

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Estimación geomecánica del macizo rocoso para el  
control de estabilidad zona profundización Unidad Minera  
Cobriza sector IV**

Jose Luis Aliaga Vilca  
Jose Alfredo Huincho Carbajal

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme tener esta experiencia y disfrutar de la universidad. A la universidad por darme la oportunidad de convertirme en profesional, gracias a los maestros que me guiaron durante mi etapa universitaria. Gracias a mi familia por el apoyo moral y económico durante mi etapa universitaria y a la vida por enseñarme que todo llega en su momento, como esta tesis de parte de los graduados.

Bach. Huincho Carbajal, Jose Alfredo

A los todos los docentes de la universidad Continental, de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas por las enseñanzas brindadas. A la unidad minera Cobriza sector IV por el apoyo brindado en la realización de la presente investigación. Finalmente, corresponde mi agradecimiento al Ing. Julio Fredy Porrás Mayta, asesor de este trabajo de investigación, por su valioso aporte, en el desarrollo del mismo.

Bach. Aliaga Vilca, Jose Luis

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con todo mi corazón, a mi madre y a mi abuela por el apoyo y por estar conmigo en todo momento. Sus bendiciones de todos los días me llegan por el camino del bien. A mi hija, que fue la gran inspiración para realizar esta tesis. Por eso, este trabajo es para ustedes, pues las amo mucho.

Bach. Huincho Carbajal, Jose Alfredo

Esta tesis va dedicada a mi madre y hermana por su constante apoyo durante mi crecimiento integral y profesional

Bach. Aliaga Vilca, Jose Luis

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	II
DEDICATORIA .....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN .....	XI
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.1.1 Problema general.....	14
1.1.2 Problemas específicos .....	14
1.2 Objetivos .....	14
1.2.1. Objetivo general .....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	14
1.3 Justificación .....	14
1.3.1. Justificación práctica .....	14
1.3.2. Justificación metodológica .....	15
1.4 Hipótesis .....	15
1.4.1. Hipótesis general .....	15
1.4.2. Hipótesis específicas.....	15
1.4.3. Variables .....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes del problema.....	17
2.2 Bases teóricas.....	24
2.2.1. Evaluación geomecánica .....	24
2.2.2. Criterios geomecánicos.....	24
2.2.3. Meteorización de las rocas.....	27
2.2.4. Resistencia de las rocas .....	27
2.2.6. Propiedades físico mecánicas del macizo rocoso .....	30
2.2.7. Características de las discontinuidades .....	32

2.2.8. RQD – Deere .....	41
2.2.9. Clasificación de Bieniawski (RMR) .....	42
2.3 Definición de términos básicos.....	46
CAPÍTULO III METODOLOGIA.....	50
3.1 Métodos y alcances de la investigación .....	50
3.1.1 Método general .....	50
3.1.2 Tipo de investigación .....	50
3.1.3 Nivel de investigación.....	50
3.2 Diseño de investigación .....	50
3.3 Población y muestra.....	51
3.3.1 Población .....	51
3.3.2 Muestra .....	51
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	51
3.4.1 Técnicas de recolección de datos .....	51
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos .....	51
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	52
4.1.1 Descripción litológica de la muestra .....	52
4.1.3 Calculo RQD .....	54
4.1.4 Datos del muestreo geomecánico .....	55
4.1.5 Procesamiento de datos cartilla geomecánica de Bieniawski .....	64
4.1.6 Análisis de los parámetros de resistencia del macizo rocoso mediante el software Roc data .....	68
4.2 Discusión de resultados .....	72
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES .....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
ANEXOS.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reducciones que hay que aplicar en el índice de rebote del martillo.....	28
Tabla 2. Terminología utilizada para medir la persistencia y sus respectivos valores.....	36
Tabla 3. Representación de una descripción de la abertura de las discontinuidades.....	39
Tabla 4. Clasificación de las rocas según el índice RQD de Deere .....	42
Tabla 5. Clasificación de macizo rocosos de acuerdo al espaciado de juntas.....	44
Tabla 6. Orientaciones relativas entre las juntas y el eje de cavidad.....	44
Tabla 7. Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski .....	45
Tabla 8. Corrección por orientación de discontinuidades .....	46
Tabla 9. Clase de macizo rocoso, clasificación de Bieniawski.....	46
Tabla 10. Determinación de la resistencia a la carga puntual de testigos de formas irregulares .....	53
Tabla 11. Determinación de la desviación estándar de la resistencia a la compresión uniaxial.....	53
Tabla 12. Datos del muestreo geomecánico .....	55
Tabla 13. Resultados datos procesados Hoek-Brown Classification .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de clasificación de las rocas simplificado .....	26
Figura 2. Concepto de macizo rocosos y estructura.....	29
Figura 3. Factores geológicos del macizo rocoso.....	31
Figura 4. Principales características de las discontinuidades .....	32
Figura 5. Orientación de discontinuidades .....	33
Figura 6. Representación del espaciamiento de las discontinuidades.....	34
Figura 7. Representación de una diaclasa con separación de 3 metros.....	35
Figura 8. Ejemplo de diaclasas escalonada .....	36
Figura 9. Discontinuidad de 7 metros con ambos extremos fuera del afloramiento .....	37
Figura 10. Perfiles de rugosidades para discontinuidades .....	38
Figura 11. Clasificaciones de la rugosidad de la pared del plano de discontinuidad mediante filometro .....	39
Figura 12. Abertura en diaclasas de 2 cm con relleno.....	40
Figura 13. Discontinuidades con material de relleno de óxido de hierro.....	41
Figura 14. Roca ígnea intrusiva granito.....	52
Figura 15. Se muestra la moda del Dip .....	59
Figura 16. Se muestra la moda del Dip direction.....	59
Figura 17. Se muestra la moda del Dip direction.....	60
Figura 18. Se muestra la moda del espaciamiento.....	60
Figura 19. Se muestra la moda de la persistencia.....	61
Figura 20. Se muestra la moda de la alteración .....	61
Figura 21. Se muestra la moda de la apertura .....	62
Figura 22. Se muestra la moda de la rugosidad .....	62
Figura 23. Se muestra la moda del relleno.....	63
Figura 24. Se muestra la moda de la presencia de agua .....	63
Figura 25. Se muestra la moda de la concentración de polos de las discontinuidades.....	64
Figura 26. Portada de software Geotable.....	65
Figura 27. Portada de software Geotable.....	65
Figura 28. Procesamiento de datos en el RMR - software Geotable .....	66



Figura 29. Resumen de resultados RMR - software Geotable .....	67
Figura 30. Autosostenimiento RMR - software Geotable.....	68
Figura 31. Muestra la programación de unidades y criterio de análisis .....	69
Figura 32. Muestra el ingreso de los parámetros para el análisis .....	69
Figura 33. Muestra resultados de las tensiones principales .....	70
Figura 34. Muestra resultados de los ángulos de fricción y cohesión .....	70
Figura 35. Resultados Principal Stresses procesados Hoek-Brown Classification .....	72

## RESUMEN

La presente investigación planteó como objetivo general: establecer la estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021, cuya hipótesis general fue: la estimación de los parámetros geomecánicos y geotécnicos del macizo rocoso influyen en el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021.

El método de investigación fue el científico, de tipo aplicada, nivel correlacional, de diseño no experimental. La población estuvo conformada por las labores mineras de avance, la muestra por la galería principal de la zona de profundización sector IV de la unidad minera Cobriza.

Producto de la investigación se concluyó que la estimación geomecánica del macizo rocoso de acuerdo a la cartilla geomecánica de Bieniawski es de 78 puntos, número de clase II cuya descripción es de buena roca con un tiempo de auto sostenimiento de 12 meses y una longitud de 10 metros, La cohesión de la masa rocosa KPa 300 – 400 y un ángulo de fricción de masa rocosa de 35° - 45° para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV. Se recomienda que la excavación se realice a frente completo de 1 a 1.5 m de avance; sostenimiento completo a los 20 m del frente. El sostenimiento se realizará con pernos de 3 m en la corona espaciados a 2.4 m con malla de alambre ocasional, en el caso de *shotcrete* 50 mm en la corona donde sea necesario

**Palabras claves:** estimación geomecánica del macizo rocoso, control de estabilidad, zona profundización.

## ABSTRACT

The present investigation was raised as a general objective: To establish the geomechanical estimation of the rock mass for the stability control of the deepening zone of the Cobriza mining unit, sector IV, 2021, whose general hypothesis was: The estimation of the geomechanical and geotechnical parameters of the rock mass influence the stability control deepening zone mining unit Cobriza sector IV, 2021.

The research method was scientific, applied type, correlational level, nonexperimental design, the population was made up of advance mining work, the sample through the main gallery of the sector IV deepening zone of the Cobriza mining unit.

As a result of the investigation, it was concluded that: The geomechanical estimate of the rock mass according to the Bieniawski geomechanical primer is 78 points, class II number whose description is of good rock with a self-sustaining time of 12 months and a length of 10 meters, the cohesion of the rock mass KPa 300 – 400 and a friction angle of the rock mass of 35° - 45° for stability control in the deepening zone of the Cobriza mining unit, sector IV, it is recommended that the excavation be carried out at the full face of 1 to 1.5 m advance; full support at 20 m from the front. The support will be made with 3 m bolts in the crown spaced at 2.4 m with occasional wire mesh, in the case of shotcrete 50 mm in the crown where necessary.

**Keywords:** geomechanical estimation of the rock mass, stability control, deepening zone.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: “Estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV” partió de la problemática de los problemas que se presentan en las labores de avance. Se manifiestan con la inestabilidad de la masa rocosa al contorno de la excavación, la que muchas veces crea el desprendimiento de rocas exponiendo a los trabajadores a trabajar en zonas inseguras; del mismo modo, los equipos de minas tales como jumbos, cargador frontal, volquetes se encuentran inmerso ante este peligro y por otro lado las mismas labores mineras las cuales pueden colapsar. La inestabilidad de la masa rocosa repercute en los altos costos en sostenimiento que viene desembolsando la empresa.

La caracterización geomecánica permite evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas utilizando las herramientas, a fin de controlar la estabilidad de rocas, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa, con el fin de brindar una operación segura y de calidad.

En las labores subterráneas se presentan agrietamientos de los macizos rocosos, lo que origina la pérdida de estabilidad y el mecanismo de actuación de la presión, esto se determina mediante la geomecánica. Para un mejor entendimiento del desarrollo de la tesis esta de desarrollo en cuatro capítulos, los mismos que tiene los siguientes contenidos.

En el capítulo I, se encuentra el planteamiento del estudio, en el cual se detalla el planteamiento y formulación del problema citando el problema general y específico, del mismo modo se da a conocer el objetivo general y específico, posteriormente se expone la justificación práctica y metodológica; para finalizar este capítulo se exponen la hipótesis general, específica y las variables de esta investigación.

El capítulo II, titulado Marco teórico, se dan a conocer los antecedentes nacionales e internacionales, de igual manera las bases teóricas y para finalizar se redacta la definición de términos básicos de la investigación.

El capítulo III, titulada Metodología, está referida para la metodología de la investigación, resaltando el método general, tipo, nivel, diseño, población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos. En el capítulo IV corresponde a resultados y discusión en donde se dan a conocer los datos que se obtuvieron de la investigación.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

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

Los problemas que se presentan en las labores de avance se manifiestan con la inestabilidad de la masa rocosa al contorno de la excavación, la que muchas veces crea el desprendimiento de rocas exponiendo a los trabajadores a trabajar en zonas inseguras; del mismo modo, los equipos de minas tales como jumbos, cargador frontal, volquetes se encuentran inmersos ante este peligro y por otro lado las mismas labores mineras, las cuales pueden colapsar. La inestabilidad de la masa rocosa repercute en los altos costos en sostenimiento que viene desembolsando la empresa.

La caracterización geomecánica permite evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas utilizando las herramientas, a fin de controlar la estabilidad de rocas, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa, con el fin de brindar una operación segura y de calidad.

En las labores subterráneas se presentan agrietamientos de los macizos rocosos, lo que origina la pérdida de su estabilidad y el mecanismo de actuación de la presión, esto se determina mediante la geomecánica. En tal sentido, se hace necesario realizar un estudio con la finalidad de minimizar los problemas que se presentan en las labores mineras.

### **1.1.1 Problema general**

¿Cuál es el resultado de la estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles son los resultados de la estimación de los parámetros de la matriz rocosa para el control de estabilidad zona profundización?
- b) ¿Cuáles son los resultados de la estimación de los parámetros del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización?
- c) ¿Cuáles son los resultados de la estimación de los parámetros geotécnicos constructivos para el control de estabilidad zona profundización?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Establecer la estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Establecer los resultados de la estimación de los parámetros de la matriz rocosa para el control de estabilidad zona profundización.
- b) Establecer los resultados de la estimación de los parámetros del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización.
- c) Establecer los resultados de la estimación de los parámetros geotécnicos constructivos para el control de estabilidad zona profundización.

## **1.3 Justificación**

### **1.3.1. Justificación práctica**

La presente investigación se propone realizar la estimación de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso en labores de profundización nivel IV, haciendo

uso de las cartillas geomecánicas del Q de Barton y Bieniawski con la finalidad de establecer el control de la estabilidad de las labores mineras, de esta manera se pretende establecer una propuesta para dar solución al problema de la inestabilidad del macizo rocoso en las labores.

### **1.3.2. Justificación metodológica**

Con la finalidad de desarrollar la investigación, los tesisistas emplearán metodologías sistematizadas para la toma de datos de campo, estas metodologías servirán de guía para procesar la información de manera ordenada y sistemática; cabe resaltar que estas metodologías podrán ser consideradas como herramientas para otras investigaciones que tengan un enfoque parecido.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La estimación de los parámetros geomecánicos y geotécnicos del macizo rocoso influyen en el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- a) La estimación de los parámetros de la matriz rocosa a través del cálculo de la porosidad, permeabilidad, densidad y el grado de saturación influyen para el control de estabilidad zona profundización.
  
- b) La estimación de los parámetros del macizo rocoso a través del cálculo de: R.Q.D., tamaño y forma de los bloques de la matriz rocosa, la resistencia al corte entre bloques de la matriz rocosa y las condiciones hidrogeológicas para el control de estabilidad zona profundización.
  
- c) La estimación de los parámetros geotécnicos constructivos a través del análisis del sistema de excavación, tiempo de instalación de los sostenimientos, presencia de las excavaciones adyacentes, geometría y dimensiones de las excavaciones influyen en el control de estabilidad zona profundización.



### **1.4.3. Variables**

#### **a) Variable Independiente (X):**

- Estimación geomecánica del macizo rocoso

#### **Indicadores:**

- Parámetros de la matriz rocosa
- Parámetros del macizo rocoso
- Parámetros geotécnicos constructivos

#### **b) Variable dependiente (Y)**

- **Control de estabilidad**

#### **Indicadores:**

- Tamaño
- Forma
- Secuencia de avance

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

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

a) Tesis titulada: “*Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha – Sociedad Minera Corona S. A.*” Su objetivo general fue: (1)

- ✓ Determinar cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente, tajeo 0337, RP basculante, piso 0, nivel 1170, zona V, cuerpo mascota - Unidad Minera Yauricocha, 2018

Los objetivos específicos fueron: (1)

- ✓ Determinar la influencia de las propiedades del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente.
- ✓ Evaluar las características de los elementos de sostenimiento a emplear en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente.
- ✓ Cuantificar los costos del sostenimiento a emplear en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente.

Producto de su investigación concluye que: (1)

- ✓ Se concluye que la evaluación geomecánica de tajeo 0337, RP basculante, piso 0, nivel 1170, zona V, cuerpo mascota - Unidad Minera Yauricocha, conforme a la Clasificación de Bieniawski, dieron como resultado que el tipo de sostenimiento aconsejado para la roca que se tomó como muestra (de acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio y con la ayuda del programa Geotable) que la valorización es 74 puntos lo cual clasifica a la unidad de análisis como macizo rocoso bueno clase II. Este resultado permite viabilizar el empleo de pernos Split set localmente de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla electrosoldada y shotcrete ocasionalmente.
  
- ✓ El macizo rocoso está compuesto de roca ígnea plutónica tipo granodiorita de textura fina compuesto por cuarzo y feldespatos, las propiedades físicas y mecánicas que se analizaron dentro del laboratorio; volumen, densidad, humedad, grado de saturación, porosidad, absorción, entre otros y software de geomecánica y sus parámetros: RQD, resistencia a la compresión uniaxial, espaciamiento, condición de juntas, filtración de agua, influyen en la determinación de elegir un adecuado sostenimiento, un total de 4 pruebas demuestran que la roca es competente Tipo II: roca buena, y para una explotación de corte y relleno ascendente.
  
- ✓ Las características de los elementos de sostenimiento dependen mucho de su proveedor y fabricación; a partir de ello, los pernos Split set consiguen efecto de puesta a carga inmediata y permiten un deslizamiento muy importante ante de la rotura, poseen una resistencia inmediata debido a su función de anclaje de la resina y la reducción de costos de la lechada para los elementos de sostenimiento de roca; de igual manera, la malla electrosoldada es un componente muy importante en este tipo de explotación, ya que previene la caída minuciosa de roca reduciendo accidentes, el acero galvanizado es muy resistente ante las rocas cortantes no dejándolas pasar y resistiendo el peso, ambos componentes de sostenimiento se complementan generando una seguridad y estabilidad dentro de la Unidad Minera Yauricocha; por otro lado la importancia y solución que nos brinda el shotcrete es muy necesaria, se lanza en lugares más inestables, donde se encuentra

con un macizo rocoso inestable, lanzando y previendo deslizamientos y caídas de rocas de gran tamaño.

