn/m}^2$
- Superficie de agua = Ninguna

**Tabla 47 Resultado de la altura del banco.**

Resultado	Distancia Horizontal (m)	Ángulo de elevación	Altura de Talud(m)
1	5,732	80°57'23"	36.021
2	8,086	77°19'09"	35.936
3	12,896	70°20'31"	36.101
Promedio=			36.019



**Figura 36. Diseño del banco actual E-2.**

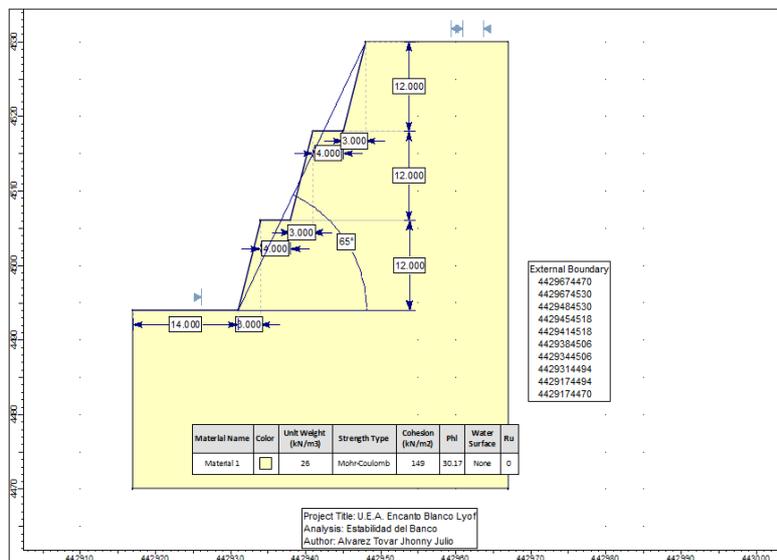
#### 4.5.2.2. Diseño del banco propuesto

El diseño propuesto es referente a la retroexcavadora 324D CAT que está operando en la U.E.A. Encanto Blanco Lyof, se tiene una retroexcavadora que tiende hacer desates de 16 metros de altura en la parte superior y un desate inferior de 6 metros, por lo tendría una altura de alcance de 12 metros pero en operaciones el desatado más eficiente es de dos metros menos de su alcance

superior e inferior, por lo que se proyecta una altura del banco de 12 metros de alto y con un ancho de berma de 4.5 metros para que tenga mayor movilidad el equipo, al realizar los desates.

Para poder obtener el factor de seguridad se necesitará la geometría, la fuerza cohesión, el ángulo de fricción y la densidad. Los datos que se necesitara son los siguientes:

- Geometría
- Densidad =  $2730.0909 \text{ kg/m}^3 = 26.754 \text{ KN/m}^3$
- Angulo de fricción =  $29.97$
- Cohesión =  $0.151 \text{ Mpa} = 151 \text{ Kn/m}^2$
- Superficie de agua = Ninguna



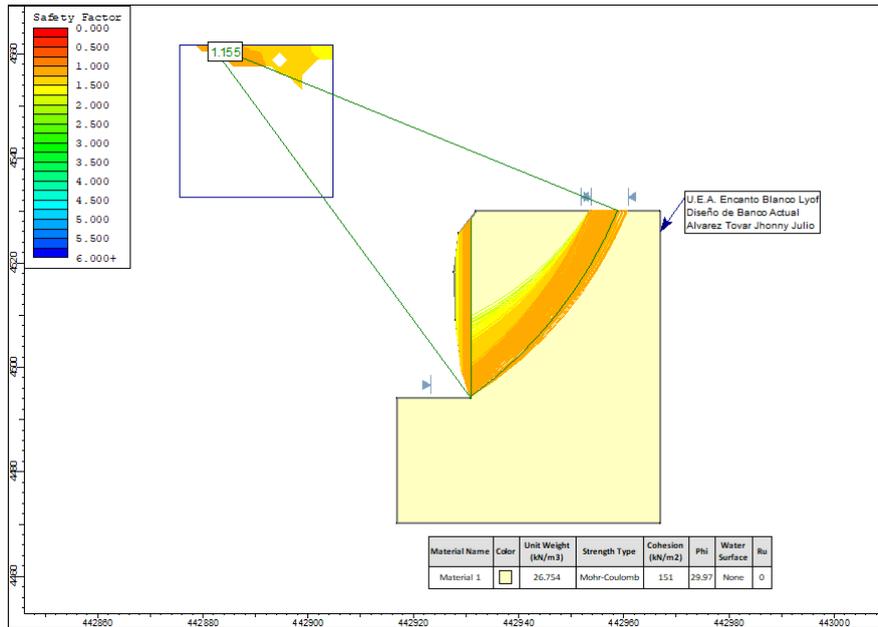
**Figura 37. Diseño del banco propuesto del banco E-2.**

