

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Estudio geomecánico local para la construcción  
del taller de mantenimiento nivel 870  
Unidad Minera Yauricocha**

Carlos Germán Ramos Cámac  
Yordy Valentín Curilla Araujo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero agradecimiento a la Compañía Minera Corona S.A. y a la empresa minera PEGAMA Ingenieros S.A.C. por permitirme realizar mis prácticas profesionales en la Unidad Yauricocha y otorgarme su autorización para presentar información técnica para el desarrollo de mi trabajo de tesis.

Agradecer de manera especial al administrador Romnel Saravia Yaranga, administrador de la empresa PEGAMA ingenieros S.A.C., al ingeniero Germán Pedro Ramos Martínez, Residente de mina, por ser parte valiosa en la realización del proyecto y guiarme en mi desarrollo profesional.

Al Ing. Julio Fredy Porras Mayta, asesor de este trabajo de tesis, por haberme guiado en este proyecto en base a su experiencia y sabiduría ha sabido direccionar mis conocimientos.

Bach: Carlos Germán Ramos Cámac

A mis compañeros los aportes para lograr el objetivo de realizar la investigación.

Al Ing. Porras, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Bach: Yordy Valentín Curilla Araujo

## DEDICATORIA

Dedicataria: Dedico mi tesis a Dios, a mis padres, Doris Cámac y Germán Ramos, a mi novia, Yaney López, y a mis hermanos, Evelyn, Susan y Hans, pues sin el apoyo de cada uno de ellos no habría logrado alcanzar esta meta.

Bach: Carlos Germán Ramos Cámac

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, dedico esta tesis a mis padres que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

Bach: Yordy Valentín Curilla Araujo

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	2
DEDICATORIA.....	3
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPITULO I .....	16
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.1.1 Problema general .....	17
1.1.2 Problemas específicos .....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1 Objetivo general .....	17
1.2.2 Objetivos específicos .....	17
1.3. Justificación.....	18
1.3.1 Justificación práctica .....	18
1.3.2 Justificación metodológica .....	18
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	18
1.4.1 Hipótesis general.....	18
1.4.2 Hipótesis específicas.....	19
1.4.3 Variables .....	19
CAPITULO II .....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes del problema.....	21
2.2. Bases teóricas.....	28

2.2.1 Ingeniería del macizo rocoso .....	28
2.2.2 Discontinuidades en la masa rocosa.....	31
2.2.3 Propiedades de las discontinuidades.....	37
2.2.4 Clasificación de Barton et al. (1974) .....	41
CAPITULO III .....	59
METODOLOGIA.....	59
3.1. Métodos y alcances de la investigación .....	59
3.1.1 Método general .....	59
3.1.2 Tipo de investigación.....	59
3.1.3 Nivel de investigación.....	59
3.1.4 Diseño de investigación .....	60
3.2. Población y muestra.....	60
3.2.1 Población.....	60
3.2.2 Muestra .....	60
CAPITULO IV .....	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	61
4.1. Introducción.....	61
4.1.1 Ubicación.....	62
4.1.2 Accesibilidad .....	63
4.1.3 Topografía y altitudes.....	63
4.1.4 Clima y vegetación .....	64
4.1.5 Recursos naturales .....	64
4.1.6 Geología del yacimiento.....	65
4.1.7 Geología local de mina Yauricocha.....	65
4.1.8 Mineralización. ....	68

4.2. Caracterización geomecánica del macizo rocoso .....	71
4.2.1 Caracterización de la masa rocosa .....	71
4.2.2 Zonificación geomecánica de la masa rocosa .....	75
4.2.3 Resistencia de la roca .....	76
4.2.4 Cálculo de esfuerzos in situ .....	78
4.2.4 Evaluación de estabilidad.....	80
4.2.5 Modelamiento numérico .....	84
4.3. Discusión de resultados .....	88
4.3.1 Los resultados de la caracterización de la masa rocosa.....	88
4.3.2 Los resultados de la evaluación de estabilidad local mediante el análisis cinemático de cuñas.....	89
4.3.3 Calcular los resultados del modelamiento numérico local .....	90
4.3.4 El tipo de sostenimiento de labores mineras local .....	91
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES .....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	96

## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Planos de estratificación .....	31
Imagen 2 Falla.....	32
Imagen 3 Zona de corte .....	32
Imagen 4 Diaclasa.....	33
Imagen 5 Planos de foliación o esquistosidad .....	33
Imagen 6 Contactos litológicos .....	34
Imagen 7 Venillas.....	34
Imagen 8 Pliegues.....	35
Imagen 9 Dique .....	35
<i>Imagen 10 Chimeneas o cuellos volcánicos .....</i>	<i>36</i>
Imagen 11 Orientación .....	38
Imagen 12 Espaciado.....	38
Imagen 13 Persistencia.....	39
Imagen 14 Rugosidad .....	39
Imagen 15 Apertura.....	40
Imagen 16 Relleno .....	40
Imagen 17 Gráfico de Sostenimiento del Sistema Q.....	48
Imagen 18 Gráfico para la puntuación de la resistencia a la compresión simple de la roca intacta ( $\sigma_c$ ).....	50
Imagen 19 Gráfico para la puntuación del Índice de calidad RQD (%).....	51
Imagen 20 Gráfico para la puntuación del número de discontinuidades por metro .....	52
imagen 21 Tiempo de auto sostenimiento de acuerdo al RMR (Bieniawski 1989) .....	55

Imagen 22 Plano de Zonificación Geomecánica Polvorín NV870 zona III-cuerpo escondida .....	76
imagen 23 Abaco de Martillo Schmidt, para determinar la resistencia de la roca .....	77
imagen 24 Hoja Rock Data, cálculo de parámetros de macizo rocoso .....	78
imagen 25 Determinación de las principales familias taller de mantenimiento .	81
imagen 26 De acuerdo al Rosetto, la familia 1 y 3 predomina con rumbo sub-paralelo al eje del CX6631SW Y NE .....	82
imagen 27 Análisis cinemático de cuñas del CX5536SW, de techo y hastiales con $FoS < 1.0$ , sin sostenimiento .....	82
imagen 28 Análisis cinemático de cuñas, con sostenimiento $FoS > 1.5$ cuña estable .....	83
imagen 29 Análisis cinemático de cuñas intersección CX3559NW con CX6631NE y SW, de techo y hastiales con $FoS < 1.0$ . .....	83
imagen 30 Análisis cinemático de cuñas intersección CX3559NW con CX6631NE y SW, con sostenimiento $FoS > 1.5$ cuña estable .....	84
imagen 31 Desplazamiento total de 0.024m en hastiales, excavaciones sin sostenimiento. ....	84
imagen 32 Altura de plastificación máxima de 1.68 m con $FoS < 1.2$ , excavaciones sin sostenimiento .....	85
imagen 33 Desplazamiento total de 0.016m en hastiales, excavaciones considerando sostenimiento con pernos helicoidales de 7' y 10' en zona de intersección y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2". ....	85

imagen 34	Altura plastificada de 0.66 m con FoS>1.2, los pernos anclan en zona no plastificada considerando excavaciones con sostenimiento pernos helicoidales de 7' y 10' más una capa de shotcrete de 2".....	86
imagen 35	Desplazamiento total de 0.025m en zona de intersección de mayor SPAN, mayor desplazamiento en hastiales, excavación sin considerar sostenimiento. ....	86
imagen 36	Altura plastificada de 1.92 m en zona de intersección con FoS < 1.0, CX3559NW con CX6631NE y SW.....	87
imagen 37	Altura plastificada de 1.68 m en zona de intersección los pernos anclan en área no plastificada con FoS > 1.2. CX3559NW con CX6631NE y SW.....	87
Imagen 38	matriz de consistencia.....	97