- ✓ Los costos para el sostenimiento desempeñan un rol muy importante en la elección del tipo de sostenimiento en las labores de preparación desarrollo y explotación en la Unidad Minera Yauricocha, por lo cual se debe dar prioridad el sostenimiento adecuado por el Departamento de Geomecánica conjuntamente con planeamiento de la unidad minera Yauricocha con el objetivo de minimizar accidentes por caída de rocas. Los costos inmersión de acuerdo al estudio geomecánico son los precios unitarios de Split set, malla electrosoldada y shotcrete.

b) Tesis titulada: “*Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto SAN Gabriel CIA de minas Buenaventura*”. El objetivo general fue:(2)

- ✓ Evaluar las características geomecánicas y la estabilidad de las labores en el proyecto

Los objetivos específicos fueron: (2)

- ✓ Identificar las características geomecánicas de las labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura.
- ✓ Determinar las condiciones de estabilidad de las labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura.

Producto de su investigación concluye que: (2)

- ✓ La evaluación geomecánica y estabilidad de las labores se determinó siguiendo una metodología de campo, laboratorio y gabinete, obteniéndose óptimos resultados que ayudaran en el proceso constructivo de las labores de exploración del Proyecto San Gabriel.
- ✓ Se realizó la evaluación de las características geomecánicas del sitio, a través de la realización de ensayos de laboratorio y mapeo de campo de 40 estaciones geomecánicas por el método de celdas o ventanas, obteniéndose las características típicas del macizo rocoso presente en el Proyecto San Gabriel. Teniendo las siguientes características: Se presentan 5 familias de

discontinuidades relevantes, con un RQD de valor medio a bueno, espaciados muy junto a extremadamente junto, persistencia media a alta, con superficies rugosa, apertura angosta, relleno típico de óxido y condición de humedad. La clasificación geomecánica nos muestra que el Proyecto San Gabriel presenta un tipo de roca regular a buena calidad.

- ✓ Se realizó la evaluación de estabilidad por métodos empíricos, obteniéndose condiciones de estabilidad, tiempo de autosostenimiento, tipo de sostenimiento. Las excavaciones de sección 3.5 x 3.5 m como son las Cortadas de exploración en gran parte no requerirán sostenimiento, sin embargo, de presentarse un terreno de mala calidad será necesaria la evaluación de sostenimiento. Las excavaciones de sección 4.5 x 4.5 m como es el caso de la Rampa San Gabriel, requerirá un sostenimiento de tipo permanente que puede ser pernos helicoidales distribuidos de manera sistemática y finalmente las excavaciones de sección 7.0 x 7.0 m destinadas a ser Cámaras de perforación diamantina requerirán un sostenimiento más robusto como es el caso del Shotcrete más empernado sistemático. Finalmente, se realizaron modelamientos numéricos por el método esfuerzo deformación para validar la estabilidad de las excavaciones.

c) Tesis titulada: “Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.” Su objetivo general fue: (3)

- ✓ Efectuar la caracterización geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento para la estabilidad en el minado subterráneo de la mina Huantajalla – U.P. Uchucchacua de la compañía minera Buenaventura S.A.A.

Los objetivos específicos fueron: (3)

- ✓ Determinar la clasificación geomecánica, para optimizar el sostenimiento en la mina Huantajalla – U.P. Uchucchacua de la compañía minera Buenaventura S.A.A.

- ✓ Establecer los parámetros geotécnicos para poder controlar el factor de seguridad, estabilidad y sostenimiento en la mina Huantajalla – U.P. Uchucchacua de la compañía minera Buenaventura S.A.A.

Las conclusiones de su investigación fueron: (3)

- ✓ El negocio minero se caracteriza por ser una actividad de precio aceptable, lo que constituye un commodity. Es imperativo el liderazgo de costos de procesos en la Unidad para alcanzar competitividad. Por tanto, Uchucchacua debe operar bajo un modelo de administración estratégica, para el cual posee planes y acciones para lograr los objetivos y metas.
- ✓ A partir de los datos obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y de los informes previos del departamento de geomecánica, que han servido de base para definir los parámetros de control geomecánico y determinar el plan de minado, en mina Huantajalla – UEA. Uchucchacua.
- ✓ Realizado la Caracterización de la Roca y usando el sistema de clasificación y calificación geomecánica RMR (Bieniawski 1989), se han determinado los Tipos de Roca presentes en la mina socorro – UEA. Uchucchacua. ejemplo: Las calizas (RMR  $\approx$  48). Determinando de esta manera la capacidad de resistencia de cada tipo de roca, la cual nos da los parámetros de estabilidad de cada área de minado, permitiéndonos tener un adecuado panorama del plan de minado.
- ✓ Calcular la resistencia uniaxial a la compresión en MPa, a partir de los valores de resistencia del martillo Schmidt. El martillo se ha aplicado perpendicularmente a una pared vertical durante el ensayo.
- ✓ Ejemplo:  
Densidad de mineral:  $3.2 \text{ kN/m}^3$   
Densidad de la caliza:  $2.7 \text{ kN/m}^3$   
Plateando los valores de rebote medio obtenidos en el ábaco se obtiene:  
Mineral: 58 MPa  
Caliza: 79 MPa

- ✓ El análisis de estabilidad estructuralmente controlado se ha efectuado para aquellos con más de dos sistemas de discontinuidades, en todos los casos analizados se ha determinado presencia de roca fracturada, de cuñas de mediano y pequeño tamaño los cuales han sido controlados con el sostenimiento con pernos helicoidales y malla electrosoldada, y shotcrete.
- ✓ El análisis de estabilidad controlado por esfuerzos se realizó mediante la aplicación del método por elementos finitos, enfocado a la estabilidad de puentes, obteniendo puentes de 7.0 m cuando se tiene roca mala y 5.0 m cuando la roca es regular. Así mismo, el mismo análisis se utilizó para análisis la estabilidad de las labores al minar por tajeos, obteniendo Factores de seguridad, que van desde 1.50 a 0.95 de acuerdo a determinadas condiciones siendo controlado por relleno detrítico y relleno hidráulico.

d) Tesis titulada: “*Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018*”. Su objetivo general fue: (4)

- ✓ Determinar en base a la geomecánica el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la Corporación Minera Toma La Mano – CORMITOMA S.A. – Año 2018

Los objetivos específicos fueron: (4)

- ✓ Determinar la clasificación del macizo rocoso para el diseño del sostenimiento en la Corporación Minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – Año 2018.
- ✓ Determinar los procedimientos de instalación de los sistemas de sostenimiento en la Corporación Minera Toma La Mano – CORMITOMA S.A. – Año 2018.

Las conclusiones de su investigación fueron: (4)

- ✓ En este caso el sostenimiento es esporádico, ya que el levantamiento litológico estructural se realizó en la zona mineralizada. Split set de 5 y 7 pies espaciados cada uno de 1.2 x 1.2 m, distribuidos en forma de tres bolillos + malla electrosoldada en terrenos muy fracturados o cuadros de madera donde

requiera; puntales de seguridad, en las partes donde requiera, hacer un buen control de perforación y voladura. Sostenimiento en caso los requiera, por el proceso de meteorización de la roca; realizando control preventivo.

✓ 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 espaciados cada uno de 1.2 x 1.2 m. distribuidos en forma de tres bolillos + malla electrosoldada en terrenos muy fracturados o cuadros 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.

✓ En lo relacionado a las propiedades físico - mecánicas del macizo rocoso de la Corporación Minera S. A., se determinó para las tres rocas predominantes:

✓ **Pizarra:**

- Cohesión: 1.7785 Kg/cm<sup>2</sup>
- Angulo de fricción: 28.018°
- Esfuerzo a la tracción: 2.156 MPa
- Esfuerzo compresivo: 5.6926 MPa
- Esfuerzo al corte: 4E-01 MPa
- Módulo de deformación in situ: 16.50GPa
- Densidad: 23.66 KN/m<sup>3</sup>

✓ **Cuarcita:**

- Cohesión: 3.8392 Kg/cm<sup>2</sup>
- Angulo de fricción: 55.441°
- Esfuerzo a la tracción: -1.927 MPa
- Esfuerzo compresivo: 23.837 MPa
- Esfuerzo al corte: 2E-67 MPa



- Módulo de deformación in situ: 39.25 GPa
- ✓ **Granodiorita**
- Cohesión: 5.379 Kg/cm<sup>2</sup>
- Angulo de fricción: 61.794°
- Esfuerzo a la tracción: -2.157 MPa
- Esfuerzo compresivo: 40.221 MPa
- Esfuerzo al corte: 5e-164 MPa
- Módulo de deformación in situ: 63.75 GPa
- Densidad: 24.56 KN/m<sup>3</sup>

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1. Evaluación geomecánica**

En este párrafo se evalúan conceptualmente los procedimientos aplicables para la explotación de las construcciones mineralizadas a partir del punto de vista geomecánico. Esta evaluación involucra un diagnóstico de la situación presente de los procedimientos de explotación, la revisión de los indicadores, la identificación de las limitaciones a la “productividad y rentabilidad de los procedimientos en la actualidad aplicados”. Después con base al estudio de condiciones “geológicas y geomecánicas” que presentan las construcciones mineralizadas y su ámbito físico (cajas) se realiza una selección conceptual de los procedimientos a partir del punto de vista “geomecánico” orientados hacia la mejora del minado. El desarrollo y los resultados de esta evaluación se muestran en los siguientes párrafos

### **2.2.2. Criterios geomecánicos**

Los propietarios y la alta dirección de una mina subterránea esperan que el sistema de explotación a ser usado reúna y cumpla con las necesidades fundamentales de estabilidad, recuperación de mineral, retorno de capital, medio ambiente y responsabilidad social. Por esto, los criterios geomecánicos que se adopten para el desarrollo de una explotación subterránea cumplirán un papel fundamental, y sus necesidades tienen que reflejarse en la política corporativa. O sea, previo al asentimiento de un diseño de explotación, estas tienen que estar alineadas con los criterios geomecánicos específicos de diseño, operación y cierre.

Los criterios geomecánicos a tener en cuenta en el desarrollo de un plan minero son los que dicen a continuación.

✓ **Criterios geomecánicos para el diseño**

- Uso de la excavación minera
- Factor de seguridad y/o probabilidad de falla.
- Área de influencia
- Normas técnicas aplicables

✓ **Criterios geomecánicos durante la construcción y operación**

- Estándares constructivos
- Especificaciones técnicas.
- Técnicas de construcción y explotación.
- Mapeo, instrumentación y monitoreo.

✓ **Criterios geomecánicos para el cierre de minas**

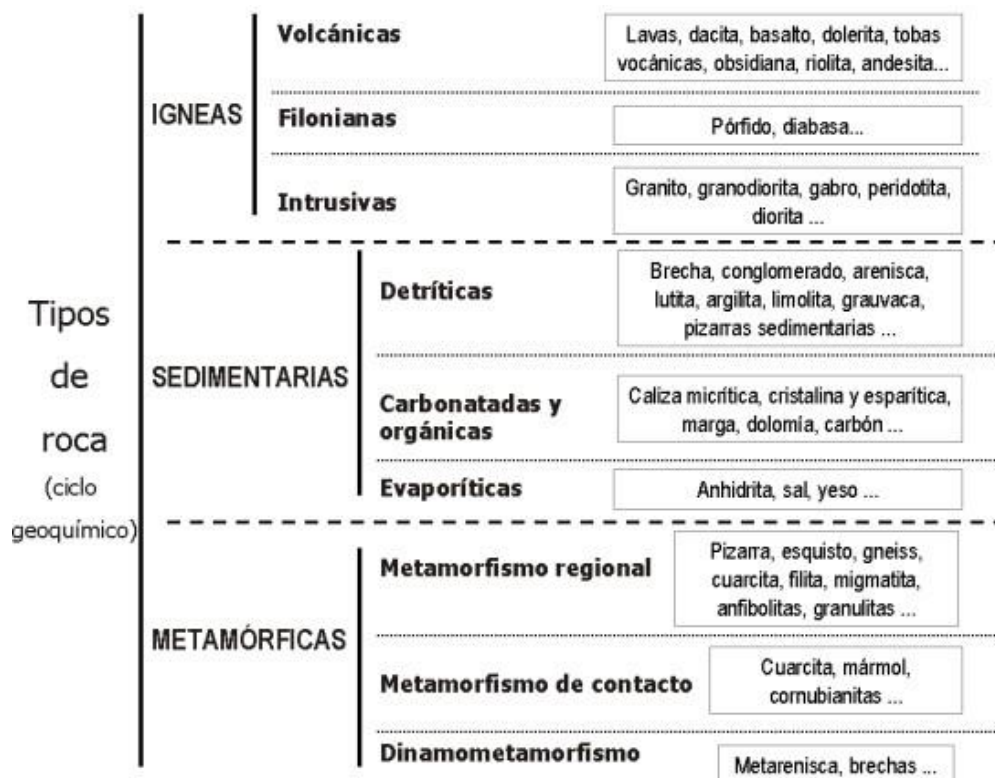
- Durabilidad, monitoreo y mantenimiento

### **2.2.2.3. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos**

Las rocas tienen la posibilidad de conceptualizar como agregados o grupo de una o numerosas sustancias minerales que conforman macizos, que ocupan gigantes extensiones de la corteza terrestre o lo cual es lo mismo, que son el primordial componente constructivo de la litosfera. El periodo geoquímico de las rocas, representado de manera indicativa en la parte de la formación de la corteza rocosa; los materiales fluidos que proceden de regiones profundas han seguido y siguen en la actualidad su camino de ascenso hacia la extensión de la tierra. Dichos materiales, que consisten en una masa rocosa dinámica, en la que tienen la posibilidad de coexistir etapas sólidas, líquidas y gaseosas, se llaman magmas.

Una vez que los magmas ascienden hacia regiones mejores se crea su solidificación, que puede producirse en la misma área o bien a una cierta hondura. producirse la consolidación en área, esta tiene sitio de forma inmediata

y, por consiguiente, no están formados, cristales monumentales; por lo cual acostumbran formarse vidrios. De esta forma se crea las piedras volcánicas. Una vez que la consolidación se genera en hondura, los cristales tienen la posibilidad de irse desarrollando, debido al enfriamiento lento; de esta forma están compuestos las piedras intrusivas. en filones que ascienden hacia el área, se habla de piedras filonianas. piedras volcánicas, filonianas e intrusivas conforman las piedras ígneas. Las piedras quedan expuestas a la intemperie; sus elementos son eliminados física y diagénesis están compuestos las piedras sedimentarias. En ciertas regiones, al acumularse los sedimentos, se va produciendo el hundimiento o subsidencia del fondo marino, de manera que los paquetes sedimentarios se ven sometidos a niveles relevantes de presiones y temperaturas, que ofrecen sitio a la formación química y piedras metamórficas, que se caracterizan típicamente por su foliación. De esta forma puesto que, como se deriva del periodo geoquímico presentado, según su origen, las piedras tienen la posibilidad de ser ígneas, sedimentarias y metamórficas.



**Figura 1. Esquema de clasificación de las rocas simplificado**  
Tomado de Ramírez Pedro, 2004

### 2.2.3. Meteorización de las rocas

Se denomina meteorización de las rocas a las modificaciones experimentadas en su meteorización desde el punto de vista de la mecánica de rocas se debe a que produce profundos cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos. dos clases de meteorización: física y química.

#### ➤ La meteorización física incluye las siguientes acciones

- Arranque directo de partículas por erosión.
- Acción destructora debida a la congelación del agua en grietas y fisuras.
- Modificaciones producidas por los cambios de volumen de la roca debidos a variaciones de temperatura.
- Acción de las plantas, especialmente de las raíces de los árboles.

### 2.2.4. Resistencia de las rocas

Aunque este apartado trata básicamente de cómo estimar en el campo la resistencia a compresión de las piedras, además tiene relación con los suelos cohesivos, debido a que frecuentemente éstos se hallan rellenando discontinuidades del macizo rocoso. La resistencia a compresión de las piedras se puede estimar desde la dureza superficial, éste se apoya en un dispositivo que registra el rebote de un cilindro la piedra. El martillo tipo L posibilita medir valores de la resistencia a compresión fácil de la piedra fórmula para calcular la resistencia de la roca partiendo del índice de rebote del martillo de Schmidt

$$\text{LOG}(\sigma_c) = 0,00088 \gamma R + 1,01$$

Donde:

$\sigma_c$  =resistencia a compresión simple de la capa superficial de la roca (MPa)

$\gamma$  = peso específico de la roca (kN/m<sup>3</sup>)

R = Índice de rebote

Ecuación 1: fórmula para calcular la resistencia de la roca partiendo del índice de rebote del martillo de Schmidt

Para lograr utilizar de manera directa la fórmula anterior, el martillo debería situarse verticalmente hacia debajo sobre un área horizontal, o sea, en la condición de rebote mínima. Los índices de rebote van en la práctica de 10 a 60.