### 4.5.3. Determinación del factor de seguridad

#### 4.5.3.1. Factor de seguridad del banco actual

- Método Spencer con Grid Search

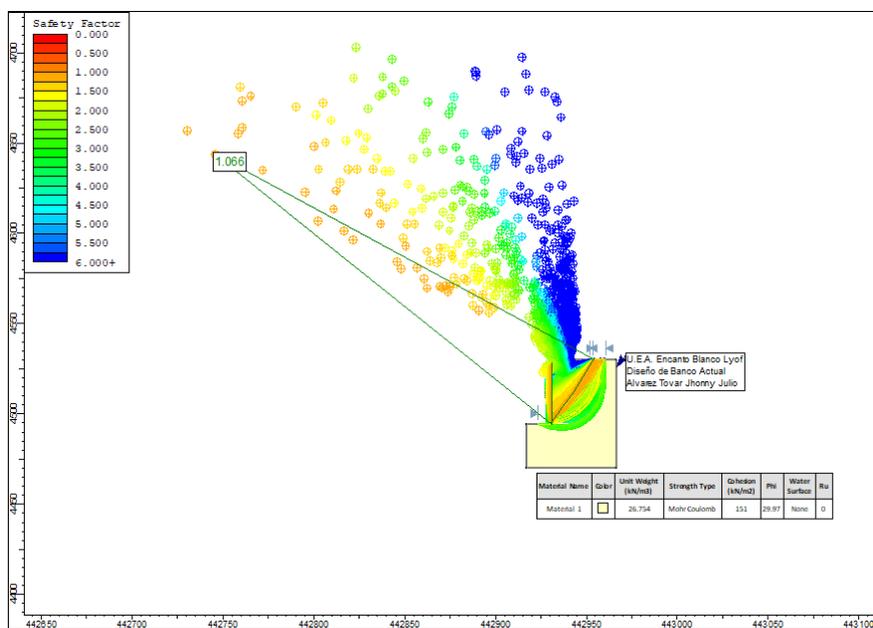
Este método nos ayuda a la búsqueda de un factor de seguridad en una cuadrilla señalada. En ilustración 39, que es el banco propuesto, se ve un factor de seguridad de 1.155, esto significa no tiene una estabilidad competente para las operaciones que se sitúa en la unidad minera.



**Figura 38. Factor de seguridad para el banco actual por el método Spencer con Grid Search**

○ Método Spencer con Slope Search

Este método nos ayuda a obtener un factor de seguridad para bancos que no solo están representados en una cuadrilla, ya que nos muestra las partes donde hay mayor estabilidad e inestabilidad. En la Ilustración 40 se evidencia que los puntos de color azul muestra mayor estabilidad mientras los puntos de color naranja son poco estables, en esta ilustración nos muestra un factor de seguridad de 1.066 que la estabilidad sigue siendo nada competente.