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Índice de calidad RQD (%).....	36
Tabla 2 Número de familias de Juntas. Jn .....	41
Tabla 3 Meteorización de las juntas. Ja .....	42
Tabla 4 Rugosidad de las juntas. Jr .....	43
Tabla 5 Agua en las juntas. Jw .....	43
Tabla 6 Tensiones en la excavación. S.R.F.....	44
Tabla 7 Los rangos de variación de los parámetros son los siguientes:.....	45
Tabla 8 Resistencia aproximada al corte a partir de los parámetros Jr y Ja.....	46
Tabla 9 Clasificación de Barton et al. (1974) de los macizos rocosos. Tipos de macizos .....	47
Tabla 10 Valores supuestos de ESR según Barton .....	47
Tabla 11 Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989).....	49
Tabla 12 Puntuación de la resistencia a la compresión simple de la roca.....	50
Tabla 13 Puntuación del Índice de calidad RQD (%).....	51
Tabla 14 Puntuación del número de discontinuidades por metro .....	51
Tabla 15 Puntuación de la presencia de agua en el frente .....	52
Tabla 16 Puntuación para la abertura de las discontinuidades.....	52
Tabla 17 Puntuación para la continuidad o persistencia de las discontinuidades .....	53
Tabla 18 Puntuación para la alteración de las discontinuidades .....	53
Tabla 19 Puntuación para la rugosidad de las discontinuidades .....	53
Tabla 20 Puntuación para el relleno de las discontinuidades .....	53
Tabla 21 Puntuación para corrección por orientación de las discontinuidades	54
Tabla 22 Valoración para túneles y minas .....	54

Tabla 23 Puntuación para la calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR .....	54
Tabla 24 Sostenimiento para el RMR .....	55
Tabla 25 Coordenadas UTM .....	63
Tabla 26 Trayectoria de Lima - U.A. Yauricocha Fuente: (Sociedad Minera Corona S.A.C, 2013) .....	63
Tabla 27 Criterio para la clasificación de la masa rocosa .....	71
Tabla 28 Porcentajes de ocurrencia de calidades de masa rocosa.....	72
Tabla 29 Valoración de calidad de macizo rocoso en base al RMR'89 (Bieniawski 1989) .....	73
Tabla 30 Valoración de calidad de macizo rocoso en base al RMR'89 (Bieniawski 1989) .....	74
Tabla 31 Datos de esfuerzos insitu, parámetros elásticos y de resistencia .....	80

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se planteó como objetivo general: Evaluar los resultados del estudio geomecánico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021, cuya hipótesis general fue: Los resultados del estudio geomecánico local utilizó la valoración del criterio de clasificación de masa rocosa de Bieniawski 1989 (RMR'89) influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021.

El método general de investigación fue: el científico de tipo aplicada, nivel correlacional, diseño no experimental, la población y la muestra censal estuvo conformada por el nivel 870, mina Cachi Cachi, unidad minera Yauricocha.

Producto de la conclusión se concluye que: 1. El resultado de la valoración de calidad de macizo rocoso para para la construcción del taller de mantenimiento, está conformada por una roca tipo intrusivo granodiorita, con un RMR promedio = 49 de tipo III-B de categoría regular, el esfuerzo vertical ( $\sigma_v$ ) = 15.60 Mpa y el esfuerzo horizontal ( $\sigma_h$ ) = 10.30 Mpa; considerando un factor de seguridad mayor a 1.5, para lo cual se el sostenimiento estará conformado por pernos helicoidales de 7' y 10' y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2".

**Palabras claves:** Estudio geomecánico local, construcción de taller de mantenimiento.

## ABSTRACT

The present research work was proposed as a general objective: To evaluate the results of the local geomechanical study for the construction of the maintenance level workshop 870 Yauricocha mining unit 2021, whose general hypothesis was: The results of the local geomechanical study used the evaluation of the classification criterion rock mass of Bieniawski 1989 (RMR'89) influence the construction of the maintenance workshop level 870 mining unit Yauricocha 2021.

The general research method was: the applied scientific type, correlational level, non-experimental design, the population and the census sample was made up of level 870, Cachi Cachi mine, Yauricocha mining unit.

As a result of the conclusion, it is concluded that: 1. The result of the quality assessment of the rock mass for the construction of the maintenance workshop, is made up of an intrusive granodiorite type rock, with an average RMR = 49 of type III-B category regular, the vertical stress ( $\sigma_v$ ) = 15.60 Mpa and the horizontal stress ( $\sigma_h$ ) = 10.30 Mpa; considering a safety factor greater than 1.5, for which the support will be made up of 7 'and 10' helical bolts and a 7 'split set in sections smaller than 4.0 m plus a 2 "shotcrete layer.

**Keywords:** Local geomechanical study, construction of maintenance workshop.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada; “Estudio geomecánico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha”, partió de la necesidad de realizar la evaluación geomecánica para la construcción del taller de mantenimiento del NV 870 de Mina Cachi Cachi.

Tomando en cuenta la importancia de la infraestructura de mina como labor de carácter permanente se debe de realizar el estudio geomecánico de estabilidad de pilares y estabilidad de sección típica, así como determinar los parámetros mecánicos del macizo rocoso, caracterización de masa rocosa, litología y zonificación geomecánica, bajo estos parámetros se determinará entre otros el sostenimiento requerido para garantizar la estabilidad de la excavación.

Para el desarrollo de la investigación la tesis se dividió en cuatro capítulos cuyos contenidos son los siguientes:

El capítulo I, Titulada 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 en el que 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.

Y en la parte final se formulan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos

Bach: Carlos Germán Ramos Cámac

Bach: Yordy Valentín Curilla Araujo

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

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

Sociedad Minera Corona S.A., viene realizando actividades de extracción de minerales polimetálicos de Ag, Pb, Cu y Zn en su Mina, manteniendo los controles de seguridad requeridos para la realización de las actividades dentro del marco de los parámetros establecidos por los órganos de control gubernamentales, para ello, la empresa necesita realizar la evaluación geomecánica para la construcción del taller de mantenimiento del NV 870 de Mina Cachi Cachi.

Tomando en cuenta la importancia de la infraestructura de mina como labor de carácter permanente se debe de realizar el estudio geomecánico de estabilidad de pilares y estabilidad de sección típica, así como determinar los parámetros mecánicos del macizo rocoso, caracterización de masa rocosa, litología y zonificación geomecánica, bajo estos parámetros se determinará entre otros el sostenimiento requerido para garantizar la estabilidad de la excavación.

En tal sentido se hace necesario realizar los estudios geomecánicos pertinentes.

### **1.1.1 Problema general**

¿Cuáles son los resultados del estudio geomecánico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles son los resultados de la caracterización de la masa rocosa local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?
- b) ¿Cuáles son los resultados de la evaluación de estabilidad local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?
- c) ¿Cuáles son los resultados del modelamiento numérico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?
- d) ¿Cuál es el tipo de sostenimiento de labores mineras local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar los resultados del estudio geomecánico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar los resultados de la caracterización de la masa rocosa local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.

- b) Calcular los resultados de la evaluación de estabilidad local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.
- c) Calcular los resultados del modelamiento numérico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.
- d) Establecer el tipo de sostenimiento de labores mineras local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1 Justificación práctica**

La presente investigación se propone realizar el estudio tomando en cuenta la importancia de la infraestructura de mina como labor de carácter permanente bajo estos parámetros se determinará entre otros el sostenimiento requerido para garantizar la estabilidad de la excavación.

#### **1.3.2 Justificación metodológica**

Con la finalidad de desarrollar de la presente tesis, el tesista empleara metodologías propias para la toma de datos insitu de campo, estas metodologías servirán de para procesar la información de manera ordenada y sistemática; del mismo modo estas metodologías podrán servir de base para otras investigaciones.

### **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

#### **1.4.1 Hipótesis general**

Los resultados del estudio geomecánico local utilizó la valoración del criterio de clasificación de masa rocosa de Bieniawski 1989

(RMR'89) influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021

#### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- a) Los resultados de la caracterización de la masa rocosa local mediante el cálculo de la resistencia uniaxial de la matriz rocosa, RQD, espaciado, condición orientación y la presencia de agua de las discontinuidades influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.
- b) Los resultados de la evaluación de estabilidad local mediante el análisis cinemático de cuñas se hará el análisis entendiendo cuales y cuantos son los planos de discontinuidades necesarios para que se produzca la falla los cuales influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.
- c) Calcular los resultados del modelamiento numérico local mediante el análisis de la distribución de los desplazamientos y de los esfuerzos resultantes producto de las voladuras, redistribuyendo el campo tensional del macizo rocoso de pilares influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.
- d) El tipo de sostenimiento de labores mineras local mediante el análisis de estabilidad de las excavaciones influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.

#### **1.4.3 Variables**

**Variable Independiente (X):**

**Estudio geomecánico**

Indicadores:

- Caracterización de la masa rocosa.
- Evaluación de estabilidad.
- Modelamiento numérico.
- Sostenimiento.