El índice más bajo corresponde a las piedras más débiles (resistencia a compresión sencilla 150 MPa). Las piedras bastante poco resistentes no se tienen que ensayar con el martillo de Schmidt tipo L. Las reducciones que se debe utilizar en el índice de rebote del martillo una vez que éste no está orientado verticalmente hacia debajo son, en funcionalidad del ángulo  $\alpha$  que forma el martillo con la vertical se presentan tabla

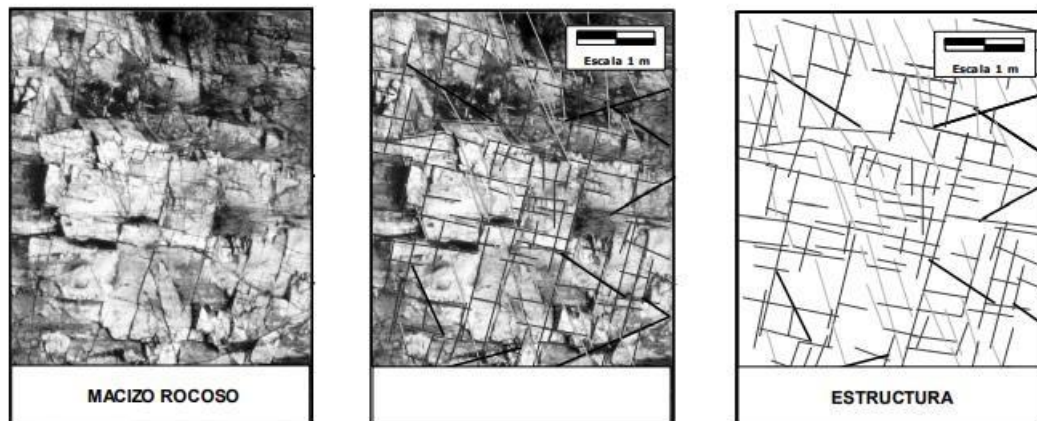
**Tabla 1. Reducciones que hay que aplicar en el índice de rebote del martillo**

Rebote	Hacia abajo		Hacia arriba		Horizontal
	$\alpha=-90^\circ$	$\alpha=-45^\circ$	$\alpha=+90^\circ$	$\alpha=+45^\circ$	$\alpha=0^\circ$
10	0	-0,8	---	---	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-5,3	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,2
60	0	-0,4	-4,0	-3,3	-1,7

*Tomado de Ramírez Pedro, 2004*

### 2.2.5. Estructura del macizo rocoso

Se llama composición del macizo rocoso al grupo de fallas, diaclasas, pliegues y demás propiedades geológicas propias de una cierta zona del mismo. En ingeniería de rocas, se estima que la composición del macizo rocoso comprende además los tipos de rocas existentes en él. La sociedad de diversos tipos de rocas puede ofrecer sitio a secuelas difíciles de evaluar a partir de la perspectiva geotécnico; de esta forma, ejemplificando, en una sucesión sedimentaria, una litología podría ser más susceptible de meteorización que otra y su presencia puede ocasionar que los otros tipos de roca existentes en el macizo maximicen su susceptibilidad a la meteorización. Dominio estructural es la porción del macizo rocoso, principalmente delimitada por discontinuidades geológicas, en la cual la composición es básicamente homogénea. Por ejemplo, en las discordancias o en regiones de pliegues se dividen dominios estructurales diferentes.



*Figura 2. Concepto de macizo rocosos y estructura  
Tomado de Ramírez Pedro, 2004*

Los diversos tipos de discontinuidades mencionados se describen en seguida:

- Estrato. Grado fácil de litología homogénea o gradaciones, depositado de manera paralela a la inclinación de la formación. Suele estar separado de los estratos adyacentes por zonas de erosión. Una vez que el macizo rocoso está construido por un solo tipo litológico, los estratos tienen la posibilidad de ser difíciles de reconocer.
- Laminación. área de discontinuidad que da a las rocas un aspecto laminar de lechos bastante flacos. Podría ser debida a presiones orogénicas o de procedencia sedimentario.
- Esquistosidad. Un macizo rocoso muestra esquistosidad una vez que tiene una composición, de origen tectónico o metamórfico, en láminas u hojas paralelas.

➤ **Esquistosidad de fractura**

Es debida a una muchedumbre de micro fallas o micropliegues-falla bastante próximos, espaciados del orden de ciertos milímetros, que se superponen a una deformación continua apreciable y que separan láminas sin generar orientación de los minerales

➤ **Esquistosidad de flujo**

Es un fenómeno gracias a un aplastamiento que origina un reajuste de la textura de la roca dando sitio a orientación paralela de todos los minerales, recristalizaciones y disoluciones orientadas. El resultado es la aparición de una anisotropía general sin embargo sin que existan discontinuidades. Esta cristalización no destruye cada una de las trazas de la estratificación.

➤ **Foliación**

Es una fase avanzada de la esquistosidad de flujo, que se genera una vez que incrementan las condiciones de presión y temperatura y aparecen minerales metamórficos orientados cada vez de más grande talla. La roca se convierte en una secuencia de hojas con diferentes minerales entre cada 2 planos de anisotropía.

➤ **Pizarrosidad**

Es la propiedad de las piedras de aspecto laminar de poder separarse en hojas delgadas. Involucra un cierto metamorfismo.

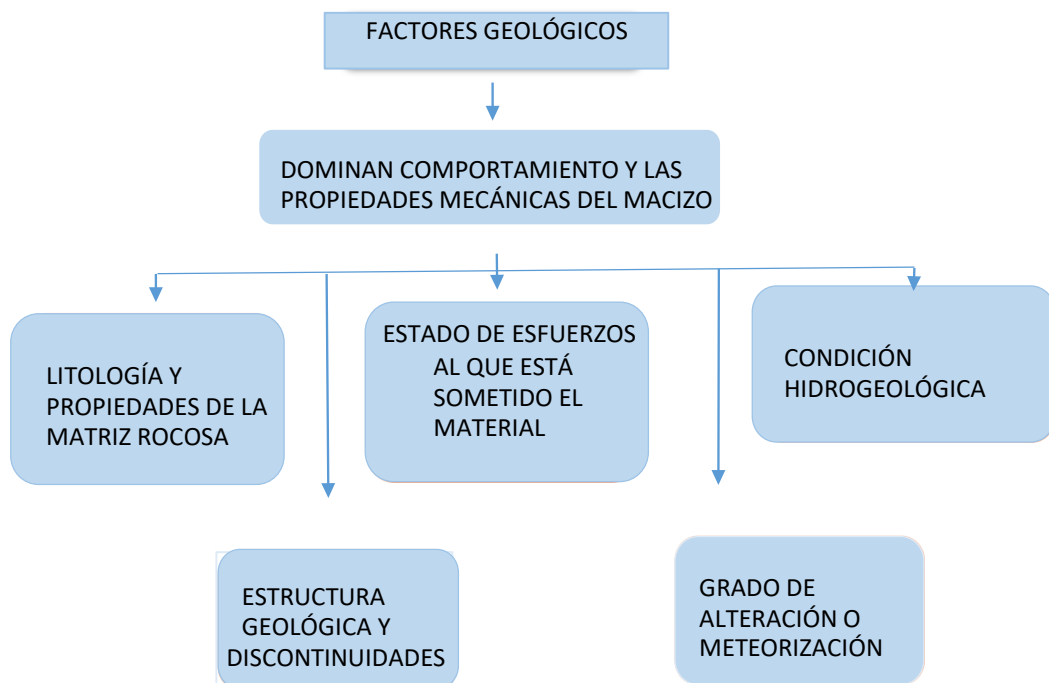
➤ **Fallas y juntas**

Son planos de discontinuidad que se generan una vez que el macizo rocoso ha estado sometido a un esfuerzo tectónico que ha sobrepasado su límite de rotura. Una vez que ambas secciones separadas por la fractura han sufrido desplazamientos relativos por impacto de tensiones cortantes, ésta se llama fracasa. En caso opuesto se llama junta. Éstas tienen la posibilidad de conformar además a efecto de el decrecimiento de compresión vertical que se crea gracias a la erosión o por los cambios de volumen diferenciales que poseen sitio en ciertos macizos rocosos.

### **2.2.6. Propiedades físico mecánicas del macizo rocoso**

El comportamiento del macizo rocoso (bloques de matriz rocoso más discontinuidades) está dado por las propiedades de la matriz rocosa que lo constituye; sus propiedades resistentes y de formaciones como la alteración o la meteorización que influye en rocas poco resistentes, cuya afectación te hace mayor como el paso del tiempo y la exposición a factores ambientales; además

de ello, la frecuencia y el tipo de discontinuidades existentes en el macizo rocoso determinan en la mayor parte el comportamiento global, del macizo rocoso, aunque la existencia de otros factores como los son estructuras tectónicas (pliegues, tensiones naturales, condiciones hidrogeológicas y los factores geo ambientales afecta en conjunto el comportamiento mecánico del mismo). Los factores geológicos se denominan el comportamiento y las propiedades mecánicas del macizo rocoso se presentan.



**Figura 3. Factores geológicos del macizo rocoso**

Los esfuerzos actuantes sobre la roca determinan los modelos de deformación y el comportamiento mecánico del conjunto del macizo rocoso, las clasificaciones geotécnicas o geomecánicas general para los diferentes tipos de macizo rocoso han sido difícil de establecer debido a la variabilidad de los factores mencionados anteriormente, el carácter discontinuo y isotrópico de los macizos. (Gonzales de vallejo, 2002). En mecánica de rocas las clasificaciones más útiles son las denominadas clasificaciones geomecánicas entre las que se establecen RMR de Bieniawski y la Q de Barton, como las más utilizadas (Gonzales de vallejo, 2002); estas establecen diferentes grados de calidad del macizo rocoso en función de las propiedades de matriz rocosa y de las discontinuidades que proporcionan valores estimativos de sus propiedades

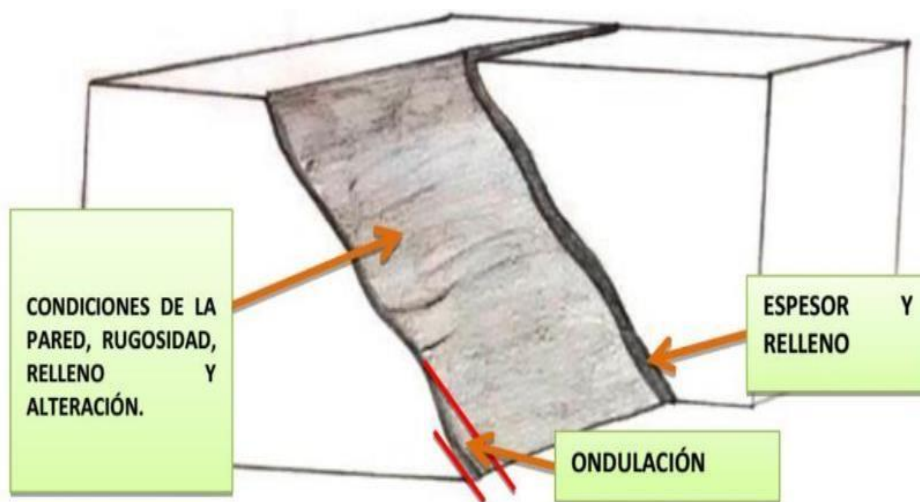


resistentes globales. Existe otras clasificaciones basado en diferentes parámetros de las propiedades del macizo rocoso como los son Therzagui 1946, romana 1985, índice de resistencia geológica (GSI) entre otra. (Salcedo SGC, 2019).

Estas clasificaciones establecen diferentes grados de calidad del macizo rocoso según parámetros valorativos de las propiedades de la matriz rocosa que lo constituyen, así como de las discontinuidades lo que permite establecer valores estimativos en cuento a la resistencia global del macizo rocoso. En presente texto se presenta una relación de las clasificaciones geomecánicas de las rocas establecida en la combase en la documentación bibliográfica presentada. Sin embargo, se ha solucionado para realizar una descripción más detallada las clasificaciones mencionadas

### 2.2.7. Características de las discontinuidades

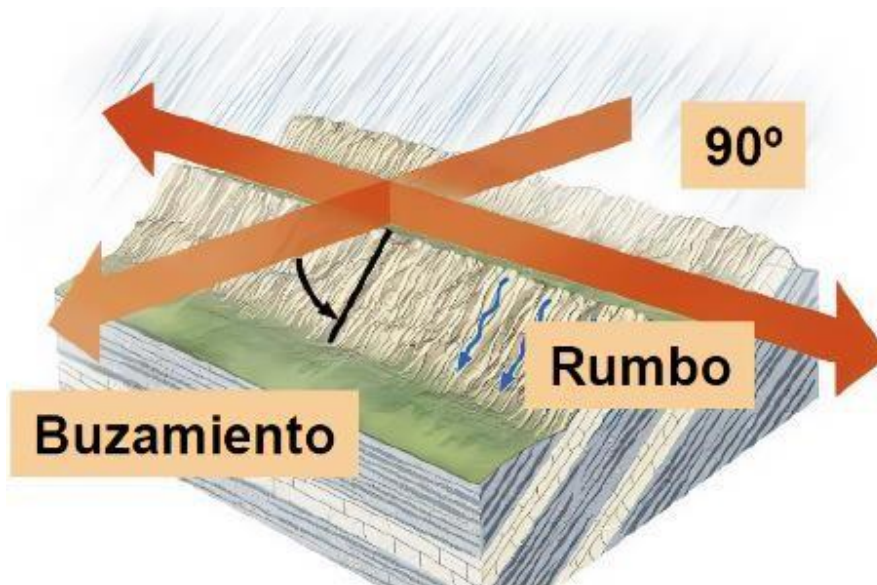
Algunas características de las discontinuidades que determinan el comportamiento del macizo rocoso de describen a continuación.



*Figura 4. Principales características de las discontinuidades  
Tomado de Salcedo SGC ,2019*

### ➤ Orientación

La orientación de una discontinuidad puede medirse mediante en el uso de una brújula con clinómetro, tomando los valores correspondientes al rumbo y buzamiento.



*Figura 5. Orientación de discontinuidades  
Tomado de Salcedo SGC ,2019*

La dirección de buzamiento se encuentra midiendo el ángulo que forma la intersección del plano de la discontinuidad con un plano horizontal, midiendo el mismo desde el norte en el sentido de las agujas del reloj. También se utiliza el termino de rumbo que se define como el ángulo que forma la recta de máxima pendiente del plano de la discontinuidad con una horizontal perpendicular al rumbo.

### ➤ Espaciamiento

Mide el tamaño de los bloques de roca, la medida o frecuencia de fracturas presentes en el macizo rocoso es inversamente proporcional a la cohesión global del mismo. Una roca muy fracturada puede presentar diferentes tipos de falla y variar de una a otra, por otro lado, esta característica tiene gran influencia en la permeabilidad del macizo rocoso.



**Figura 6. Representación del espaciamiento de las discontinuidades  
Tomado de Salcedo SGC ,2019**

Cuando se trata de estudiar macizos rocosos con fines de ingeniería se hace necesario medir el espaciamiento como la medición se realiza con cinta métrica en sentido perpendicular al sistema de discontinuidades hacer medido y se registran todas las discontinuidades a lo largo de una longitud mínima de 3 metros según recomendación del profesor salcedo, a menos que el espesor de la masa rocosa sea menor, sin embargo, para los mejores resultados es recomendable que la longitud de muestreo que mayor que 10 veces al espaciamiento medido.



**Figura 7. Representación de una diaclasa con separación de 3 metros  
Tomado de Salcedo SGC ,2019**

Del espaciamiento de discontinuidades surge el tiempo de frecuencia que representa la cantidad de discontinuidades por cada metro de afloramiento, por ejemplo, diaclasas como un espaciamiento de cada 3 metros se presenta una frecuencia de 0,5;1 como se muestra en la figura adjunta.

Según la ISRM o sociedad internacional de mecánica de rocas las clasificaciones de macizos rocosos respecto al espaciado de juntas se realizan de acuerdo a la tabla 18.

Tabla 18 clasificación de macizo rocoso de acuerdo al espaciamiento de discontinuidades (Salcedo SGC ,2019).

#### ➤ **Persistencia**

Muestra la extensión areal o el tamaño de la discontinuidad, puede ser cuantificada en forma muy aproximada observando las longitudes de las trazas expuestas en la superficie. Es considerado uno de los parámetros de mayor importancia, pero uno de los más difíciles de cuantificar; la terminología normalmente utilizada se muestra en la tabla adjunta

**Tabla 2. Terminología utilizada para medir la persistencia y sus respectivos valores**

Persistencia	
Muy baja persistencia	<1m
Baja persistencia	1-3m
Persistencia media	3-10m
Alta persistencia	10-20m
Muy alta persistencia	>20m

*Tomado de Salcedo SGC ,2019*

La persistencia cumple un rol importante en el mecanismo de falla de los macizos rocosos, según la superficie la falla puede ser planar o escalonada como se muestra en la siguiente figura.