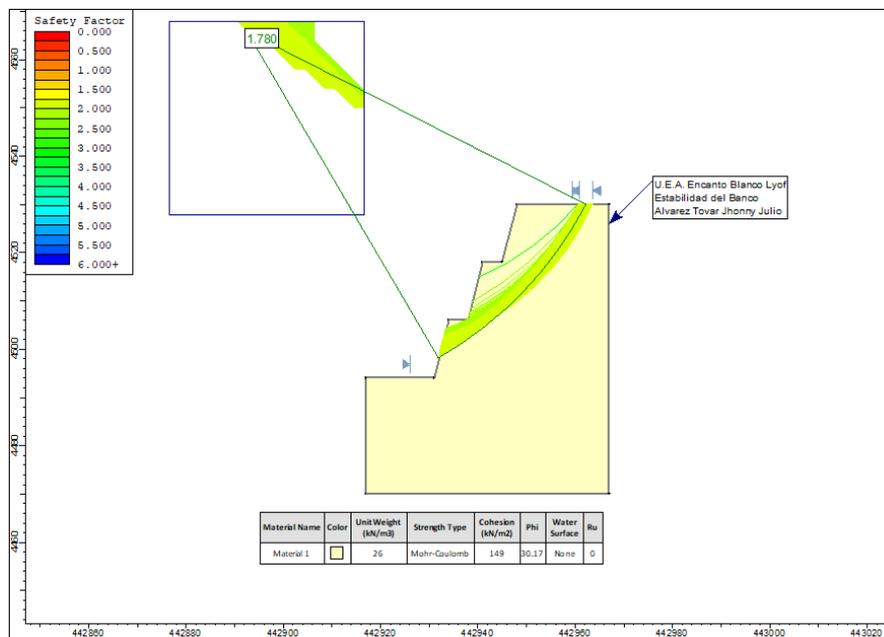


**Figura 39. Factor de seguridad para el banco actual por el método Spencer con Slope Search**

#### 4.5.3.2. Factor de seguridad del banco propuesto

- Método Spencer con Grid Search

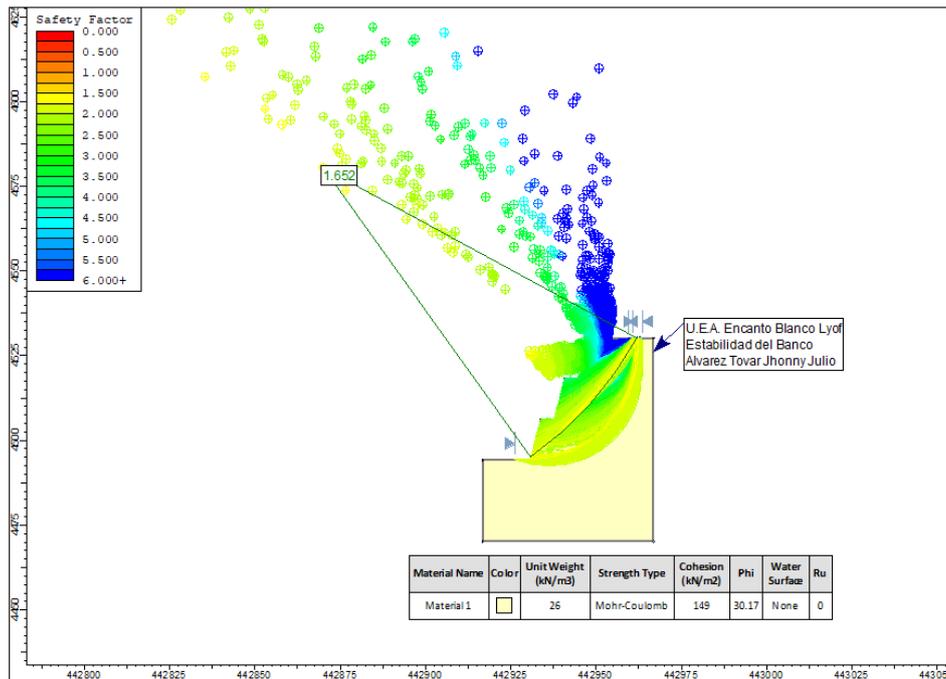
Este método nos ayuda a la búsqueda de un factor de seguridad en una cuadrilla señalada, en ilustración 41 que es el banco propuesto se ve un factor de seguridad de 1.780, esto significa que existe una buena estabilidad.



**Figura 40. Factor de seguridad para el banco propuesto por el método Spencer con Grid Search**

- Método Spencer con Slope Search

Este método nos ayuda a obtener un factor de seguridad para bancos que no solo están representados en una cuadrilla, ya que nos muestra las partes donde hay mayor estabilidad e inestabilidad. En la Ilustración 42 se evidencia que los puntos de color azul muestra mayor estabilidad mientras los puntos de color naranja son poco estables, en esta ilustración nos muestra un factor de seguridad de 1.652 que hay una existencia de una buena estabilidad y que superamos el factor de 1.5 que significa que el talud será muy competente a largo plazo ya que estas mineras son de extraídas cada cierto tiempo, dependiendo del mercado.



**Figura 41. Factor de seguridad para el banco propuesto por el método Spencer con Slope Search**

## 4.6. Resultados

### 4.6.1. Evaluación del talud mediante el RMR de Bieniawski

Se tiene que el resultado del RMR tiene un valor de 68, lo que nos representa una roca buena, como se indica en el siguiente gráfico, el valor del RMR básico es 68.