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

### **Taller de mantenimiento**

Indicadores:

- Estabilidad de la excavación

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

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

- a) Según (1) En su investigación sobre “caracterización geomecánica del proyecto de exploración minera Chanca provincia de Cajatambo - departamento de Lima”

Su objetivo general fue:

- ✓ Definir las condiciones geológicas y geotécnicas del proyecto de exploración Chanca para establecer el ciclo de minado y la estabilidad de las labores entre niveles de producción existente y relacionada a la influencia de otras vetas en el ciclo de minado.

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Caracterizar geológica y geotécnicamente el macizo rocoso del proyecto Chanca.
- ✓ Realizar pruebas de campo y laboratorio para cuantificar las propiedades resistentes de la roca intacta.

- ✓ Determinar las propiedades de resistencia y deformación del macizo rocoso, a partir de modelos empíricos.
- ✓ Zonificar geotécnicamente el macizo del proyecto Chanca a partir de la caracterización y clasificaciones geomecánicas empleadas, determinando modelos de ruptura para cada caso.
- ✓ Presentar el presente trabajo para optar el título profesional de Ingeniero

Producto de su investigación concluye que:

- ✓ La zonificación geomecánica del proyecto Chanca está emplazado en horizontes rocas volcánicas andesíticas y dacíticas de la formación Calipuy del Terciario inferior. Los volcánicos Calipuy se encuentran en contacto fallado y/o sobreyaciendo en forma discordante a rocas sedimentarias de las formaciones del tope del grupo Goyllarisquizga, y de las secuencias calcáreas margosas de las formaciones Chulee y Pariatambo del Cretáceo Inferior a Medio.
- ✓ Las características del macizo rocoso de las andesitas de la caja techo y caja piso del Nv. 500, 440, 400 con un GSI de muy fracturado regular a fracturado regular (MF/R a F/R) con un RMR =55- 65, y del Mineral del Nv. 500, 440, 400, con GSI de muy fracturado Bueno a fracturado Bueno (MF/B a MF/R) con un RMR 45 -55.
- ✓ Las principales familias que se presenta en el Proyecto Chanca tienen las siguientes características y son:
  - Sistema de Familia: N 32° a 62° W con Buzamiento de 79° NE;
  - Sistema de Familia S 09° W con Buzamiento de 75 NW;
  - Sistema de familia S 17° E a S 40° E con Buzamiento de 65 SW.

- ✓ Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas. La resistencia de la Andesita esta ( $\sigma_c = 125$  a  $175$  MPa), con un comportamiento frágil; la zona mineralizada ( $\sigma_c = 73$  a  $85$  MPa), con un comportamiento rígido; se ha estimado el esfuerzo vertical de  $11$  MPa. y el esfuerzo horizontal in-situ, también, de aproximadamente  $11$  MPa.
  - ✓ En el año 2013 el costo total de sostenimiento fue de  $135991.37$  US\$ con un avance lineal total de  $4329.35$  metros y un factor de  $31.41$  US\$/m.
  - ✓ En el año 2013, No se ha tenido ningún accidente por caída de rocas en el proyecto Chanca.
  - ✓ 7. En el año 2013 se alcanzó el objetivo de cero accidentes aplicando controles por estabilidad y de prevención por caída de rocas, priorizando en controles de ingeniería.
- b) Según: (2) En su investigación sobre “Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura”
- El objetivo general fue:
- ✓ Evaluar las características geomecánicas y la estabilidad de las labores en el proyecto San Gabriel CIA de minas Buenaventura
- Los objetivos específicos fueron:
- ✓ 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:

- ✓ 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) Según: (3) en su investigación sobre: “Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo”

Su objetivo general fue:

- ✓ Realizar la evaluación geomecánica de la masa rocosa para el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo CIA. Minera Milpo.

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Investigar los estudios de campo de la masa rocosa para determinar su calidad.
- ✓ Determinar los índices geomecánicos de las labores subterráneas en la Mina Cerro Lindo.
- ✓ Considerar los parámetros necesarios para el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo

Las conclusiones de su investigación fueron:

- ✓ El yacimiento de Cerro Lindo está emplazado en rocas de la Formación Huaranguillo perteneciente a la secuencia volcánica-sedimentaria del Cretáceo Medio a Inferior denominada Grupo Casma, que descansa como un techo colgado, con rumbo general N 60°W y un buzamiento preferencial SW, sobre los intrusivos del

Batolito de la Costa perteneciente al Cretáceo Superior hasta el Terciario; esta faja intrusiva está compuesta por rocas granodioritas, tonalitas y dioritas de afinidad calcoalcalinas.

- ✓ Los cuerpos mineralizados de Cerro Lindo están emplazados en rocas volcánicas de tipo riolíticas gradando a riodacíta. También está presente en el área de estudio una unidad piroclástica que se intercala dentro de unidades de flujos riolíticos.
- ✓ El yacimiento Cerro Lindo es un depósito de sulfuro masivo vulcanogénico (VMS Volcanogenic Massive Sulphide) tipo Kuroco. Presenta orientación NW, buzando 65°SW y tiene dimensiones de 1,350 m de largo, 83 m de ancho y 245 m de profundidad. Tiene 7 cuerpos mineralizados (OB1 al 7).
- ✓ La litología simplificada de la mina Cerro Lindo involucra a 3 tipos de rocas: los sulfuros donde está el mineral, los volcánicos y los diques. Los volcánicos aparecen alrededor de los sulfuros conformando la roca encajonante, mientras los diques cortan transversalmente a la zona de sulfuros y a los volcánicos. Dentro de la zona mineralizada aparecen enclaves de roca volcánica que son extraídos junto con el mineral durante la explotación del yacimiento.
- ✓ El análisis de distribución de discontinuidades ha indicado que el arreglo estructural de la masa rocosa dentro de cada litología de Cerro Lindo, debajo del Nv. 1800, está conformado por 2 sistemas principales de discontinuidades, siendo uno de ellos el dominante, y de 1 a 2 sistemas secundarios.

- ✓ Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas y fallas. El sistema 1 involucra a fallas transversales a los cuerpos mineralizados. Aparte del arreglo estructural general de las áreas del OB2 y OB5, de manera localizada se presentan discontinuidades aleatorias.
- ✓ Los resultados de la clasificación geomecánica de la masa rocosa debajo del Nv. 1820, efectuada a partir de la información registrada en el mapeo geomecánico de labores subterráneas; en el OB5 y OB6, las masas rocosas de calidad Buena (II) representan el 34 %, las de calidad Regular A (IIIA) representan el 33 %, las de calidad Regular B (IIIB) representan el 20 %, las de calidad Mala A (IVA) representan el 6 % y las de calidad Mala B (IVB) representan el 7 %.
- ✓ Los parámetros de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa, determinados a partir de ensayos realizados en campo y en laboratorio y a partir de la utilización de criterios de falla apropiados.
- ✓ En la mina Cerro Lindo no es muy significativa la presencia de agua subterránea, generalmente las condiciones naturales son de secas a húmedas. La presencia de agua está relacionada principalmente a la operación minera: agua de las perforaciones de producción, el agua de las perforaciones diamantinas, y el agua del relleno, que se infiltran en la masa rocosa y percolan hacia las labores inferiores.
- ✓ Utilizando toda la información básica mencionada en las conclusiones precedentes, se han realizado una serie de análisis, el dimensionamiento de los diferentes componentes estructurales

asociados al minado estará en función del arreglo estructural de la masa rocosa y del comportamiento esfuerzo/deformación de la misma, donde se determina las dimensiones apropiadas en el capítulo VI.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1 Ingeniería del macizo rocoso**

**Art. 213.-** En la ejecución de las labores mineras horizontales, inclinadas o verticales y otras, se procederá a su sostenimiento sistemático inmediato, sobre la base de los estudios geomecánicos, antes de continuar las perforaciones en el frente de avance, aplicando el principio de “labor avanzada, labor sostenida, en lo que sea aplicable.

**Art. 214.-** En las etapas de exploración y explotación, incluida la preparación y desarrollo de la mina-, el titular de actividad minera debe tener en cuenta:

- a) Que, de acuerdo al estudio geomecánico efectuado, el plan de minado debe considerar las condiciones más desfavorables de la masa rocosa del depósito mineralizado, para elegir el método de explotación de menor riesgo que permita la seguridad de los trabajadores y maquinarias, así como: una alta recuperación del mineral, la estabilidad de las excavaciones y la buena productividad.
- b) Registrar mensualmente los ensayos y pruebas de control de calidad, respecto de no menos del uno (1 %) del sostenimiento aplicado en dicho periodo.