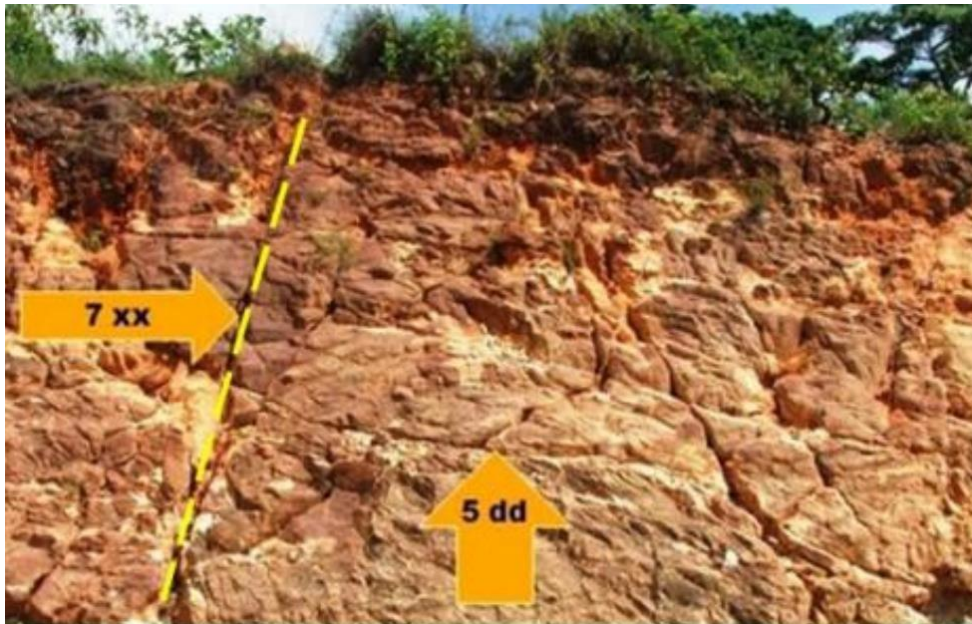
**Figura 8. Ejemplo de diaclasas escalonada**  
*Tomado de Salcedo SGC ,2019*

Durante la caracterización de masas rocosas es importante obtener la información de campo referente a los extremos de las discontinuidades de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Fuerza de afloración (X)
- En ricas, dentro de afloramiento (r)
- Contra discontinuidad (d)

En la figura 9 se muestra el ejemplo de dos discontinuidades, la primera correspondiente a una longitud de 7 metros de con ambos extremos fuera del

afloramiento y la segunda con 5 metros de longitud y ambos extremos terminados contra otra discontinuidad.



*Figura 9. Discontinuidad de 7 metros con ambos extremos fuera del afloramiento Tomado de Salcedo SGC ,2019*

#### ➤ **Ondulación**

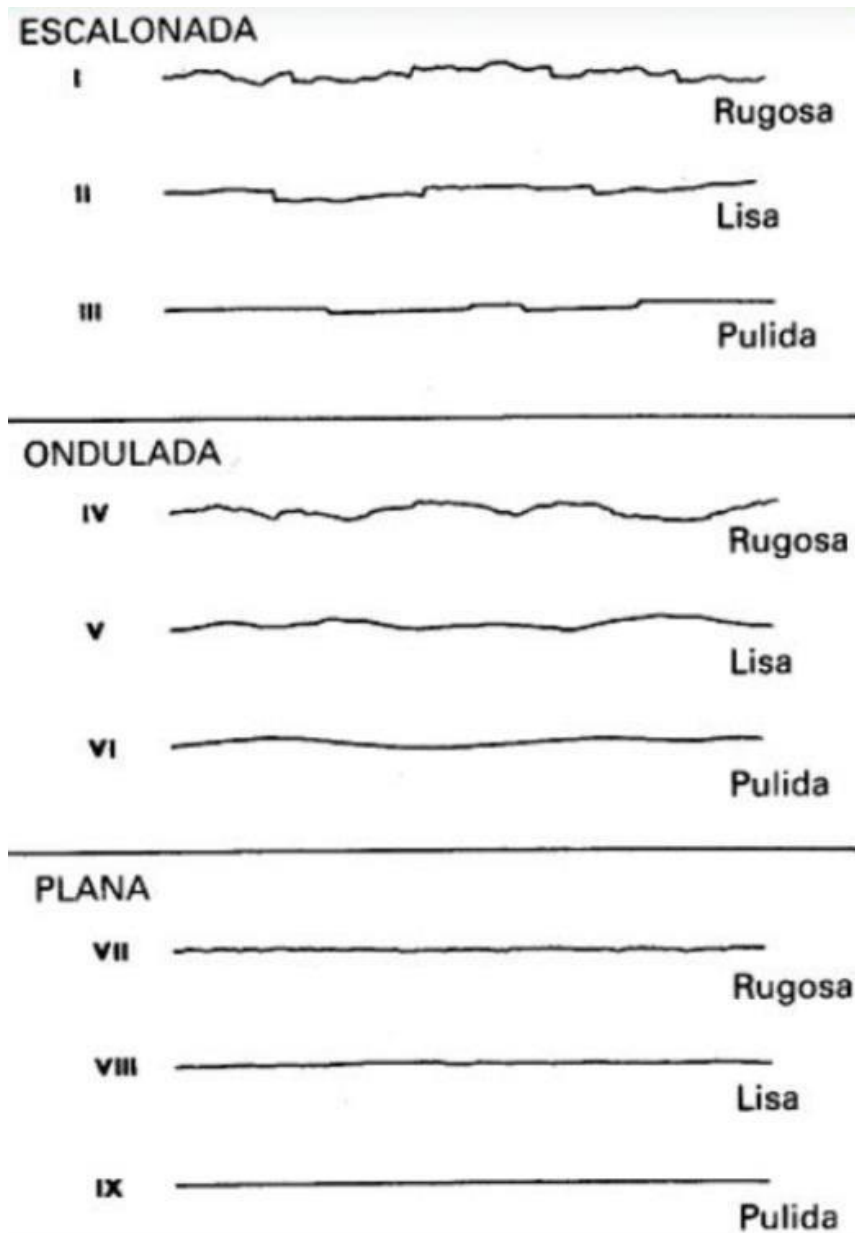
La rugosidad de la pared de una discontinuidad afecta las características de movimiento o la resistencia al corte, las rugosidades mayores o de primera orden se denominan ondulaciones que se consideran que tienen una dimensión tal que es poco probable que sean cizalladas, son ondulaciones en un plano, se considera que la ondulación tiene influencia en la dirección del desplazamiento de corte.

En términos generales la pared de la discontinuidad puede ser caracterizada por la ondulación que causa dilatación durante el desplazamiento.

#### ➤ **Rugosidad**

Son rugosidades de segundo orden, también denominados asperezas y son suficientemente pequeñas para ser cizalladas durante el movimiento a lo largo del plano de discontinuidad de la pared de la una discontinuidad. A mayor rugosidad mayores su resistencia puesta la rugosidad determina su resistencia al corte. (Gonzales de vallejo,2002). La rugosidad puede ser cuantificada

mediante varios métodos, entre ellos los perfiles de rugosidad que se muestran en la figura 10, discos con brújula, ensayos *in situ* o practicas sencillas, como el uso del altímetro que se presenta en la siguiente figura.



**Figura 10. Perfiles de rugosidades para discontinuidades  
Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002**



**Figura 11. Clasificaciones de la rugosidad de la pared del plano de discontinuidad mediante filometro**  
**Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002**

➤ **Abertura**

Corresponde a la distancia perpendicular que separa las paredes de una discontinuidad abierta. La sociedad internacional de mecánica de rocas limita el termino abertura a discontinuidades abiertas donde el espacio es aire o agua y cuando el espacio este rellano se utiliza el termino ancho.

**Tabla 3. Representación de una descripción de la abertura de las discontinuidades**

Abertura	Descripción
Menor de 0.1 mm	Muy cerrada
0.1-0.25mm	Cerrada
0.25-0.5mm	Parcialmente cerrada
0.5-2.5mm	Abierta
2.5-10mm	Moderadamente ancha
10mm	Ancha
1-10cm	Muy ancha
1-100 cm	Extremadamente ancha
Mayor de 1m	Cavernosa

**Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002**





*Figura 12. Abertura en diaclasas de 2 cm con relleno  
Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

➤ **Relleno**

Se refiere el material que se encuentra separado las paredes adyacentes de una discontinuidad que podría ser calcita, cuarzo, florita entre otros. Las distancias perpendiculares entre las paredes se denominan ancho, los datos en campo deben tener encuenta el tipo de material que rellena, tamaño de la particular y grado de meteorización.

En la figura 13 se muestra el material de relleno de una discontinuidad constituido por óxidos de hierro.



**Figura 13. Discontinuidades con material de relleno de óxido de hierro  
Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002**

#### **2.2.8. RQD – Deere**

Este índice RQD propuesto por Deere en 1964 cuyo significado es “rock Quality Designation”, establece un valor cuantitativo de la resistencia del macizo basado en la modificación del porcentaje de recuperación de núcleo de rocas (Salcedo,2019).

Se obtiene con ayuda de ensayos de laboratorio basados en la toma de muestras de material rocoso, cuyos núcleos deben tener un diámetro mínimo de 50 milímetros y porcentajes de trozos de testigos mayores a 1 centímetros recuperados en un sondeo.

Con el fin de obtener mejores resultados los ensayos se sugieren que el valor de RQD sea determinado para longitudes variables en lugares fija, en este sentido se puede determinar en capas individuales y zonas de debilidad. La estimación de índice RQD de la roca a partir de testigos en sondeo se halla bajo la siguiente ecuación:

$$RQD = \frac{\sum \text{LONGITUD DEL TESTIGO} \geq 10\text{CM}}{\text{LONGITUD DEL TALADRO UTILIZADO}} \times 100\%$$

Formula 2:

*Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

Cuando no se dispone de núcleos de perforación y se debe hallar el índice de clasificaciones de la roca a partir de datos de afloramientos, se puede estimar a partir de la relación de Palmstrom (2005); donde  $J_v$  obedecer a la suma de discontinuidades por unidad de longitud o frecuencia de las discontinuidades (Ramirez&Oyangure, 2007) y o para valores  $J_v \geq 4.5$  el valor de RQD se determina según la ecuación número 7.

$$RQD = 1,15 - 3.3 J_v \text{ Formula 3:}$$

*Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

De acuerdo al valor del porcentaje obtenido Deere clasifica a los macizos rocosos de acuerdo a como se muestra en la tabla adjunta.

**Tabla 4. Clasificación de las rocas según el índice RQD de Deere**

RQD%	Calidad
>25	Muy malo
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

*Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

### 2.2.9. Clasificación de Bieniawski (RMR)

Esta clasificación fue desarrollada por Bieniawski en 1973, a partir de datos obtenidos en 45 túneles (Gonzales de vallejo,2002) con actualización en 1979 y 1989 realizados por el mismo autor. Es un sistema de clasificación de macizos rocosos que relacionan los índices de calidad con parámetros de diseño y sostenimiento. La clasificación de RMR de Bieniawski tiene en cuenta los parámetros que se relacionan a continuación:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa
- Grado de fracturación en términos del RQD
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades, en las que se deben considerar los siguientes parámetros:
  - Aberturas de las caras de las discontinuidades
  - Continuidad o persistencia de la discontinuidad
  - Rugosidad
  - Alteración de la discontinuidad
  - Relleno de la discontinuidad
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros con el macizo rocoso es expresada por medio del índice de calidad RMR; Rock Mass Rating el cual varía de 0 a 100. Básicamente, el concepto del índice RMR es la estimación de valoraciones o puntuaciones a diferentes propiedades del macizo rocoso dividiéndolo en zonas o tramos más o menos uniforme y el sumatorio total es la que se define índice RMR al establecerse las zonas o tramos homogéneas del macizo rocoso empieza a evaluar los parámetros establecidos por Bieniawski, empezando por:

- La resistencia de la roca sana que se puede realizar mediante ensayos de carga puntual y ensayos de compresión simple para cuyos valores obtenidos se establecerá un puntaje según Bieniawski que variará entre 0-15.
- El índice RQD sobre la clasificación de Deere que se describió anteriormente en el apartado
- El espaciado de las juntas que corresponde a la distancia media entre los planos de discontinuidad de cada familia y que tiene gran influencia en cuanto a la resistencia a compresión simple del material rocoso, en la tabla 4 se muestra la clasificación del macizo rocoso de acuerdo al espaciado de juntas propuesto por Deere.

**Tabla 5. Clasificación de macizo rocosos de acuerdo al espaciado de juntas**

Descripción	Espaciados de juntas	Tipo de macizo rocoso
Muy ancho	3 metros	Solido
Ancho	1-3 metros	Masivo
Moderadamente cerrado	0,3 – 1 metros	en bloques
Cerrado	50-300 metros	Fracturado
Muy cerrado	50 milímetros	Machacado

*Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

- Condiciones de las discontinuidades: evaluar las características mencionadas al inicio del presente apartado.
- Condiciones hidrogeológicas: el agua tiene gran influencia en los macizos, sobre todo en aquellos macizos desclasadas se recomienda estimarse el flujo de agua, en túneles cada 10 metros.
- La orientación de las discontinuidades constituye un parámetro de gran importancia con el fin de establecer el correcto sosteniente en estructuras subterráneas. Bieniawski establece una clasificación aplicada a túneles referente a orientación entre las discontinuidades y el eje de la cavidad que presenta en la tabla adjunta

**Tabla 6. Orientaciones relativas entre las juntas y el eje de cavidad**

Buzamiento perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20° (independiente al rumbo)
Dirección según el buzamiento		Dirección contra el buzamiento				
Buz.	Buz.	Buz.	Buz.	Buz.	Buz.	Desfavorable
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	
Muy desfavorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	

*Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

Finalmente, luego de definir los valores correspondientes a los 5 primeros parámetros de clasificación de Bieniawski se determina la categoría del macizo rocoso, a partir de un valor primario, establecido en la tabla 7, para el diseño de sostenimiento de un túnel se modifica el valor inicial correspondiente a la figura 7 en función del último parámetro descrito y cuya valoración se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 7. Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski**

Parámetros de clasificación					
Resistencia de la roca intacta (Mpa)					
Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Rangos para ensayos.
Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5 5-1 <1
Puntuación	15	12	7	4	2 1 0
RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25
Puntuación	20	17	13	6	3
Separación de diaclasas	>2 m.	0.6-2m.	0.2-0.6m.	0.06-0.2m.	<0.06m.
Puntuación	20	15	10	8	5
Estado de discontinuidades:					
Longitud	< 1m.	1 - 3m.	3 - 10m.	10 - 20m.	> 20m.
Puntuación	6	4	2	1	0
Abertura	Nada	< 0.1mm.	0.1 - 1.0mm.	1 - 5mm.	> 5mm.
Puntuación	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa o plana	Pulida
Puntuación	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	< 5mm.(duro)	> 5mm.(duro)	< 5mm.(blando)	> 5mm.(blando)
Puntuación	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligera Alterada	Moderada Alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0
Agua subterránea					
Flujo por C/10 m. de labor	Nulo	<10 l/min.	10-25 l/min.	25-125 l/min.	>125 l/min.
Presión de agua/tensión	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
Estado general	Seco	Húmedo	Mojado	Goteando	Fluyendo
Puntuación	15	10	7	4	0

**Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002**

**Tabla 8. Corrección por orientación de discontinuidades**

Corrección por orientación de las discontinuidades						
dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

*Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

Con la corrección por orientación de discontinuidades del valor inicial correspondiente a los 5 primeros parámetros se realiza la corrección correspondiente y se determina la clase de macizo rocoso según el RMR de Bieniawski, de acuerdo a la puntuación que se presenta a la siguiente tabla.

**Tabla 9. Clase de macizo rocoso, clasificación de Bieniawski**

Determinación de la clase de macizo					
Clase	I	II	III	IV	
Calidad	Muy bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy malo
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

*Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002*

### 2.3 Definición de términos básicos

#### ➤ **Apertura**

Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.