**Tabla 48. Clasificación del RMR en el banco E-2.**

Clasificación del RMR					
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

*Tomado de Bieniawski, Z.T*

### 4.6.2. Evaluación del talud mediante el SMR del manual Romana

El valor que se tiene del SMR al sumar los factores de ajuste nos da un resultado de 56.25, lo que representa una estabilidad parcialmente estable y se interpreta que se tiene algunas juntas o muchas cuñas, como se muestra en el siguiente gráfico.

**Tabla 49. Resultado de los factores de ajuste del banco E-2.**

		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Rotura Plana	>30	30 <sup>º</sup> - 20 <sup>º</sup>	20 <sup>º</sup> - 10 <sup>º</sup>	10 <sup>º</sup> -5 <sup>º</sup>	<5 <sup>º</sup>
	Vuelco	0,15	0,4	0,7	0,85	1
		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Rotura Plana	<20	20-30	30-35	35-45	<110 <sup>º</sup> 45
	Vuelco	0,15	0,4	0,7	0,85	1
		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Rotura Plana	>10 <sup>º</sup>	10 <sup>º</sup> -0 <sup>º</sup>	0 <sup>º</sup>	0 <sup>º</sup> -(10 <sup>º</sup> )	<(-10 <sup>º</sup> )
	Vuelco	<110 <sup>º</sup>	110 <sup>º</sup> -120 <sup>º</sup>	>120 <sup>º</sup>	-	-
		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Factor de ajuste por el método de excavación	Talud Natural	+15	+10	+8	0	-8
			Precorte	Voladura Suave	Voladura o Mecánico	Voladura Deficiente

**Tomado de Bieniawski, Z.T**

Con el resultado del RMR básico más la suma de los factores de ajuste como se indica posteriormente nos dará el resultado del SMR:

$$\text{SMR} = \text{RMR básico} + (F1 * F2 * F3) + F4$$

$$\text{SMR} = 68 + (0.15 * 1 * -25) - 8$$

$$\text{SMR} = 56.25$$

**Tabla 50. Clasificación de la estabilidad con el SRM del banco E-2.**

Clases de estabilidad					
Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masas	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Re excavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

**Tomado de Bieniawski, Z.T**

#### 4.6.3. Diseño del banco

En el desarrollo de la presente tesis se usó el software Slide 6.0v para conseguir el factor de seguridad actual y el propuesto, en el que el factor de

seguridad por el método Spencer el banco actual es de 1.066 (Slope Search) y 1.155 (Grid Search), por normativa el factor de seguridad debe de ser mayor que 1.25 a más, por lo que se ha propuesto realizar un diseño de banco con el método Spencer que nos da un factor de seguridad de 1.652 (Slope Search) y 1.780 (Grid Search) esto es un rango mayor motivo de que esta unidad minera trabaja esporádicamente de acuerdo al mercado.

#### **4.7. Discusión de resultado**

- Según Araneda Nacarino, Ana del Rocio y Intor Riose en una de sus conclusiones comenta que obtenido el RMR se permite diseñar el banco, con los parámetros de cohesión y ángulo de fricción. Los resultados obtenidos en la presente investigación corroboran la misma idea, ya que hay una relación de forma indirecta para la obtención del factor de seguridad.
- Los factores de ajuste influyen en el diseño del banco, por lo que comenta Alvarado y Villanueva que estos nos ayudaran a identificar las fallas, fracturas, descripción básica del macizo rocoso por lo que en la presente tesis comparte las mismas ideas para la determinación de deslizamiento planares con las familias encontradas y el banco, utilizando el Software Dips.
- Según Alvarado y Villanueva en una de sus conclusiones nos dice que mediante uso Metodo Romana SMR (1985), las zonas se consideran inestables, pero para nuestra investigación utilizando el mismo método nos resulta poco estable.