- c) Registrar el monitoreo por estallido de rocas en base a la frecuencia de reportes de incidentes de este tipo, y en base a las labores sometidas a altas presiones por carga litostática.
- d) Los PETS relativos a temas geomecánicos deben incluir los materiales y estándares de acuerdo al trabajo realizado y deben ser actualizados por el área de Geomecánica de acuerdo al cambio de las condiciones geomecánicas de las labores.
- e) Que, durante la ejecución del plan de minado debe establecerse una relación de comunicación técnica y profesional entre las áreas de geología, geomecánica, mina y el Gerente de Seguridad y Salud Ocupacional. Dicha comunicación debe permanecer durante todo el proceso de explotación, a efectos de prevenir el desprendimiento de rocas, especialmente cuando se atraviesa zonas de gran perturbación estructural.
- f) Que los avances de las labores mineras no deben exceder lo establecido en el plan mensual de minado, salvo modificación previa del mismo.
- g) Que se mantenga el ancho y la altura de los tajeos dentro de los parámetros establecidos en los cálculos de la geomecánica desarrollados para cada unidad de operación.
- h) Que el diseño de la sección y gradiente de las galerías y otras labores tengan en cuenta las características estructurales del macizo rocoso, sus propiedades geomecánicas, la utilización que tiene, y los elementos de servicio (agua, aire comprimido, cables eléctricos, ductos de ventilación) requeridos.

- i) Que todas las galerías y otras labores cuenten con refugios peatonales cada cincuenta metros (50 m) y las galerías principales de transporte cuenten, además, con áreas de cruce de los equipos motorizados con sus respectivas señalizaciones y/o semáforo.
- j) Que, en tramos de ciento cincuenta (150) a doscientos (200) metros, se construya accesos laterales adicionales o cruces para los vehículos considerando el vehículo más grande de la mina para facilitar el pase de los vehículos de ida y vuelta, considerando además un área necesaria para la construcción de cunetas para casos de drenaje o deshielo.
- k) Para la ejecución de las operaciones mineras subterráneas y superficiales, el titular de la actividad minera debe acreditar que cuenta con la asesoría de un profesional ingeniero, especializado y con experiencia en geomecánica, para cada Unidad Minera o Unidad de producción (4 pág. 218).

**Art. 218.-** Para el desatado de rocas sueltas en cada labor, como mínimo, debe contarse con dos (2) juegos de cuatro (4) barretillas (de diferentes medidas de acuerdo a las dimensiones de las labores) cada uno. En galerías y rampas debe contarse como mínimo con un (1) juego de cuatro (4) barretillas cada cien (100) metros.

**Art. 220.-** Los trabajos de recuperación de puentes y pilares, rehabilitación de labores y reinicio de aquéllas que hayan estado paralizadas por un tiempo mayor al de su auto sostenimiento, considerados como trabajos de alto riesgo, deben contar con un estudio previo de geomecánica y deben ser realizados por trabajador

calificado que cuente con PETAR, de acuerdo al ANEXO N° 18.

Dichos trabajadores deberán estar bajo la dirección permanente del supervisor responsable de la tarea en mención.

### **2.2.2 Discontinuidades en la masa rocosa**

#### **➤ Planos de estratificación**

Dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias. (5 pág. 4)

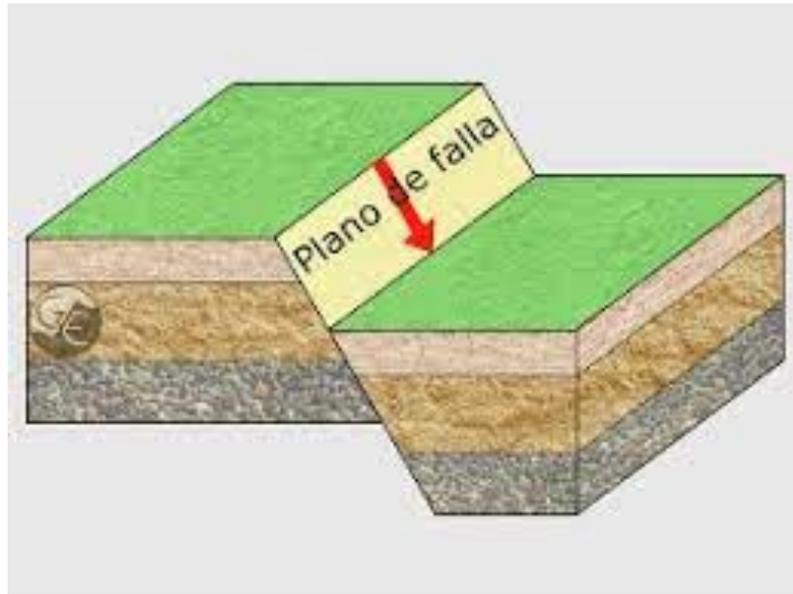
*Imagen 1 Planos de estratificación*



#### **➤ 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. (5 pág. 4)

*Imagen 2 Falla*



➤ **Zona de corte**

Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca. (5 pág. 5)

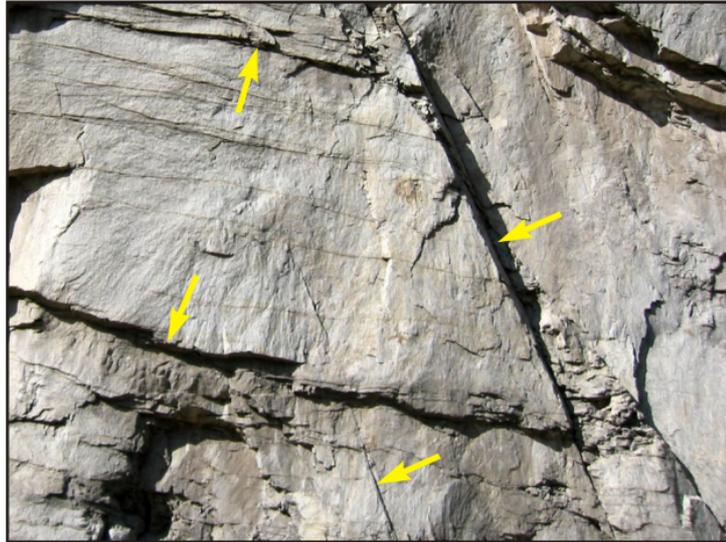
*Imagen 3 Zona de corte*



➤ **Diaclasa**

También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que más comúnmente se presentan en la masa rocosa. (5 pág. 5)

*Imagen 4 Diaclasa*



➤ **Planos de foliación o esquistosidad**

Se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas. (5 pág. 6)

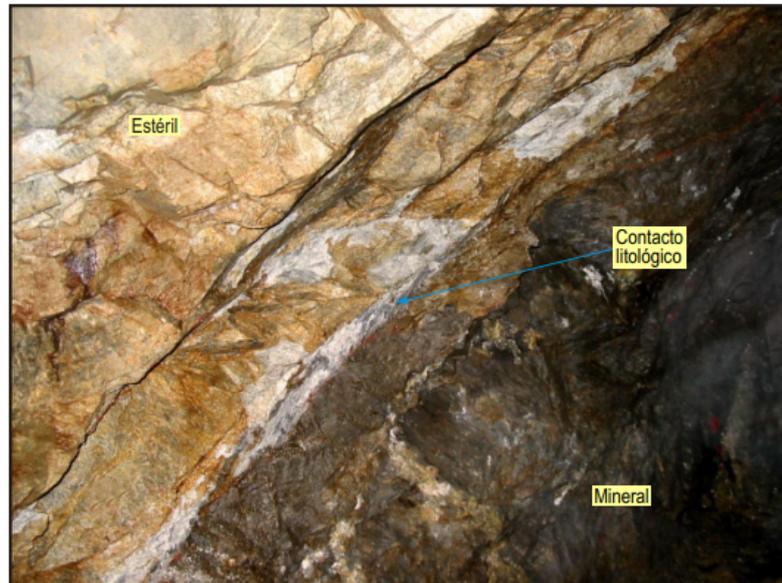
*Imagen 5 Planos de foliación o esquistosidad*