#### ➤ **Agua subterránea**

Es el agua que se encuentra en el subsuelo, ocupando los espacios porosos o fracturas de las rocas. Las aguas subterráneas debidamente explotadas constituyen el abastecimiento principal para el desarrollo de las ciudades, industrias, agronomía, etc. El agua subterránea puede ser confinada cuando se encuentra a cierta profundidad de la superficie y el acuífero se halla limitado entre dos capas o rocas impermeables. (5)

➤ **Buzamiento**

Es el ángulo de inclinación o ángulo diedro comprendido entre el plano de la roca o estructura y el plano horizontal. Buzamiento es la línea de máxima pendiente de un estrato. La dirección del buzamiento siempre es perpendicular al rumbo o dirección (5)

➤ **Contacto litológico**

Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

➤ **Chimeneas o cuellos volcánicos**

Son intrusiones que han dado origen a los conos volcánicos. (6)

➤ **Diaclasa**

También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que más comúnmente se presentan en la masa rocosa. (6)

➤ **Dique**

Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales. (6)

➤ **Espaciado**

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes. (6)

➤ **Falla**

Son fracturas que han tenido desplazamiento. Éstas son estructuras menores que se presentan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina. (6)

➤ **Masa rocosa**

Es el medio in situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales. (6)



➤ **Meteorización**

Puede ser definida como la alteración físico-química de las rocas en superficie, debido a las reacciones con soluciones atmosféricas líquidas o gaseosas. La importancia de la meteorización radica en su efecto sobre las propiedades mecánicas de los materiales a los que afecta, así como en la influencia sobre las características friccionales de las superficies sobre las que actúa. Además, una roca sometida a un elevado grado de meteorización se convertirá finalmente en un material desagregado o poco cementado que se conoce por suelo, de forma que a medida que un macizo rocoso se va meteorizando tenderá a parecerse a este tipo de materiales. En la transición se suele hablar de “roquisuelos” o rocas blandas-suelos duros. (5)

➤ **Meteorización física**

Como consecuencia de ésta, la apertura de las discontinuidades aumenta o pueden formarse nuevas fracturas por el relajamiento de la roca. (6)

➤ **Meteorización química**

Origina la decoloración de la roca hasta la descomposición de la misma. (6)

➤ **Meteorización biológica**

Está regida por la presencia y actividad de los seres vivos. (6)

➤ **Orientación**

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y el buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades. (6)

➤ **Persistencia**

Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable. (6)

➤ **Planos de foliación o esquistosidad**

Se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas. (6)

➤ **Planos de estratificación**

Dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias. (6)

➤ **Pliegues**

Son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados. (6)

➤ **Relleno,**

Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente. (6)

➤ **Roca intacta**

Es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio. (6)

➤ **Rugosidad**

Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente. (6)

➤ **Rumbo**

Dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur. (5)

➤ **Venillas**

Son rellenos de las fracturas con otros materiales. (6)

➤ **Zona de corte**

Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca. (6)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA**

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

##### **3.1.1 Método general**

El método general de la investigación es el científico, debido que los investigadores realizaran procedimientos ordenados con la finalidad de demostrar las hipótesis planteadas mediante la observación experimental, para buscar la solución al problema planteado.

##### **3.1.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, ya que en una primera instancia se aplicará los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema de la sobre excavación en las labores mineras.

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

El nivel de investigación es correlacional, el propósito consiste en buscar la causa efecto que se generan en el problema en la estabilidad de las labores mineras.

#### **3.2 Diseño de investigación**

La investigación es no experimental, debido que para la obtención de la estabilidad en las labores se manipulara en forma parcial la variable independiente.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población está conformada por las labores mineras de avance de la zona de profundización sector IV unidad minera Cobriza

#### **3.3.2 Muestra**

La muestra está conformada por la galería principal de la zona de profundización sector IV unidad minera Cobriza.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas de recolección de datos**

- Encuesta
- Entrevista
- Análisis documental
- Observación experimental

#### **3.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

- Encuesta personal
- Entrevista estructurada
- Ficha de registro de datos
- Guía de observación o de campo

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información**

##### **4.1.1 Descripción litológica de la muestra**

El granito es una roca ígnea plutónica formada por el enfriamiento lento de un magma (fundido alumínico) a grandes profundidades de la corteza terrestre. Este prolongado enfriamiento permite que se formen grandes cristales, dando lugar a la textura cristalina característica de los granitos. Su composición mineral comprende generalmente cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas y mica. También puede haber cantidades menores de moscovita y otros minerales accesorios.



***Figura 14. Roca ígnea intrusiva granito***

### a) Descripción macroscópica

- Tipo de roca: roca ígnea (intrusivas)
- Tamaño de grano: fanerítica
- Textura: granular
- Composición: plagioclasas, feldespato alcalino, biotita, cuarzo
- Color: gris intermedio
- Densidad promedio: 2,63 y los 2,75 g/cm<sup>3</sup>

### 4.1.2 Cálculo de la resistencia a la carga puntual

#### a) Para testigos irregulares

Tabla 10. *Determinación de la resistencia a la carga puntual de testigos de formas irregulares*

Litología	Espesor	Longitud	Ancho	Carga	De	Is <sub>(50)</sub>	σ <sub>c</sub> (Mpa)
	D (mm)	L (mm)	W (mm)	P (mm)	(mm)	(Mpa)	
G <sup>G</sup>	38	78	55	20.00	42.878	10.151	243.624
G <sup>G</sup>	36	86	48	19.80	40.622	10.928	262.272
G <sup>G</sup>	37	95	56	22.10	41.750	11.690	280.560
G <sup>G</sup>	36	100	40	19.85	40.622	10.956	262.944
G <sup>G</sup>	37	102	55	18.15	41.750	9.601	230.424
G <sup>G</sup>	40	98	47	16.87	45.135	7.908	189.792

k = 24 para resistencia a la compresión uniaxial k = 1.5 para resistencia a tracción

#### b) Desviación estándar de la resistencia a la compresión uniaxial

Tabla 11. *Determinación de la desviación estándar de la resistencia a la compresión uniaxial*

σ <sub>c</sub> (Mpa)	Promedio σ <sub>c</sub> (Mpa)	Diferencia σ <sub>c</sub> (Mpa) -Promedio σ <sub>c</sub> (Mpa)	Cuadrado de la diferencia (Mpa)	Desviación Estándar
243.624	244.936	-1.3120	1.721	32.084
262.272	244.936	17.3360	300.537	
280.560	244.936	35.6240	1269.069	
262.944	244.936	18.0080	324.288	
230.424	244.936	-14.5120	210.598	
189.792	244.936	-55.1440	3040.861	
Sumatoria	1469.616		Sumatoria 5147.075	
Media Aritmética	244.936			

### 4.1.3 Calculo RQD

#### a) Muestro Lineal

Datos

- N° de discontinuidades = 61
- Longitud de muestreo = 17.56 m
- $RQD = 100 \cdot e^{-0.1 \cdot \lambda} \cdot [(0.1 \cdot \lambda) + 1]$
- $\lambda = 61 / 17.56 = 3.47$
- $RQD = 100 \cdot 2.72^{-3.47} \cdot [(0.1 \cdot 3.47) + 1]$
- RQD = 95.18%

#### 4.1.4 Datos del muestreo geomecánico

**Tabla 12. Datos del muestreo geomecánico**

Zona de profundización												
Toma de datos base Bieniawski 1986												
Unidad minera Cobriza Sector IV						Unidad minera Cobriza Sector IV						
Ubicación:			Pique - galería principal			Departamento de geomecánica						
Dimensión del muestreo estructural:			17.56 m			RQD:			93.97%			
Tipo de roca:			Granito			Fecha:			Dic-21			
Nº Discontinuidad	Distancia a la discontinuidad (m)	Tipo de discontinuidad	Orientación		Espaciado (m)	Persistencia (m)	Alteración	Abertura (mm)	Rugosidad	Tipo de relleno	Agua	
		Falla (F) Diaclasa (D) C. Litológico (CL) Venillas (V) Estratos (E)	Dirección de buzamiento	Buzamiento	1. > 2.0 2. 0.6 - 2.0 3. 0.2 - 0.6 4. 0.06 - 0.2 5. < 0.06	1. < 1 2. 1 - 3 3. 3 - 10 4. 10 - 20 5. > 20	1. Sana 2. Lig. Alterada 3. Mod. Alterada 4. Muy Alterada 5. Descompuesta	1. Cerrada 2. M. ang<0.1 3. Ang. 0.1-1.0 4. Ab. 1-5 5. M.ab. >5	1. Muy rug. 2. Rugosa 3. Lig. Rug. 4. Lisa 5. Esp. Falla	1. Limpio 2. Duro < 5 mm 3. Duro > 5 mm 4. Suave < 5 mm 5. Suave > 5 mm	1. Seco 2. Húmedo 3. Mojado 4. Goteo 5. Flujo	
1	0	D	158°	46°	NE	-	2	1	5	3	5	1
2	0.2	D	142°	80°	NE	4	2	3	2	2	1	1
3	0.5	D	168°	87°	NW	3	2	2	2	3	1	2
4	0.95	D	195°	50°	NE	3	2	2	4	2	4	1
5	1.45	D	137°	55°	NE	3	1	3	2	3	1	2

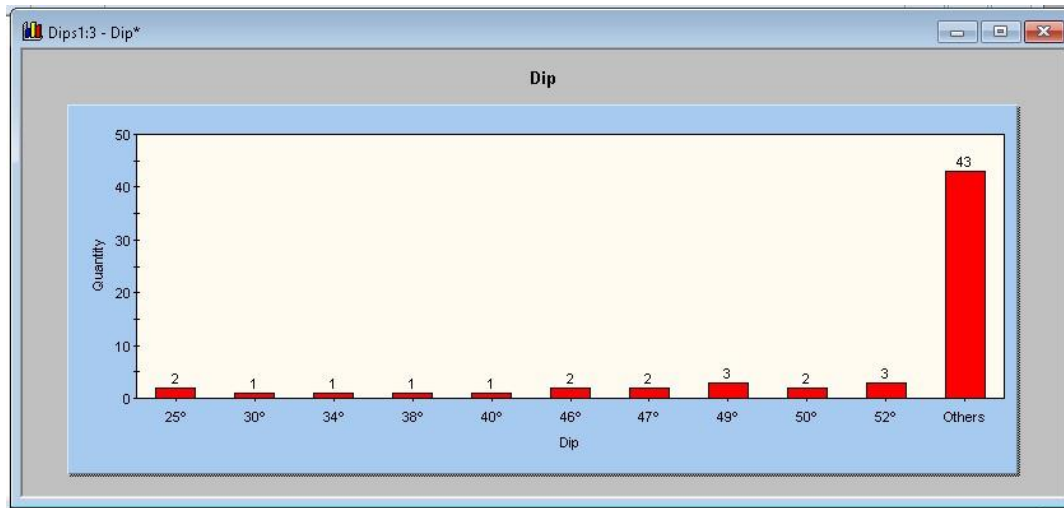


6	1.75	D	234°	76°	SE	2	1	2	2	2	1	1
7	2.27	D	369°	77°	SE	1	2	3	2	3	1	2
8	2.42	D	128°	87°	SW	2	1	2	2	1	1	1
9	2.92	D	45°	75°	NE	3	2	2	2	3	1	1
10	3.32	D	124°	80°	NW	1	2	1	5	3	3	2
11	3.42	D	69°	55°	NE	2	1	2	2	2	1	1
12	3.67	D	285°	50°	NW	1	2	2	2	3	1	2
13	3.77	D	121°	60°	NW	4	1	2	5	3	3	1
14	4.07	D	165°	90°	NE	3	1	1		3	4	1
15	4.17	D	121°	82°	NE	3	1	2	2	1	1	2
16	4.25	D	68°	88°	NE	4	2	2	5	3	3	2
17	4.4	D	320°	54°	NE	2	2	1	2	3	1	2
18	4.45	D	256°	90°	SW	4	2	2	4	2	4	1
19	4.7	D	425°	56°	SE	1	1	1	2	3	1	1
20	5	D	153°	80°	NW	3	1	1	2	3	1	1
21	6.1	D	138°	75°	NE	1	2	1	2	1	1	1
22	6.6	D	169°	78°	SW	3	2	1	2	3	1	2
23	7.05	D	148°	80°	NE	1	1	2	5	3	3	1
24	7.1	D	152°	89°	NW	3	2	2	2	2	1	1
25	7.2	D	214°	47°	NE	2	1	2	2	1	1	1
26	7.5	D	182°	52°	NE	3	1	1	5	3	3	2
27	7.75	D	180°	52°	NE	3	2	2	2	3	1	1
28	7.9	D	325°	52°	NE	1	1	2	2	1	1	1

29	8.05	D	314°	54°	NW	3	2	2	5	3	3	2
30	8.2	D	326°	85°	NE	1	2	1	2	3	1	1
31	8.4	D	145°	79°	NE	2	2	2	4	2	4	1
32	8.5	D	135°	82°	NW	1	1	1	2	2	1	1
33	8.55	D	178°	64°	NE	1	1	1	2	3	1	2
34	8.65	D	165°	49°	SW	3	2	2	2	1	1	2
35	8.95	D	254°	83°	SE	3	1	2	5	3	3	2
36	9.05	D	222°	49°	NW	1	1	2	2	3	1	1
37	9.15	D	232°	40°	NE	1	2	2	2	2	1	1
38	9.43	D	216°	72°	SW	2	2	2	5	2	3	1
39	9.63	D	243°	70°	NE	3	1	1	2	2	1	2
40	9.93	D	235°	49°	NW	1	1	2	2	3	1	1
41	10.13	D	198°	64°	NW	1	2	1	4	3	4	2
42	10.43	D	219°	80°	SW	1	2	1	2	1	1	1
43	10.58	D	210°	65°	NW	2	2	2	5	3	3	2
44	10.88	D	204°	55°	NE	3	1	2	2	3	1	1
45	11.08	D	205°	30°	SW	3	1	2	3	1	3	1
46	11.38	D	145°	68°	NW	3	1	2	5	3	3	2
47	11.63	D	124°	78°	SE	3	2	1	2	1	1	1
48	12.13	D	135°	70°	NE	2	2	1	2	3	1	1
49	12.75	D	125°	25°	NE	3	2	2	2	1	1	2
50	12.99	D	304°	47°	SW	3	1	2	3	2	1	2
51	13.25	D	306°	85°	SW	3	1	2	3	2	1	2
52	13.89	D	307°	63°	SW	2	1	2	4	1	4	1

53	14.15	D	234°	56°	NE	3	1	2	4	3	4	1
54	14.85	D	265°	81°	NE	2	2	1	2	3	1	1
55	15.24	D	268°	76°	NE	3	1	1	5	3	3	1
56	15.84	D	145°	72°	SW	3	1	1	4	2	4	1
57	16.02	D	46°	34°	NE	3	2	2	3	1	1	2
58	16.35	D	57°	60°	NE	3	1	2	1	3	1	1
59	16.85	D	58°	46°	NE	3	2	1	5	3	3	1
60	17.16	D	135°	38°	NE	3	1	2	4	2	4	1
61	17.56	D	127°	25°	NE	3	2	2	2	1	1	1

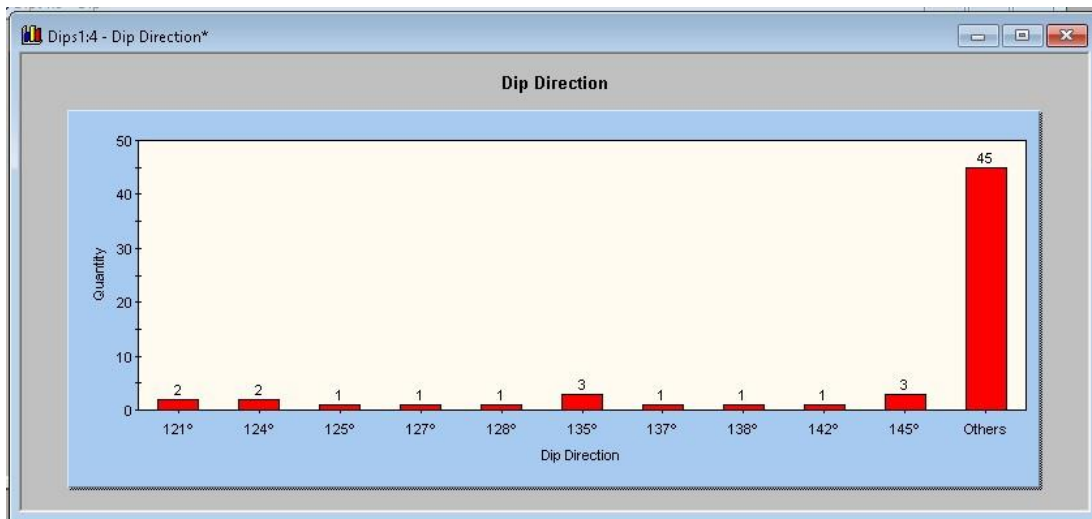
**a) Evaluación de la moda del Dip (Buzamiento predominante)**



**Figura 15. Se muestra la moda del Dip**

En la figura se puede observar el buzamiento predominante de con un valor de 49°

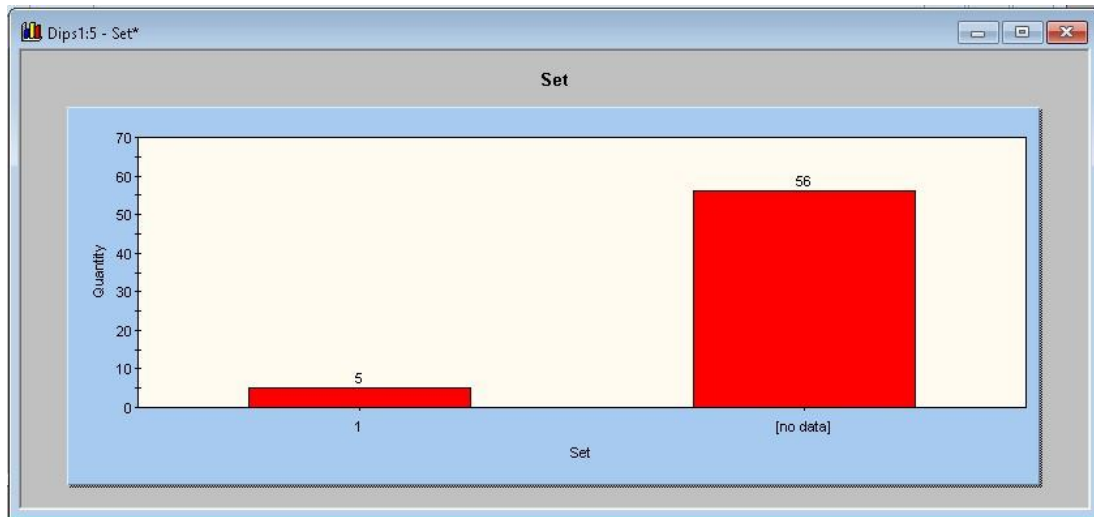
**b) Evaluación de la moda del Dip direction (Dirección del buzamiento predominante)**