## CONCLUSIONES

1. El resultado del SMR tiene un valor de 56.25, lo que nos indica que es de clase III, de acuerdo al análisis es categorizado “parcialmente estable”, estas características presentan algunas juntas o cuñas aisladas; por lo cual, el tratamiento sugerido recomienda un control sistemático, de acuerdo al modelamiento con el software Slide 6.0v. La propuesta para continuar con la explotación son bancos escalonados, cuyas dimensiones para una altura de 12 m, ancho de 4.5 m y ángulo de 65°.
2. El resultado obtenido de la cartilla de Bieniawski del RMR (Rock Mass Rating) del banco E-2, nos da un valor de 68 que al clasificarlo nos da un número de clase II, que tiene una calidad “Buena”.
3. Los factores de ajuste del SMR sí influyen a la determinación del diseño del banco, de acuerdo a la orientación de las juntas y el banco.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda capacitar al personal para así poder controlar el talud, esto ayudará a prevenir accidentes a corto y largo plazo que afectarán a la seguridad del personal, equipo, entre otros.
2. Se recomienda realizar una planificación para el levantamiento topográfico del talud y proyectarlo en el software Slide 6.0v. Esto permitirá controlar la estabilidad del talud y así saber con seguridad si esta está superando el 1.5.
3. Se recomienda que, para poder prevenir un accidente laboral por caída de rocas, se debe de realizar un seguimiento a la voladura ya que se visualizó en campo que la voladura es deficiente por que se encuentra fracturas en la parte de la cresa del talud que puedan caer. La evaluación que se tuvo en campo el SMR indica que tiene un valor de 56.25 que es de tipo III; lo que nos explica que es “parcialmente estable” y que se tiene “algunas juntas o muchas cuñas” y si bien mejoramos a una voladura normal o excavación este SMR mejorará dándonos un valor de 64.25 que es de tipo II, lo que no indica que es “Buena” y “Estable”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. QUEA, L. *Diseño de estabilidad de taludes para el nivel de resistencia al corte en el frente de minado del proyecto San Antonio y María - Ananea*. (Título de Magister Scientiae en Geotecnia y Geomecánica Minera). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2016, 119 pp.
2. LOARTE, J. *Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018*. (Título Ingeniero de Minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2018, 88 pp.
3. DEL SOLAR, T. *Estudio de control de talud en Fase 4 de Division Andina*. (Título Ingeniero Civil de Minas). Santiago: Universidad de Chile, 2014, 96 pp.
4. ALVARADO, M. y VILLANUEVA, L. *Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018*. (Título Ingeniero de Minas). Cajamarca : Universidad Privada del Norte, 2019, 100 pp.
5. Araneda Nacarino, Ana del Rocio y Intor Rios, Luz Marina. *Influencia del comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el diseño de bancos de la cantera de arena fina Cabra Cabra de la empresa S.M.R.L. Cabra Cabra, distrito de Namora – Cajamarca, 2017*. (Título Ingeniero de Minas). Cajamarca : Universidad Privada del Norte, 2017, 100 pp.
6. INGEMMET. Ingemmet.gob.pe. [En línea]. [Fecha de consulta: 9 de julio de 2020]. Disponible en: [https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/1138191/Las\\_rocas\\_y\\_sus\\_nombres.pdf](https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/1138191/Las_rocas_y_sus_nombres.pdf).
7. GEOLOGÍAWEB. Geología general . [En línea] Lima, 2019. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020]. Disponible en: <https://geologiaweb.com/category/geologia-general/sedimentarias/#:~:text=>

Las%20rocas%20sedimentarias%20qu%C3%ADmicas%20son,de%20cualquie  
r%20tipo%20de%20roca.

8. INSTITUTO DE GEOCIENCIAS (GSIC-UCM). Ciudadciencia.es. [En línea]  
[Fecha de consulta: 12 de julio de 2020]. Disponible en:  
[https://www.ciudadciencia.es/doc/files/FICHA\\_CLASIFICACION%20DE%20RO  
CAS\\_CC.pdf](https://www.ciudadciencia.es/doc/files/FICHA_CLASIFICACION%20DE%20RO<br/>CAS_CC.pdf).

9. ROCALBUM. Diarium.usal.es. [En línea] Universidad de Salamanca. [Fecha  
de consulta: 12 de julio de 2020]. Disponible en:  
[https://diarium.usal.es/rocalbum/textura-3/#:~:text=matriz%20areno-arcillosa.-  
,TEXTURA%20CRISTALINA,Roca%20Sedimentaria%20Química](https://diarium.usal.es/rocalbum/textura-3/#:~:text=matriz%20areno-arcillosa.-<br/>,TEXTURA%20CRISTALINA,Roca%20Sedimentaria%20Química).