➤ **Contactos litológicos**

Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta. (5 pág. 6)

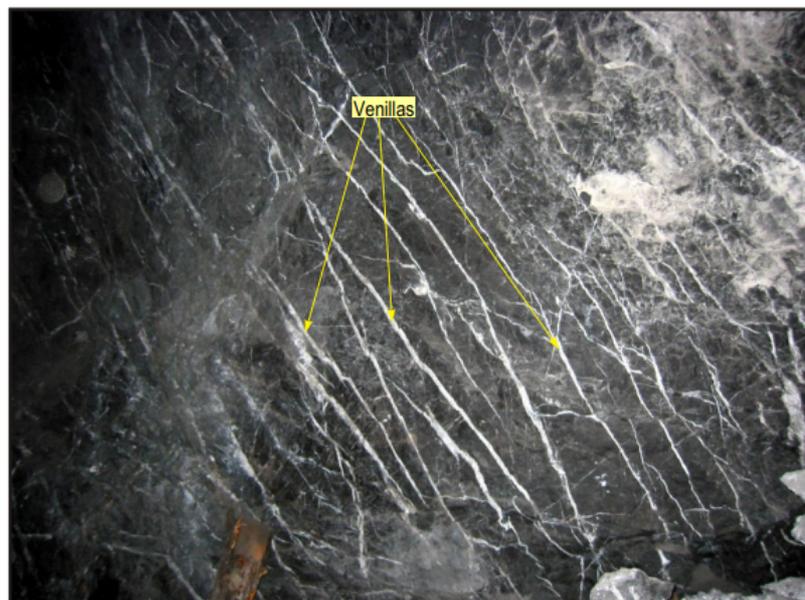
*Imagen 6 Contactos litológicos*



➤ **Venillas**

Son rellenos de las fracturas con otros materiales. (5 pág. 7)

*Imagen 7 Venillas*



➤ **Pliegues**

Son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados. (5 pág. 8)

*Imagen 8 Pliegues*



➤ **Dique**

Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales. (5 pág. 8)

*Imagen 9 Dique*



➤ **Chimeneas o cuellos volcánicos**

Son intrusiones que han dado origen a los conos volcánicos. (5 pág. 9)

*Imagen 10 Chimeneas o cuellos volcánicos*



➤ **RQD (Rock Quality Designation)**

Designación de la calidad de la roca El RQD o designación de calidad de la roca es un método muy popular que sirve para definir parámetros iniciales de calidad de un macizo rocoso.

El RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo).

La interpretación del valor del RQD se muestra en la tabla siguiente: (6 pág. 21)

*Tabla 1 Índice de calidad RQD (%)*

<b>Calidad de roca</b>	<b>Frecuencia lineal</b>	<b>RQD</b>
Muy pobre	>17	0 – 20
Pobre	12 – 17	20 – 40
Regular	7 – 12	40 – 60
Buena	4 – 7	60 – 80
Muy buena	1.5 – 4	80 – 95
Excelente	< 1.5	95 – 100

A continuación, se muestran algunas recomendaciones prácticas para el cálculo del RQD:

- La longitud de testigo no recuperada debe ser incluida en la longitud total del testigo.
- Las fracturas a lo largo del eje del testigo no deben ser consideradas como fractura y por ende no deben afectar el cálculo del RQD.
- Las fracturas o roturas mecánicas o creadas por el manipuleo deben ser ignoradas.
- Las roturas inducidas por esfuerzos (disking del testigo) deben ser ignoradas en los cálculos.
- El RQD debe ser evaluado sobre testigos relativamente frescos (algunos pueden deteriorarse).
- Se deben considerar taladros perforados en diferente rumbo y buzamiento para tener una mejor representación del RQD.
- Evitar registrar como RQD 100% a una roca poco competente (roca muy alterada, panizo, etc.). (6 pág. 21)

### **2.2.3 Propiedades de las discontinuidades**

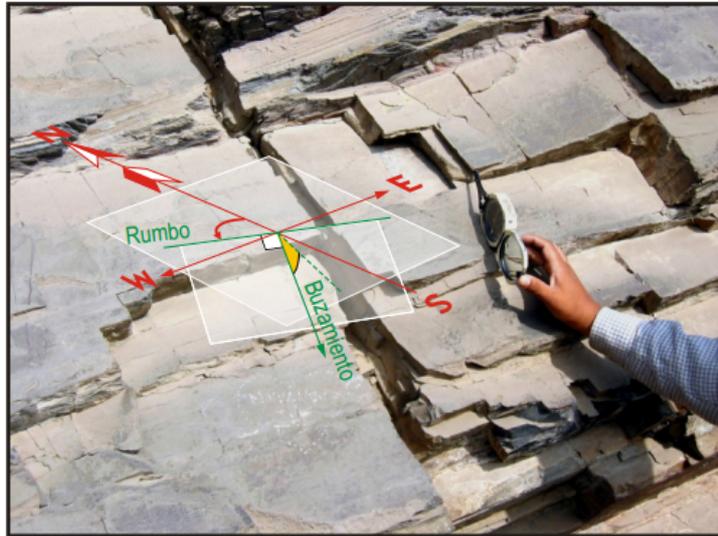
Todas las discontinuidades presentan propiedades geomecánicas importantes que las caracterizan y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa. Estas propiedades son principalmente:

#### **➤ Orientación**

es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y 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. (5 pág. 10)

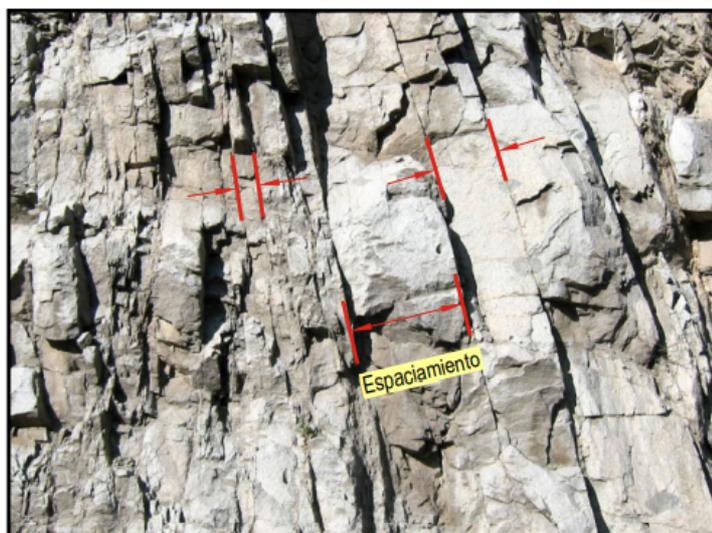
*Imagen 11 Orientación*



➤ **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. (5 pág. 10)

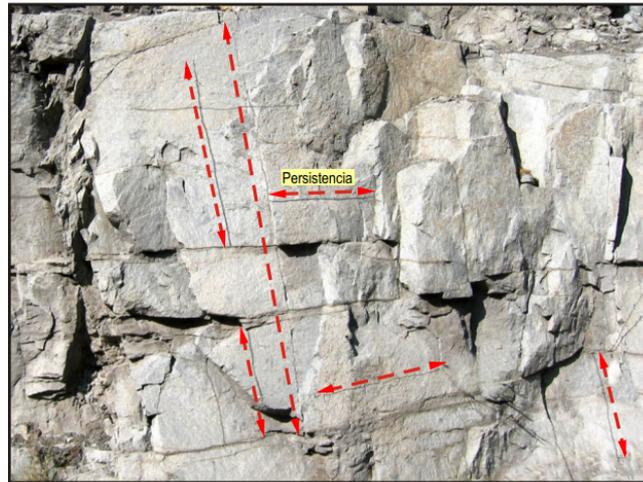
*Imagen 12 Espaciado*



➤ **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. (5 pág. 11)