**Figura 16. Se muestra la moda del Dip direction**

En la figura se puede observar Dip direction predominante de con un valor de 135° – 145°

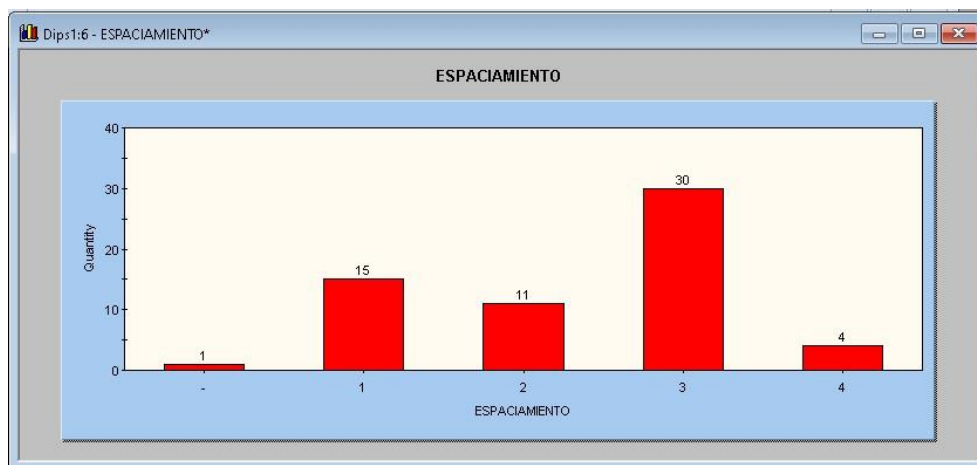
### c) Evaluación de Set (Familia de discontinuidades predominantes)



**Figura 17. Se muestra la moda del Dip direction**

En la figura se puede observar el Set predominante con 5 discontinuidades que conforman la familia N°1

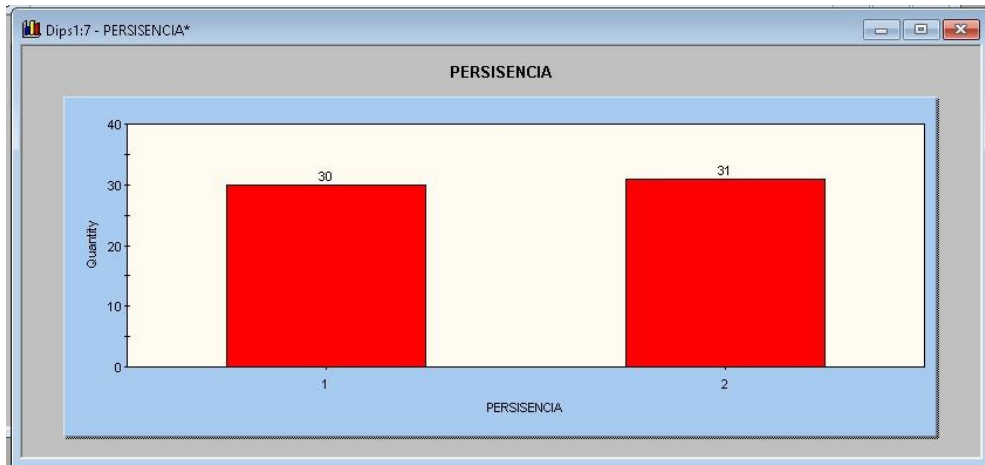
### d) Evaluación del espaciamiento



**Figura 18. Se muestra la moda del espaciamiento**

En la figura se puede observar la moda del espaciamiento predominante con 30 discontinuidades de tipo N°3 cuyo intervalo es igual a 0.2 a 0.6 m

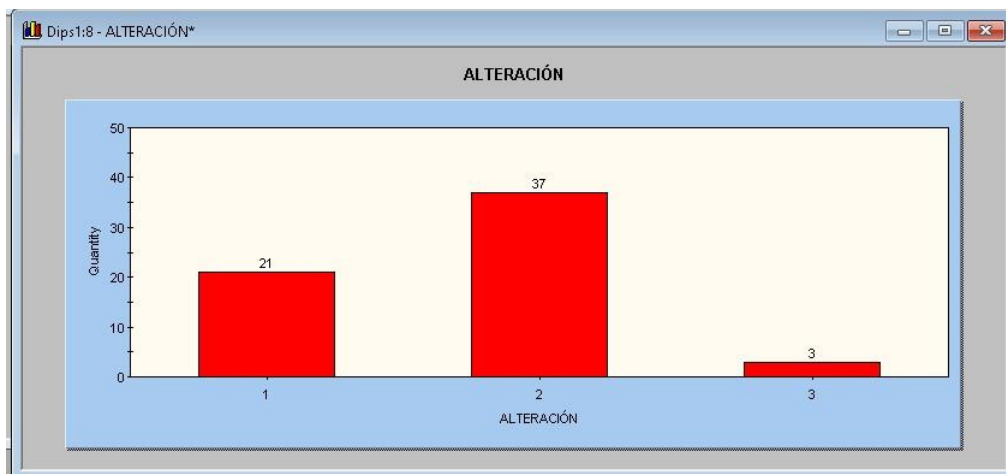
### e) Evaluación de la persistencia



**Figura 19. Se muestra la moda de la persistencia**

En la figura se puede observar la moda de la persistencia predominante con 31 discontinuidades de tipo N°2 cuyo intervalo oscila entre: 1 a 3 m

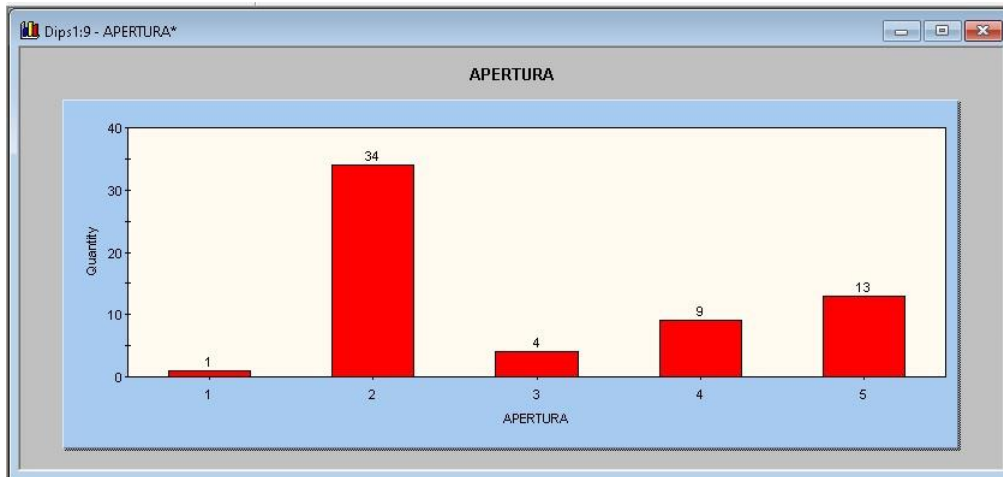
### f) Evaluación de la alteración



**Figura 20. Se muestra la moda de la alteración**

En la figura se puede observar la moda de respecto a la alteración predominante con 37 discontinuidades de tipo N°2, con valoración de ligera alteración.

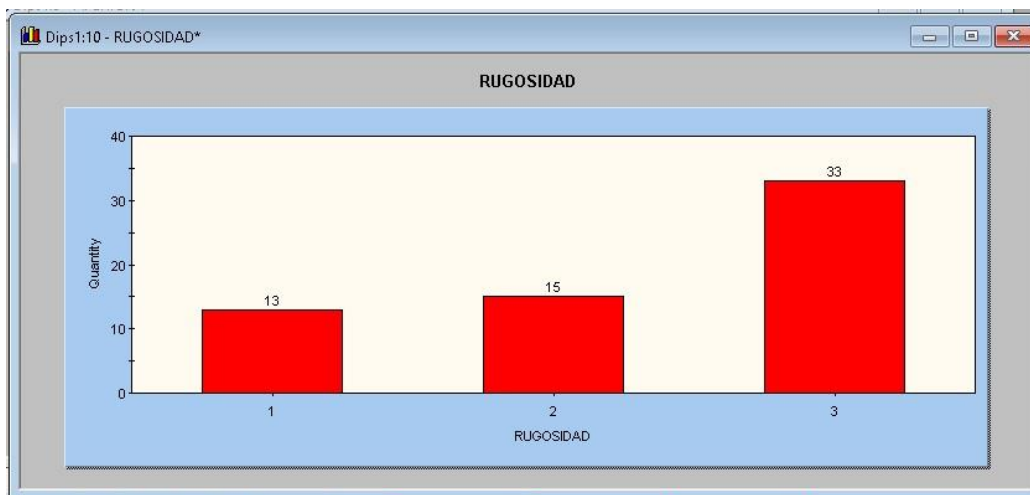
### g) Evaluación de la apertura



**Figura 21. Se muestra la moda de la apertura**

En la figura se puede observar la moda de respecto a la apertura predominante con 34 discontinuidades de tipo N°2, con valoración de muy angosta < 0.1 mm

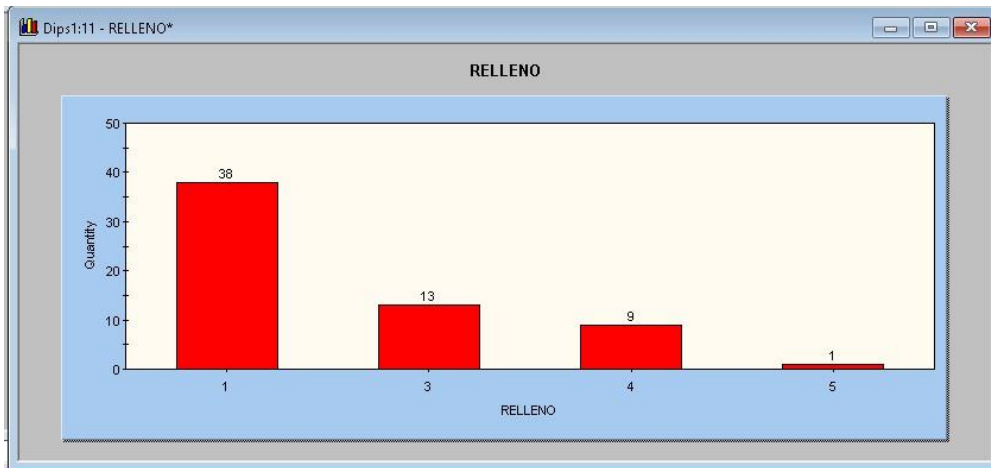
### h) Evaluación de la rugosidad



**Figura 22. Se muestra la moda de la rugosidad**

En la figura se puede observar la moda de respecto a la rugosidad predominante con 33 discontinuidades de tipo N°3, con valoración de ligeramente rugosa

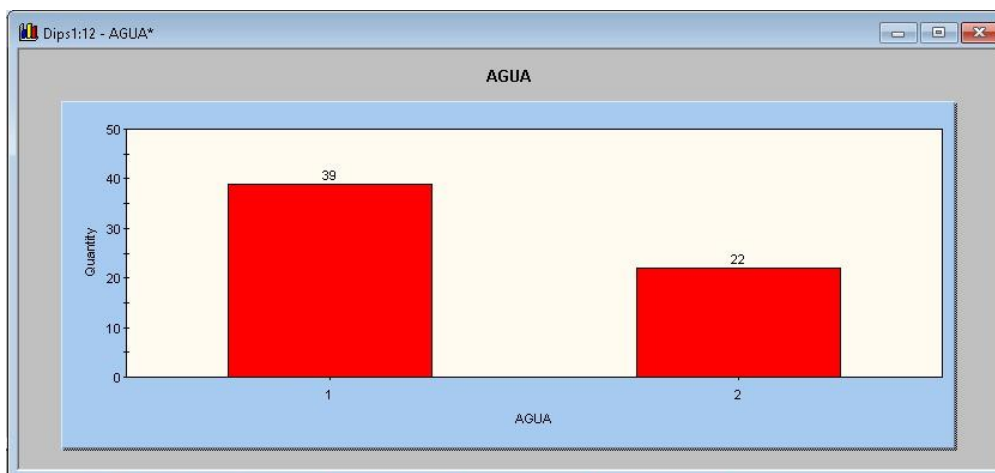
### i) Evaluación del relleno presente en las discontinuidades



**Figura 23. Se muestra la moda del relleno**

En la figura se puede observar la moda de respecto al relleno predominante con 38 discontinuidades de tipo N°1, con valoración de limpio

### j) Evaluación de la presencia de agua en las discontinuidades

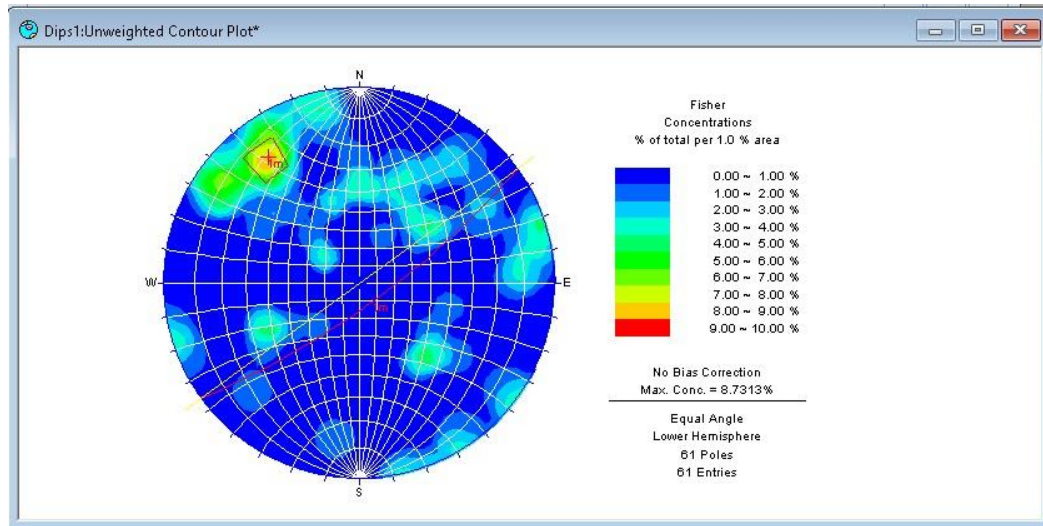


**Figura 24. Se muestra la moda de la presencia de agua**

En la figura se puede observar la moda de la presencia de agua en las discontinuidades predominante con 39 discontinuidades de tipo N°1, seco



## k) Evaluación de la concentración de polos de las discontinuidades



**Figura 25. Se muestra la moda de la concentración de polos de las discontinuidades**

En la figura se puede observar el dip y dip direction predominante de con un valor de  $49^\circ$  del dip y la dip direction predominante de con un valor de  $135^\circ - 145^\circ$

### 4.1.5 Procesamiento de datos cartilla geomecánica de Bieniawski

- Rumbo = S  $40^\circ$  E
- Buzamiento =  $49^\circ$  E
- Dirección de avance de la labor = Perpendicular con el buzamiento
- Resistencia comp. Uniaxial = 245 MPa
- RQD = 95.18 %
- Espaciamiento = 0.2 – 0.6 m
- Persistencia = 1 - 3 m
- Apertura = Menor a 0.1mm
- Rugosidad = Moderadamente rugoso
- Relleno = Ninguno
- Alteración = Ligeramente alterado
- Agua = Seco



Figura 26. Portada de software Geotable



Figura 27. Portada de software Geotable

Correlaciones y Conceptos Generales
MRMR

RMR
Q de Barton
GSI
SMR

**Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)**

**Resistencia de la Roca Inalterada**

**Indice de Carga Puntual (MPa)**  > 10MPa  4-10MPa  2-4MPa  1-2MPa

**Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)**  > 250MPa  100-250MPa  50-100MPa  25-50MPa  5-25MPa  1-5MPa  < 1MPa

**Rating** 12

**RQD (Indice de calidad de la roca)**

90-100 %

**Rating** 20 Calcular

**Espaciamiento de discontinuidades**

60-200mm Ver Gráfico

**Rating** 8

**Condición de discontinuidades**

Persistencia: 1-3m    Apertura: <0.1mm    Rugosidad: Moderadamente ru

Relleno: Ninguno    Meteorización: ligeramente alterado

Ver general **Rating** 23

**Corrección por orientación de las discontinuidades**

**Rumbo perpendicular al eje**

A favor del Buzamiento: 45-90

En contra del Buzamiento:

**Rumbo paralelo al eje del túnel**

Tunel o minas  
 Cimentaciones  
 Taludes

**Rating** 0 Ver gráfica

**Presencia de agua**

Caudal en 10m túnel (l/min): Ninguno    Gw/G3 (Presión del agua/esfuerzo principal): 0