10. PADILLA, R. *Relaciones de fase en la ingeniería geotécnica moderna*. [Fecha  
de consulta: 18 de julio de 2020]. Disponible en:  
[https://www.academia.edu/11474564/RELACIONES\\_DE\\_FASE\\_EN\\_LA\\_INGE  
NIER%C3%8DA\\_GEOT%C3%89CNICA\\_MODERNA](https://www.academia.edu/11474564/RELACIONES_DE_FASE_EN_LA_INGE<br/>NIER%C3%8DA_GEOT%C3%89CNICA_MODERNA)

11. ELE Internacional Ltda. Dfngw79elwra.cloudfront.net. [En línea] 1993. [Fecha  
de consulta: 19 de julio de 2020]. Disponible en:  
[https://dfngw79elwra.cloudfront.net/v2-icc-pucv-cl/geotecnia/03\\_docencia  
/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/humedad.pdf](https://dfngw79elwra.cloudfront.net/v2-icc-pucv-cl/geotecnia/03_docencia<br/>/02_laboratorio/manual_laboratorio/humedad.pdf).

12. FUNDAMENTOS DEL LABORATORIO. *Densidad relativa y densidad  
aparente de un material en polvo*. [En línea] [Fecha de consulta: 20 de julio de  
2020]. Disponible en: <https://w3.ual.es/~mjgarcia/practica2>

13. Propiedad de las rocas de construcción y ornamentación. Ugr.es. [En línea]  
[Fecha de consulta: 7 de agosto de 2020]. Disponible en:  
<https://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm>.

14. ROMANA, M., TOMÁS, R.,SERÓN, J. *SMR Classification. Proc 7th isrm  
Internacional Congress on Rock Mechanics*. [En línea] 1993. págs. 955-960.

[Fecha de consulta: 7 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://personal.ua.es/es/roberto-tomas/documentos/isrm-smr.pdf>

15. RAMIRES OYANGUREN, P. y ALEJANO MONGE, L. *Mecanica de rocas: Fundamentos e ingenieria de taludes* S.L. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2004.

16. BIENIAWSKI, Z.T. *Engineering Rock Mass Classification*. [En línea].Canadá: 1989. [Fecha de consulta: 16 de julio de 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/38805110/Engineering-Rock-Mass-Classifications>

17. GONZALES DE VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO,L.,OTEO,C. *Ingenieria Geológica*.Madrid:Pearson Edit. 2002, 738 pp. ISBN: 84-205-3104-9

18. LOZANO, A. *Martillo Schmidt (Esclerometro)*. s.l. : Geoingeniering Services & Consulting E.I.R.L. [En línea] [Fecha de consulta: 22 de julio de 2020]. Disponible en: [https://www.academia.edu/12187503/MARTILLO\\_SCHMIDT\\_ESCLER%C3%93METRO\\_](https://www.academia.edu/12187503/MARTILLO_SCHMIDT_ESCLER%C3%93METRO_)

19. VELAZQUEZ, J. *Apliacacion del SMR al analisis de estabilidad de taludes en la MINA KADI II de la empresa de productos calcareos KADI S.R.L. 2016*. (Título de Ingeniero de Minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2016, 107 pp.

20. MARINOS, VASSILIS, MARINOS, PAUL G. y HOEK, EVERT. *Sexta categoría para los materiales denominado "Molasa"*. 2000.

21. HOEK, E., CARRANZA-TORRES,C.,CORKUM,B. *Failure Criterion..* [En línea]. University of Minnesota: 20021 [Fecha de consulta: 16 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.rocscience.com/documents/pdfs/uploads/7713.pdf>

22. BARTON, N y CHOUBEY, V. *Criterio de rotura*. [En línea] [Fecha de consulta: 19 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.nickbarton.com/index.asp>

23. SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos: Analisis geotecnico*. [En línea] [Fecha de consulta: 28 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>

24. HOEK, E Y BRAY, J.W. *Rock Slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy*. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1977. ISBN 10: 0900488212

25. SUAREZ, J. *Deslizamientos*. [En línea] Bucaramanga : division de publicaciones UIS, 2019. Vol. I. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/71629190/Deslizamiento-y-ad-en-Zonas-Tropic-Ales>

26. DEXTRE, Arturo. *Estabilidad de taludes, geomecania y economia*. (Título de Maestría en Seguridad y Salud Minera). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2018.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: Zona de medición



**Figura 42. Desprendimiento de masa rocosa, debido a que su ángulo de reposo es superior a  $90^\circ$**



**Figura 43. Pruebas con el martillo Schmidt**

## ANEXO 2: Mediciones para la altura del banco E-2.



Figura 44. Resultado 1 de la altura del banco E-2



Figura 45. Resultado 2 de la altura del banco E-2



Figura 46. Resultado 3 de la altura del banco E-2

### ANEXO 3: Retroexcavadora 324D- CAT



*Figura 47. Retroexcavadora 324 D*