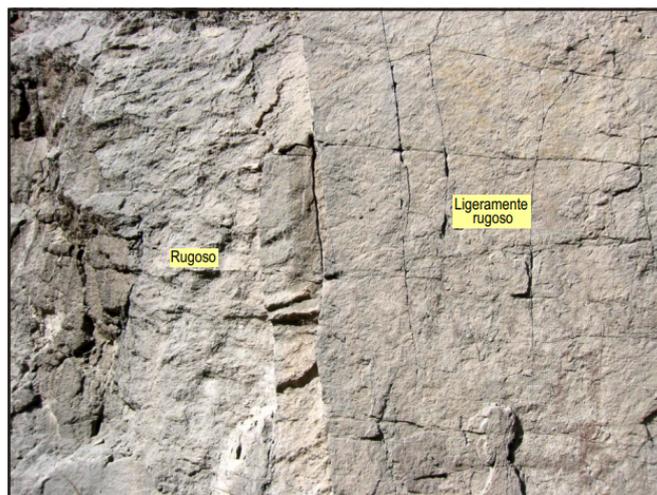
*Imagen 13 Persistencia*



➤ **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. (5 pág. 11)

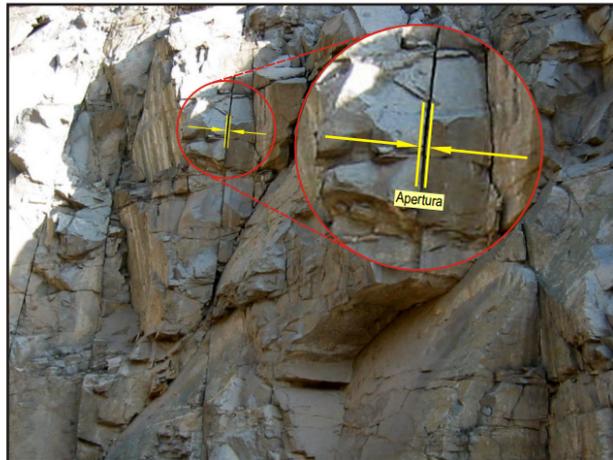
*Imagen 14 Rugosidad*



➤ **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. (5 pág. 12)

*Imagen 15 Apertura*



➤ **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. (5 pág. 12)

*Imagen 16 Relleno*



## 2.2.4 Clasificación de Barton et al. (1974)

### ➤ Definición del índice de calidad Q

En esta clasificación se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q, basado en los 6 parámetros siguientes:

- RQD “Rock Quality Designation”.
- Jn Número de familias juntas.
- Jr Rugosidad de las juntas.
- Ja Meteorización de las juntas.
- Jw Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua.
- SRF “Stress Reduction Factor”, factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

El primer cociente, RQD/Jn, representa el tamaño de los bloques.

Jr/Ja permite estimar la resistencia al corte entre bloques.

Jw/SRF indica el estado tensiones en el macizo rocoso.

*Tabla 2 Número de familias de Juntas. Jn*

Descripción	J <sub>n</sub>
▪ -Roca masiva	0,5-1
▪ Una familia de diaclasas	2
▪ Una familia y algunas juntas ocasionales	3
▪ Dos familias	4
▪ Dos familias y algunas juntas	6
▪ Tres familias	9
▪ Tres familias y algunas juntas	12
▪ Cuatro o más familias, roca muy fracturada, "terrones de azúcar", etc.	15
▪ Roca triturada terrosa	20
En boquillas, se utiliza 2 J <sub>n</sub> y en intersecciones de túneles 3 J <sub>n</sub>	

Tabla 3 Meteorización de las juntas. Ja

Descripción	J <sub>a</sub>	φ <sup>o</sup> r
* Contacto entre las dos caras de la junta.		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Junta sellada dura, sin reblandecimiento, impermeable, p.ej. cuarzo, paredes sanas.</li> </ul>	0.75	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caras de la junta únicamente manchadas.</li> </ul>	1	25-30
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla, etc.</li> </ul>	2	25-30
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible</li> </ul>	3	20-25
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, p.ej. caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito etc. y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 ó 2 mm</li> </ul>	4	8-16
* Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento.	J <sub>a</sub>	φ <sup>o</sup> r
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.</li> </ul>	4	25-30
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos, fuertemente sobre consolidados. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor.</li> </ul>	6	16-24
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sobre consolidación media o baja, reblandecimiento; rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor</li> </ul>	8	12-16
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rellenos de arcillas expansivas, p.ej. montmorillonita, de espesor continuo de 5 mm. El valor J<sub>a</sub> depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva</li> </ul>	8-12	6-12
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ésta ha sufrido un desplazamiento cortante.	J <sub>a</sub>	φ <sup>o</sup> r
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zonas o bandas de roca desintegrada o roca machacada y arcilla.</li> </ul>	6-8 u 8-12	6-24 6-24
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla, sin reblandecimiento Milonitos arcillosos gruesos</li> </ul>	5 10-13 ó 13-20	6-24 6-24 6-24

Tabla 4 Rugosidad de las juntas.  $J_r$

Descripción	$J_r$
* Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento cortante de menos de 10 cm	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Juntas discontinuas</li> <li>▪ Junta rugosa o irregular ondulada</li> <li>▪ Suave ondulada</li> <li>▪ Espejo de falla, ondulada</li> <li>▪ Rugosa o irregular, plana</li> <li>▪ Suave plana</li> <li>▪ Espejo de falla, plana</li> </ul>	4 3 2 1,5 1,5 1 0,5
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas se desplazan lateralmente	$J_r$
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zona conteniendo minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de la junta</li> <li>▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta</li> </ul>	1 1
NOTA: Si el espaciado de la familia de juntas es mayor de 3 m hay que aumentar el $J_r$ en una unidad. Para juntas planas con espejo de falla provisto de lineaciones, si éstas están orientadas en la dirección de mínima resistencia, se puede usar $J_r=0,5$	

Tabla 5 Agua en las juntas.  $J_w$

Descripción	J <sub>w</sub>	Presión agua kg/cm <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavaciones secas o de fluencia poco importante, p.ej. menos de 5 l/min localmente</li> <li>▪ Fluencia o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las juntas</li> <li>▪ Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas</li> <li>▪ Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas al dar las pegas, decayendo con el tiempo.</li> <li>▪ Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución</li> </ul>	1 0,66 0,33 0,1-0,2 0,05-0,1	<1 1-2,5 2,5-10 >10 >10
Los valores presentados con el signo * son sólo valores estimativos. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar $J_w$ . Los problemas causados por la formación de hielo no se consideran.		

Tabla 6 Tensiones en la excavación. S.R.F.

Descripción				
1. Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.			<b>SRF</b>	
A	Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).		10	
B	Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m).		5	
C	Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m).		2,5	
D	Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).		7,5	
E	Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m).		5	
F	Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad mayor de 50 m).		2,5	
G	Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).		5	
2. Rocas competentes, problemas de tensiones en las rocas.		<b><math>\sigma_c/\sigma_1</math></b>	<b><math>\sigma_t/\sigma_1</math></b>	<b>SRF</b>
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	>200	>13	2,5
J	Tensiones medias.	200-10	13-0,66	1,0
K	Tensiones altas, estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales).	10-5	0,66-0,33	0,5-2,0
L	Explosión de roca suave (roca masiva).	5-2,5	0,33-0,16	5-10
M	Explosión de roca fuerte (roca masiva).	<2,5	<0,16	10-20
$\sigma_c$ y $\sigma_t$ son las resistencias a compresión y tracción, respectivamente, de la roca; $\sigma_1$ es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca.				
3. Roca fluvente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.			<b>SRF</b>	
N	Presión de flujo suave.		5-10	
O	Presión de flujo intensa.		10-20	
4. Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.			<b>SRF</b>	
P	Presión de expansión suave.		5-10	
R	Presión de expansión intensa.		10-20	
Observaciones al SRF:				
i Reducir los valores del SRF en un 25-50% si las zonas de rotura sólo influyen, pero no intersectan a la excavación.				
ii En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura del mismo, se sugiere aumentar el SRF de 2,5 a 5 (ver H).				
iii Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , reducir $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a $0,8 \sigma_c$ y $0,8 \sigma_t$ ; cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , reducir $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a $0,2 \sigma_c$ y $0,6 \sigma_t$ , donde $\sigma_3$ es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca.				