Estado: Seco

**Rating** 15

Calcular

**RMR** 78 Ver reporte

Figura 28. Procesamiento de datos en el RMR - software Geotable

- Avance de la galería en la zona profundización
- Avance proyectado = Perpendicular
- Avance = A favor del buzamiento
- Buzamiento del set principal de discontinuidades = 49°
- RMR = 78
- Clase de masa rocosa = Roca buena RMR (61 – 80)
- GSI = RMR 89 – 5
- GSI = 78 - 5 = 73

### Reporte RMR

RMR

**78**

Ver ejemplo

Clase de masa rocosa determinadas por las valoraciones totales

Valoración	80 - 61
Número de clase	<b>II</b>
Descripción	Roca buena

Significado de las clases de rocas

Número de clase	<b>II</b>
Tiempo de auto sostenimiento	1 año span 10 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	300 - 400
Ángulo de fricción de masa rocosa	35° - 45°

Pautas para la excavación y sostenimiento de un túnel rocoso de 10 m de ancho de acuerdo con el sistema RMR

CLASE DE MASA ROCOSA	EXCAVACION	PERNOS DE ROCA (20 MM DE DIAMETRO, COMPLETAMENTE INYECTADOS)	SHOTCRETE	CIMBRAS
II - Roca buena RMR: 61 - 80	Frente completo 1 - 1.5 m de avance. Sostenimiento completo a 20 m del frente	Localmente, pernos de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla de alambre ocasionalmente	50 mm en la corona donde sea requerido	Ninguno

**Figura 29. Resumen de resultados RMR - software Geotable**

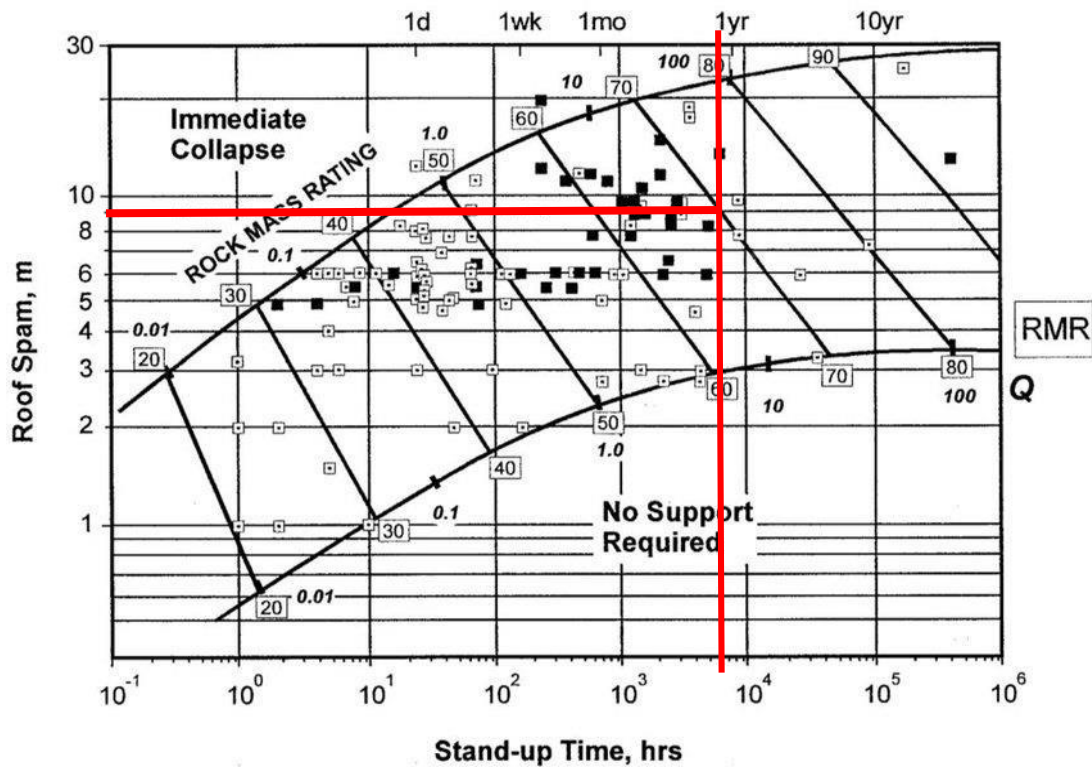


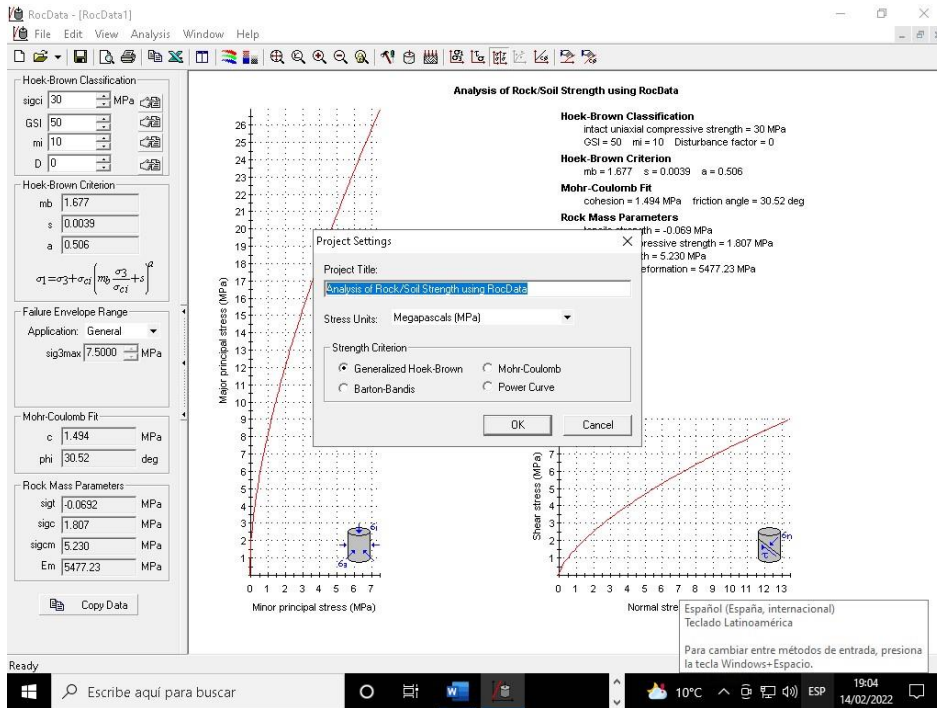
Figura 30. Autosostenimiento RMR - software Geotable

➤ **Autosostenimiento**

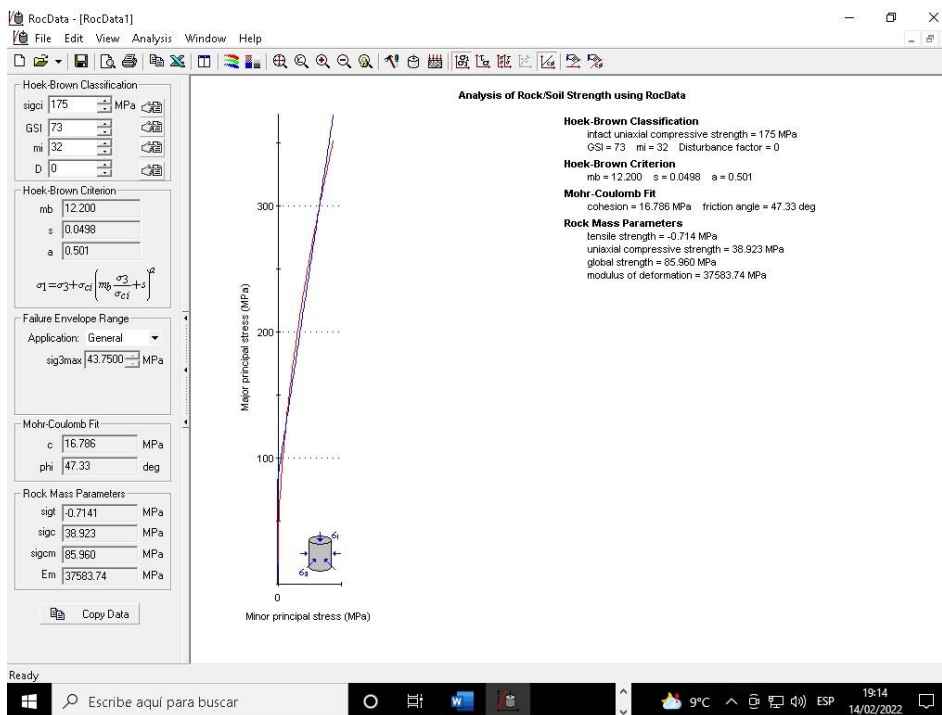
- Stand-up Time month = 11 month
- Roof Span = 9 m

**4.1.6 Análisis de los parámetros de resistencia del macizo rocoso mediante el software Roc data**

**a) Analysis of Rock/Soil Strength using RocData**



**Figura 31. Muestra la programación de unidades y criterio de análisis**



**Figura 32. Muestra el ingreso de los parámetros para el análisis**

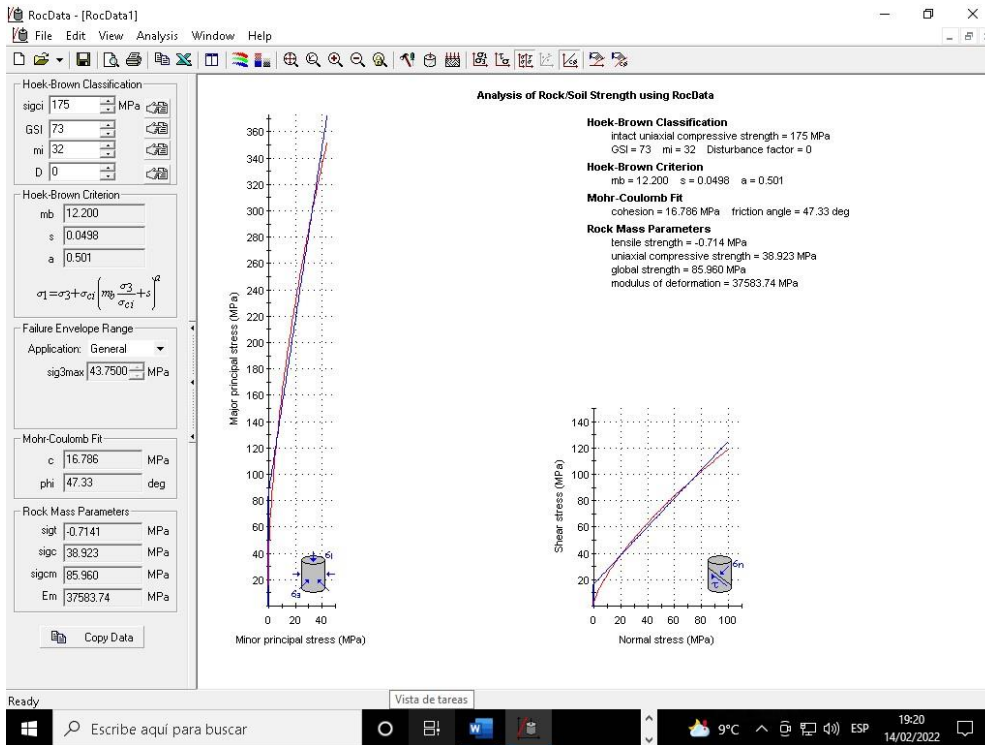


Figura 33. Muestra resultados de las tensiones principales

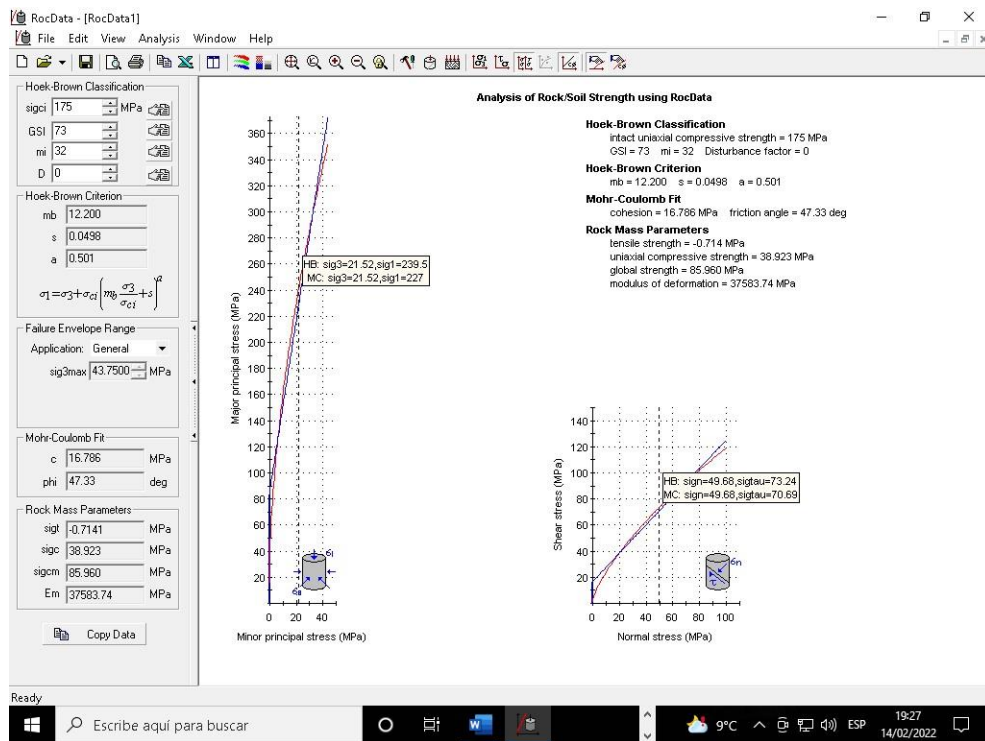
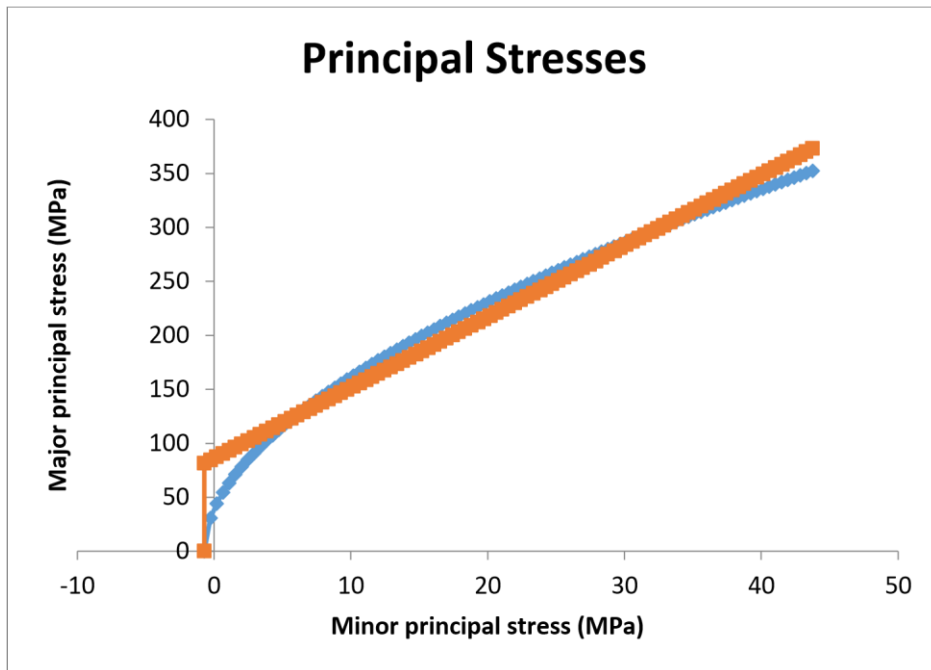


Figura 34. Muestra resultados de los ángulos de fricción y cohesión

**Tabla 13. Resultados datos procesados Hoek-Brown Classification**

Hoek-Brown Classification		
sigci	175	MPa
GSI	73	
mi	32	
D	0	
Hoek-Brown Criterion		
mb	12.2002	
s	0.0497871	
a	0.501071	
Failure Envelope		
Range		
Application	General	
sig3max	43.75	MPa
Mohr-Coulomb Fit		
c	16.7863	MPa
phi	47.3328	degrees
Rock Mass Parameters		
sigt	-0.714149	MPa
sigc	38.9225	MPa
sigcm	85.9603	MPa
Em	37583.7	MPa





**Figura 35. Resultados Principal Stresses procesados Hoek-Brown Classification**

## 4.2 Discusión de resultados

**HE1** Estimación de los parámetros de la matriz rocosa a través del cálculo de la porosidad, permeabilidad, densidad y el grado de saturación influyen para el control de estabilidad zona profundización.

Nuestra investigación concluyo que: la estimación de los parámetros de la matriz rocosa define al macizo rocoso formado por roca ígnea (intrusivas), de textura granular tipo fanerítica, compuesta por: plagioclasas, feldespato alcalino, biotita, cuarzo de color gris intermedio, densidad promedio: 2,63 y los 2,75 g/cm<sup>3</sup> y con una resistencia a la compresión uniaxial de 244.9 Mpa.