Notas:

- Cuando no se dispone de sondeos, el RQD se estima a partir de afloramientos, mediante el índice volumétrico de juntas  $J_v$ , tal como se indicó en la clasificación de Deere.
- El parámetro  $J_n$  puede estar afectado por foliación, esquistosidad, laminaciones, etc. Sólo si estas juntas paralelas están suficientemente desarrolladas se contabilizan como una familia; si no, se contabilizan como juntas ocasionales.
- Se tomarán los valores de los parámetros  $J_r$  y  $J_a$  de la familia de juntas o discontinuidades rellenas de arcilla más débiles de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las juntas de orientación desfavorable, aunque no den el valor mínimo del cociente  $J_r/J_a$ .
- En rocas muy anisótropas, la resistencia a compresión simple de la roca,  $\sigma_c$ , y a tracción,  $\sigma_t$ , se evalúan en la dirección más desfavorable para la estabilidad de la estructura subterránea. (7 pág. 160)

*Tabla 7 Los rangos de variación de los parámetros son los siguientes:*

RQD	0 - 100
$J_n$	0,5 - 20
$J_r$	0,5 - 4
$J_a$	0,75 - 20
$J_w$	0,05 - 1
SRF	0,5 - 20

En la Tabla 7 se recogen los valores de  $\text{arc tg } (J_r/J_a)$  que da una idea de la resistencia media al corte de las discontinuidades. Se puede observar en esta tabla que los ángulos de fricción aumentan con la rugosidad en las juntas inalteradas con contacto directo entre sus

labios. Estas superficies tienen una fuerte dilatación cuando sufren esfuerzos cortantes, lo cual es muy favorable para la estabilidad de la excavación. Las juntas más desfavorables son las que no presentan contacto entre sus labios, por la presencia de rellenos.

Considerando los intervalos de variación de los valores que definen los seis parámetros del índice de calidad Q del macizo rocoso, se deduce que éste oscila entre 10-3 y 103. Según los valores de Q, se clasifican los macizos rocosos en nueve categorías (Tabla 8).

Tabla 8 Resistencia aproximada al corte a partir de los parámetros  $J_r$  y  $J_a$

(a) Contacto entre las dos caras de la Junta	$J_r$	arc tg ( $J_r/J_a$ )				
		$J_a=0,75$	1	2	3	4
A. Juntas discontinuas	4	79°	76°	63°	53°	45°
E. Rugosa, ondulada	3	76°	72°	56°	45°	37°
C. Suave, ondulada	2	69°	63°	45°	34°	27°
D. Espejo de falla ondulada	1,5	63°	56°	37°	27°	21°
E. Rugosa o irregular, plana	1,5	63°	56°	37°	27°	21°
F. Suave, plana	1	53°	45°	27°	18°	14°
G. Espejo de falla, plana	0,5	34°	27°	14°	9.5°	7.1°
(b) Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral	$J_r$	arc tg ( $J_r/J_a$ )				
		$J_a=4$	6	8	12	
A. Juntas discontinuas	4	45°	34°	27°	18°	
B. Rugosa, ondulada	3	37°	27°	21°	14°	
C. Suave, ondulada	2	27°	18°	14°	9.5°	
D. Espejo de falla, ondulada	1,5	21°	14°	11°	7.1°	
E. Rugosa o irregular, plana	1,5	21°	14°	11°	7.1°	
F. Suave, plana	1	14°	9.5°	7.1°	4.7°	
G. Espejo de falla, plana	0,5	7°	4.7°	3.6°	2.4°	
(c) No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ésta es cizallada	$J_r$	arc tg ( $J_r/J_a$ )				
		$J_a=6$		8	12	
. Zonas de roca machacada o desintegrada y arcilla	1	9,5°		7,1°	4,7°	
. Bandas de arcilla limosa o arenosa	1	$J_a=5$				
	1	11°				
. Bandas continuas y espesas de arcilla	1	$J_a=10$		13	20	
	1	5,7°		4,4°	2,9°	

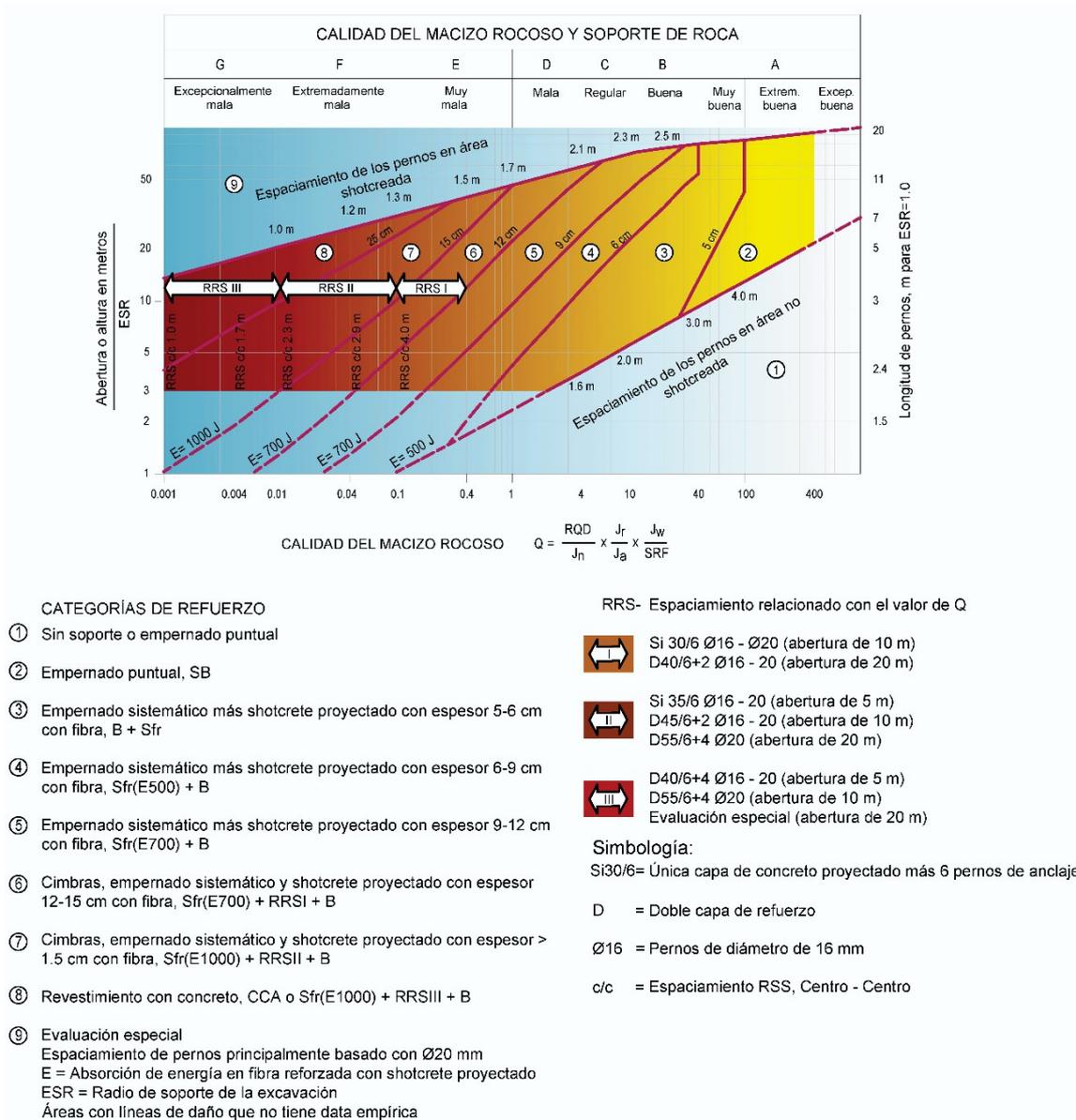
*Tabla 9 Clasificación de Barton et al. (1974) de los macizos rocosos. Tipos de macizos*

<b>Tipo de macizo</b>	<b>Valor de Q</b>
Excepcionalmente malo	$10^{-3} - 10^{-2}$
Extremadamente malo	$10^{-2} - 10^{-1}$
Muy malo	$10^{-1} - 1$
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

*Tabla 10 Valores supuestos de ESR según Barton*

<b>Tipo de excavación</b>	<b>ESR</b>
A: Excavación mineras provisionales	3-5
B: Excavación mineras permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles piloto (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
C: Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1.3
D: Cámaras de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1.0
E: Estaciones nucleoeeléctricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fabricas.	0.8

Imagen 17 Gráfico de Sostenimiento del Sistema Q



Fuente: Osinergmin (6 pág. 88)

### 2.1.1 Clasificación de Bieniawski sistema RMR

El sistema Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollado por Bieniawski, y clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena.

Las versiones más usadas son el RMR76 y el RMR89. Ambas incorporan la valoración de parámetros como:

- Resistencia de la Roca Intacta.