Según Nina (2) en su investigación sobre “Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto SAN Gabriel CIA de minas Buenaventura”, concluye que: se realizó la evaluación de las características geomecánicas del sitio, a través de la realización de ensayos de laboratorio y mapeo de campo de 40 estaciones geomecánicas por el método de celdas o ventanas, obteniéndose las características típicas del macizo rocoso presente en el Proyecto San Gabriel. Teniendo las siguientes características: Se presentan 5 familias de discontinuidades relevantes, con un RQD de valor medio a bueno, espaciados

muy junto a extremadamente junto, persistencia media a alta, con superficies rugosa, apertura angosta, relleno típico de óxido y condición de humedad. La clasificación geomecánica nos muestra que el Proyecto San Gabriel presenta un tipo de roca regular a buena calidad. De ambas conclusiones se puede establecer que la evaluación de las propiedades físicas de la matriz rocosa influye para realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso.

**HE2** La estimación de los parámetros del macizo rocoso a través del cálculo de: R.Q.D., tamaño y forma de los bloques de la matriz rocosa, la resistencia al corte entre bloques de la matriz rocosa y las condiciones hidrogeológicas para el control de estabilidad zona profundización.

De la presente investigación se concluye que: los parámetros del macizo rocoso presentan un RQD = 95.18 %, con un espaciamiento promedio de 0.2 – 0.6 m, la persistencia varía entre 1 - 3 m, cuya apertura de las discontinuidades es menor a 0.1mm, la rugosidad que presentan es de moderadamente rugoso con ningún relleno; por otro lado, el muestreo determino que las discontinuidades presentan una ligera alteración exentó de agua.

Según Salazar (1) en su investigación sobre “Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha – Sociedad Minera Corona S. A.” concluye que: el macizo rocoso está compuesto de roca ígnea plutónica tipo granodiorita de textura fina compuesto por cuarzo y feldespatos, las propiedades físicas y mecánicas que se analizaron dentro del laboratorio; volumen, densidad, humedad, grado de saturación, porosidad, absorción, entre otros y software de geomecánica y sus parámetros: RQD, resistencia a la compresión uniaxial, espaciamiento, condición de juntas, filtración de agua, influyen en la determinación de elegir un adecuado sostenimiento, un total de 4 pruebas demuestran que la roca es competente Tipo II: roca buena, y para una explotación de corte y relleno ascendente.

En tal sentido se comparte opinión ya que para poder realizar una excavación minera se tiene que realizar una evaluación geomecánica.

**HE3** La estimación de los parámetros geotécnicos constructivos a través del análisis del sistema de excavación, tiempo de instalación de los sostenimientos, presencia de las excavaciones adyacentes, geometría y dimensiones de las excavaciones influyen en el control de estabilidad zona profundización.

La presente investigación concluye en: los parámetros geotécnicos constructivos se establecieron que la dirección de avance de la labor sea perpendicular con un rumbo promedio de S50°W y con el buzamiento hacia el NE.

✓ Según Lucas (3) en su investigación sobre: “Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.” concluye que a partir de los datos obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y de los informes previos del departamento de geomecánica, que han servido de base para definir los parámetros de control geomecánico y determinar el plan de minado, en mina Huantajalla – UEA. Uchucchacua.

De ambas conclusiones se puede establecer que la evaluación geotécnica para el proceso constructivo influye en la estabilidad y sostenimiento de las labores mineras.

## CONCLUSIONES

1. La estimación geomecánica del macizo rocoso de acuerdo a la cartilla geomecánica de Bieniawski es de 78 puntos, número de clase II cuya descripción es de buena roca con un tiempo de auto sostenimiento de 12 meses y una longitud de 10 metros. La cohesión de la masa rocosa KPa 300 – 400 y un ángulo de fricción de masa rocosa de 35° - 45° para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV se recomienda que la excavación se realice a frente completo de 1 a 1.5 m de avance; sostenimiento completo a los 20 m del frente. El sostenimiento se realizará con pernos de 3 m en la corona espaciados a 2.4 m con malla de alambre ocasional, en el caso de shotcrete 50 mm en la corona donde sea necesario.
2. La estimación de los parámetros de la matriz rocosa define al macizo rocoso formado por roca ígnea (intrusivas), de textura granular tipo fanerítica, compuesta por: plagioclasas, feldespato alcalino, biotita, cuarzo de color gris intermedio, densidad promedio: 2,63 y los 2,75 g/cm<sup>3</sup> y con una resistencia a la compresión uniaxial de 244.9 Mpa.
3. Los parámetros del macizo rocoso presentan un RQD = 95.18 %, con un espaciamiento promedio de 0.2 – 0.6 m, la persistencia varía entre 1 - 3 m, cuya apertura de las discontinuidades es menor a 0.1mm, la rugosidad que presentan es de moderadamente rugoso con ningún relleno; por otro lado, el muestreo determinó que las discontinuidades presentan una ligera alteración exenta de agua.
4. Los parámetros geotécnicos constructivos se establecieron que la dirección de avance de la labor sea perpendicular con un rumbo promedio de S50°W y con el buzamiento hacia el NE.

## RECOMENDACIONES

1. Cuando se realice la estimación geomecánica del macizo rocoso utilizar cartillas geomecánica combinadas con la finalidad de poder comparar los resultados.
2. Realizar la estimación de los parámetros de la matriz rocosa con la finalidad de determinar las propiedades físicas para cada tipo de matriz rocosa.
3. Realizar la evaluación de las propiedades geomecánicas de las discontinuidades considerando las condiciones más desfavorables.
4. Considerar los parámetros geotécnicos constructivos para establecer la dirección de avance de la labor para optimizar el sistema de avance.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SALAZAR, Edgar. Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A. Tesis (Título profesional de Ingeniero de Minas). Huancayo-Perú: Universidad Continental, 2020, 119 pp.
2. NINA, Gilmer. Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto San Gabriel CIA de minas Buenaventura. Tesis (Título profesional de Ingeniero de Minas). Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2017, 218 pp.
3. LUCAS, Marco. Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A. Tesis (Título profesional de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco – Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019, 106 pp.
4. LOARTE, Oscar. Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018. Tesis (Título profesional de Ingeniero de Minas). Huaraz – Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2018, 88 pp.
5. DÁVILA, Jorge. *Diccionario geológico*. [en línea] Ingement Callao – Perú, 2011. [fecha de consulta: 12 de febrero de 2022] [https://www.academia.edu/24673031/DICCIONARIO\\_GEOLOGICO](https://www.academia.edu/24673031/DICCIONARIO_GEOLOGICO)
6. SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA PETROLEO Y ENERGÍA. *Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Lima - Perú: s.n., 2004.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
<b>General</b>	¿Cuáles es el resultado de la estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021?	Establecer la estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021.	la geomecánicos y geotécnicos del macizo rocoso influyen en el control de estabilidad zona profundización unidad minera Cobriza sector IV, 2021	<b>Independiente</b>  <b>Estimación geomecánica del macizo rocoso</b>
				<b>Dependiente</b> <b>Control de estabilidad</b>
<b>Específicos</b>	a) ¿Cuáles son los resultados de la estimación de los parámetros de la matriz rocosa para el control de estabilidad zona profundización?	a) Establecer los resultados de la estimación de los parámetros de la matriz rocosa para el control de estabilidad zona profundización.	a) La estimación de los parámetros de la matriz rocosa a través del cálculo de la porosidad, permeabilidad, densidad y el grado de saturación influyen para el control de estabilidad zona profundización.	
	b) ¿Cuáles son los resultados de la estimación de los parámetros del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización?	b) Establecer los resultados de la estimación de los parámetros del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización.	b) La estimación de los parámetros del macizo rocoso a través del cálculo de: R.Q.D., tamaño y forma de los bloques de la matriz rocosa, la resistencia al corte entre bloques de la matriz rocosa y las condiciones hidrogeológicas para el control de estabilidad zona profundización.	
	c) ¿Cuáles son los resultados de la estimación de los parámetros geotécnicos constructivos para el control de estabilidad zona profundización?	c) Establecer los resultados de la estimación de los parámetros geotécnicos constructivos para el control de estabilidad zona profundización.	c) La estimación de los parámetros geotécnicos constructivos a través del análisis del sistema de excavación, tiempo de instalación de los sostenimientos, presencia de las excavaciones adyacentes, geometría y dimensiones de las excavaciones influyen en el control de estabilidad zona profundización.	



Variable	Concepto	Dimensión	Indicador
Variable independiente	Un macizo rocoso estará compuesto por una o varias rocas que a su vez contienen planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Parámetros de la matriz rocosa</li> <li>▪ Parámetros del macizo rocoso</li> <li>▪ Parámetros geotécnicos constructivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Litología</li> <li>▪ Meteorización</li> <li>▪ Tamaño de grano</li> <li>▪ Dureza</li> <li>▪ Deformabilidad</li> <li>▪ Resistencia ente los esfuerzos</li> <li>▪ Porosidad</li> <li>▪ Permeabilidad</li> <li>▪ Densidad</li> <li>▪ Grado de saturación</li> <li>▪ Color</li> <li>▪ Número de familias</li> <li>▪ Orientación</li> <li>▪ Tipo</li> <li>▪ Espaciado</li> <li>▪ Continuidad espacial</li> <li>▪ Anchura</li> <li>▪ Rugosidad y ondulación de los planos</li> <li>▪ Alteración de las paredes</li> <li>▪ Rellenos</li> <li>▪ R.Q.D.</li> <li>▪ Tamaño y forma de los bloques de la matriz rocosa</li> <li>▪ Resistencia al corte entre bloques de la matriz rocosa</li> <li>▪ Condiciones hidrogeológicas</li> <li>▪ Estado de esfuerzo</li> <li>▪ Sistema de excavación</li> <li>▪ Tiempo de instalación de los sostenimientos</li> <li>▪ Presencia de las excavaciones adyacentes</li> <li>▪ Geometría</li> <li>▪ Dimensiones de las excavaciones</li> </ul>
Variable dependiente	La estabilidad es la capacidad que tienen los elementos de las estructuras de aguantar las acciones sin volcar o caer. Las estructuras que, al aplicar una pequeña carga o por sí solas, pierden el equilibrio se dice que son inestables	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tamaño</li> <li>▪ Forma</li> <li>▪ Secuencia de avance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dimensiones</li> <li>▪ Tradicionales y/o estructurales</li> <li>▪ Autosoporte</li> </ul>

## Anexo 2

### Clasificación de Hoek y Brown

Hoek-Brown Classification		
sigci	175	MPa
GSI	73	
mi	32	
D	0	
Hoek-Brown Criterion		
mb	12.2002	
s	0.0497871	
a	0.501071	
Failure Envelope		
Range		
Application	General	
sig3max	43.75	MPa
Mohr-Coulomb Fit		
c	16.7863	MPa
phi	47.3328	degrees
Rock Mass Parameters		
sigt	-0.714149	MPa
sigc	38.9225	MPa
sigcm	85.9603	MPa
Em	37583.7	MPa
Principal Stresses		

Number	Minor principal stress (MPa)	Major principal stress (MPa)				
1	-0.7141486	0	-0.7141486	0		
2	-0.7141486	0	-0.7141486	81.2784562		
3	-0.260432798	30.74854967	-0.2604328	84.2529261		
4	0.193283004	44.07917542	0.193283	87.227396		
5	0.646998806	54.4193675	0.64699881	90.2018659		
6	1.100714608	63.21083239	1.10071461	93.1763358		
7	1.55443041	71.01225156	1.55443041	96.1508057		
8	2.008146212	78.11023663	2.00814621	99.1252756		
9	2.461862014	84.67508709	2.46186201	102.099746		
10	2.915577816	90.81778323	2.91557782	105.074215	11	
	3.369293618	96.61542441	3.36929362	108.048685	12	
	3.82300942	102.1241539	3.82300942	111.023155		
13	4.276725222	107.3863605	4.27672522	113.997625	14	4.730441024
	112.4349797	4.73044102	116.972095			
15	5.184156826	117.2962059	5.18415683	119.946565	16	5.637872628
	121.9912794	5.63787263	122.921035			
17	6.09158843	126.5377066	6.09158843	125.895505		
18	6.545304232	130.9501193	6.54530423	128.869975	19	
	6.999020034	135.2408951	6.99902003	131.844445	20	
	7.452735836	139.4206154	7.45273584	134.818915	21	
	7.906451639	143.4984109	7.90645164	137.793385	22	
	8.360167441	147.4822252	8.36016744	140.767854	23	
	8.813883243	151.3790208	8.81388324	143.742324	24	
	9.267599045	155.1949402	9.26759904	146.716794	25	
	9.721314847	158.9354355	9.72131485	149.691264	26	
	10.17503065	162.6053725	10.1750306	152.665734	27	
	10.62874645	166.2091149	10.6287465	155.640204	28	
	11.08246225	169.7505943	11.0824623	158.614674	29	
	11.53617805	173.2333679	11.5361781	161.589144	30	
	11.98989386	176.6606662	11.9898939	164.563614		
31	12.44360966	180.035434	12.4436097	167.538084		

32 12.89732546 183.3603643 12.8973255 170.512554  
 33 13.35104126 186.6379276 13.3510413 173.487024 34  
 13.80475707 189.8703966 13.8047571 176.461493  
 35 14.25847287 193.0598679 14.2584729 179.435963 36 14.71218867  
 196.2082805 14.7121887 182.410433  
 37 15.16590447 199.3174318 15.1659045 185.384903  
 38 15.61962027 202.3889917 15.6196203 188.359373  
 39 16.07333608 205.4245151 16.0733361 191.333843  
 40 16.52705188 208.4254523 16.5270519 194.308313 41  
 16.98076768 211.3931592 16.9807677 197.282783 42  
 17.43448348 214.3289049 17.4344835 200.257253  
 43 17.88819928 217.23388 17.8881993 203.231723  
 44 18.34191509 220.1092028 18.3419151 206.206193  
 45 18.79563089 222.9559256 18.7956309 209.180663 46  
 19.24934669 225.7750397 19.2493467 212.155132 47  
 19.70306249 228.5674804 19.7030625 215.129602  
 48 20.15677829 231.3341316 20.1567783 218.104072 49 20.6104941  
 234.0758292 20.6104941 221.078542 50 21.0642099 236.7933648  
 21.0642099 224.053012  
 51 21.5179257 239.4874893 21.5179257 227.027482 52 21.9716415  
 242.1589153 21.9716415 230.001952 53 22.4253573 244.8083198  
 22.4253573 232.976422  
 54 22.87907311 247.4363471 22.8790731 235.950892 55 23.33278891  
 250.0436106 23.3327889 238.925362 56 23.78650471 252.6306947  
 23.7865047 241.899832 57 24.24022051 255.1981571 24.2402205  
 244.874302 58 24.69393631 257.7465302 24.6939363 247.848771 59  
 25.14765212 260.2763227 25.1476521 250.823241 60 25.60136792  
 262.7880212 25.6013679 253.797711 61 26.05508372 265.2820913  
 26.0550837 256.772181  
 62 26.50879952 267.758979 26.5087995 259.746651  
 63 26.96251532 270.2191118 26.9625153 262.721121 64  
 27.41623113 272.6628999 27.4162311 265.695591 65  
 27.86994693 275.0907368 27.8699469 268.670061 66

	28.32366273	277.5030005	28.3236627	271.644531	67
	28.77737853	279.9000544	28.7773785	274.619001	
68	29.23109433	282.282248	29.2310943	277.593471	
69	29.68481014	284.6499175	29.6848101	280.567941	
70	30.13852594	287.0033866	30.1385259	283.54241	
71	30.59224174	289.3429673	30.5922417	286.51688	72
	31.04595754	291.6689601	31.0459575	289.49135	
73	31.49967334	293.981655	31.4996733	292.46582	
74	31.95338915	296.2813319	31.9533891	295.44029	
75	32.40710495	298.5682607	32.4071049	298.41476	
76	32.86082075	300.8427024	32.8608208	301.38923	
77	33.31453655	303.1049091	33.3145366	304.3637	
78	33.76825236	305.3551245	33.7682524	307.33817	79
	34.22196816	307.5935844	34.2219682	310.31264	
80	34.67568396	309.8205168	34.675684	313.28711	81
	35.12939976	312.0361426	35.1293998	316.26158	
82	35.58311556	314.2406756	35.5831156	319.236049	83
	36.03683137	316.4343231	36.0368314	322.210519	
84	36.49054717	318.6172859	36.4905472	325.184989	85
	36.94426297	320.7897587	36.944263	328.159459	
86	37.39797877	322.9519305	37.3979788	331.133929	
87	37.85169457	325.1039844	37.8516946	334.108399	
88	38.30541038	327.2460983	38.3054104	337.082869	
89	38.75912618	329.3784452	38.7591262	340.057339	
90	39.21284198	331.5011927	39.212842	343.031809	
91	39.66655778	333.6145039	39.6665578	346.006279	
92	40.12027358	335.7185372	40.1202736	348.980749	
93	40.57398939	337.8134469	40.5739894	351.955219	
94	41.02770519	339.8993827	41.0277052	354.929688	
95	41.48142099	341.9764905	41.481421	357.904158	
96	41.93513679	344.0449122	41.9351368	360.878628	

97	42.38885259	346.104786	42.3888526	363.853098	98
	42.8425684	348.1562463	42.8425684	366.827568	99
	43.2962842	350.1994242	43.2962842	369.802038	
100	43.75	352.2344473	43.75	372.776508	

---