- RQD.
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Condición de discontinuidades.
- Agua subterránea.

*Tabla 11 Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989)*

<b>Descripción</b>	<b>RMR</b>	<b>Clase de Macizo Rocoso</b>
Roca Muy Buena	81 - 100	I
Roca Buena	61 - 80	II
Roca Regular	41 - 60	III
Roca Mala	21 - 40	IV
Roca Muy Mala	0 - 20	V

El puntaje total del RMR está definido por:

$RMR = (i) + (ii) + (iii) + (iv) + (v) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades}$  (6 pág. 25)

➤ El sistema Rock Mass Rating (RMR) es una referencia mundial para clasificar geomecánicamente el macizo rocoso. Desarrollado inicialmente por Bieniawski en 1973, posteriormente actualizado en 1989, fue nuevamente actualizado en 2014, modificándose los criterios de valoración e incorporando el efecto de la alterabilidad de la matriz rocosa por el agua, el cual ofrece un enfoque más acertado para calificar al macizo rocoso. La estructura del RMR14 se basa en la suma de cinco parámetros:

### A) Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta

Tabla 12 Puntuación de la resistencia a la compresión simple de la roca

Descripción	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Ensayo de carga puntual (MPa)	Valoración
Extremadamente dura	> 250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25	< 1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	< 1		0

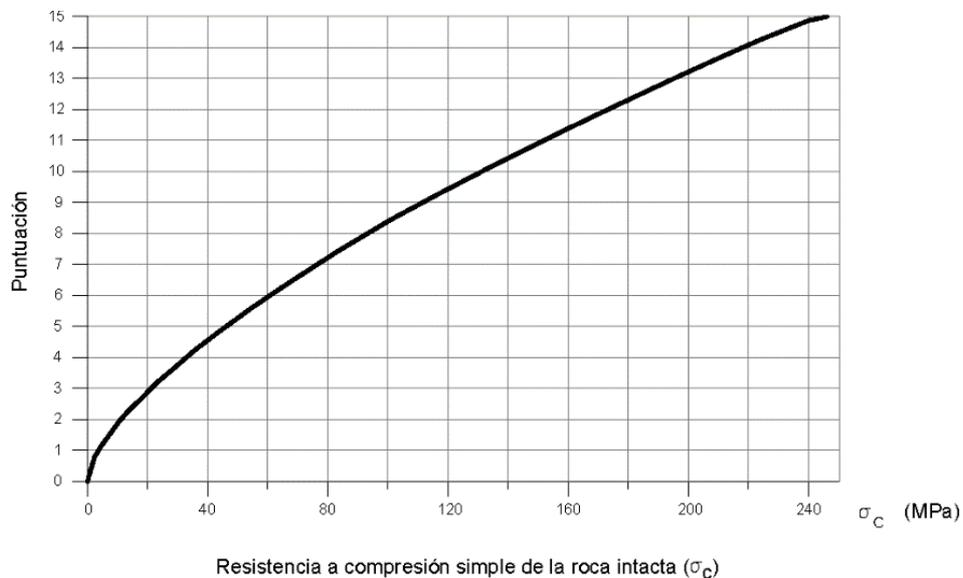


Imagen 18 Gráfico para la puntuación de la resistencia a la compresión simple de la roca intacta ( $\sigma_c$ )

## B) Índice de calidad RQD (%)

Tabla 13 Puntuación del Índice de calidad RQD (%)

Índice de calidad RQD (%)	Calidad	Valoración
0 – 25	Muy mala	3
25 – 50	Mala	8
50 – 75	Regular	13
75 – 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

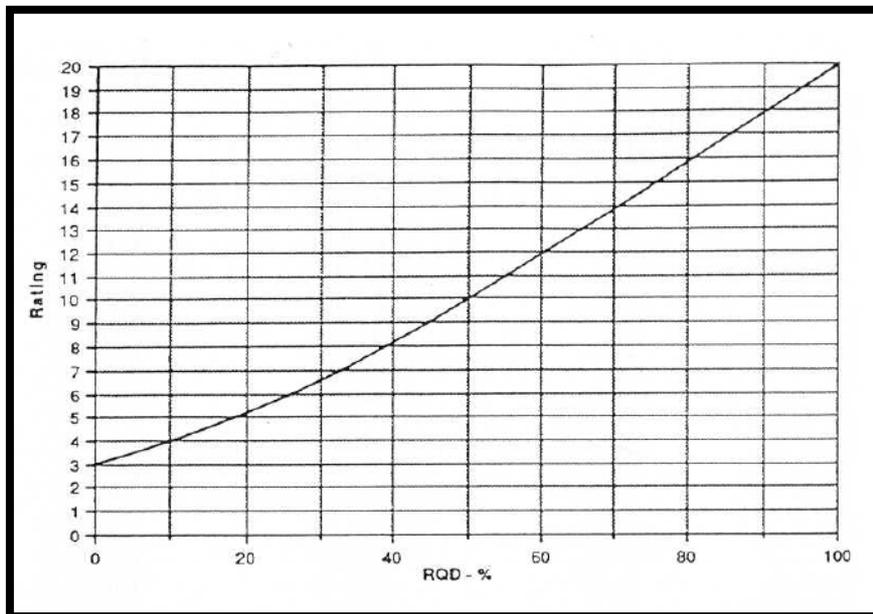


Imagen 19 Gráfico para la puntuación del Índice de calidad RQD (%)

## C) Número de juntas por metro

Tabla 14 Puntuación del número de discontinuidades por metro

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	>2m	Sólido	20
Separadas	0.6 – 2m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 – 600 mm	En bloques	10
Juntas	60 – 200 mm	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm	Machacado	5

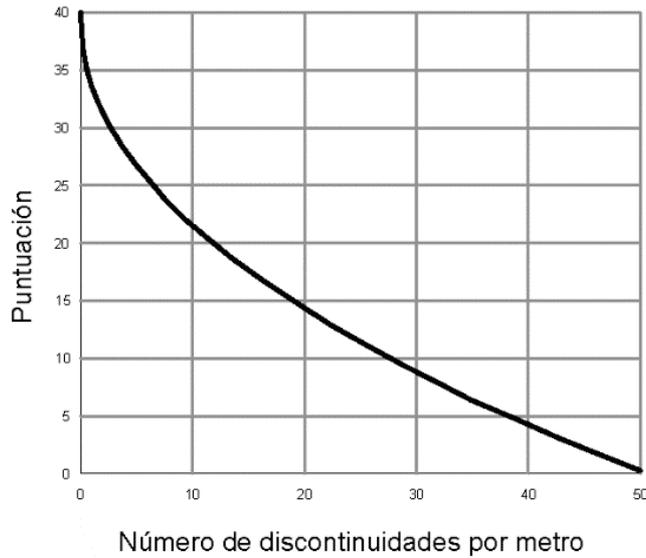


Imagen 20 Gráfico para la puntuación del número de discontinuidades por metro

#### D) Efecto del agua

Tabla 15 Puntuación de la presencia de agua en el frente

Caudal por 10m de túnel	Relación presión agua	Descripción	Valoración
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	< 0.1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0.1 – 0.2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0.2 – 0.5	Goteando	4
>125 litros/min	> 0.5	Fluyendo	0

#### E) Resistencia de las discontinuidades

Tabla 16 Puntuación para la abertura de las discontinuidades

Grado	Descripción	Separación de las caras	Valoración
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1
3	Cerrada	0.1 – 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0.1 mm	5
5	Ninguna	0	6

*Tabla 17 Puntuación para la continuidad o persistencia de las discontinuidades*

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Continuidad</b>	<b>Valoración</b>
1	Muy baja	< 1 m	6
2	Baja	1 – 3 m	4
3	Media	3 – 10 m	2
4	Alta	10 – 20 m	1
5	Muy alta	> 20m	0

*Tabla 18 Puntuación para la alteración de las discontinuidades*

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	Muy alterada	6

*Tabla 19 Puntuación para la rugosidad de las discontinuidades*

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

*Tabla 20 Puntuación para el relleno de las discontinuidades*

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5 mm	1
3	Duro > 5 mm	2
4	Duro < 5mm	4
5	Ninguno	6

## F) Orientación de las discontinuidades

Tabla 21 Puntuación para corrección por orientación de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo
Avance con el buzamiento		Avance en contra del buzamiento		Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	
Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°			
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Regular
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

Tabla 22 Valoración para túneles y minas

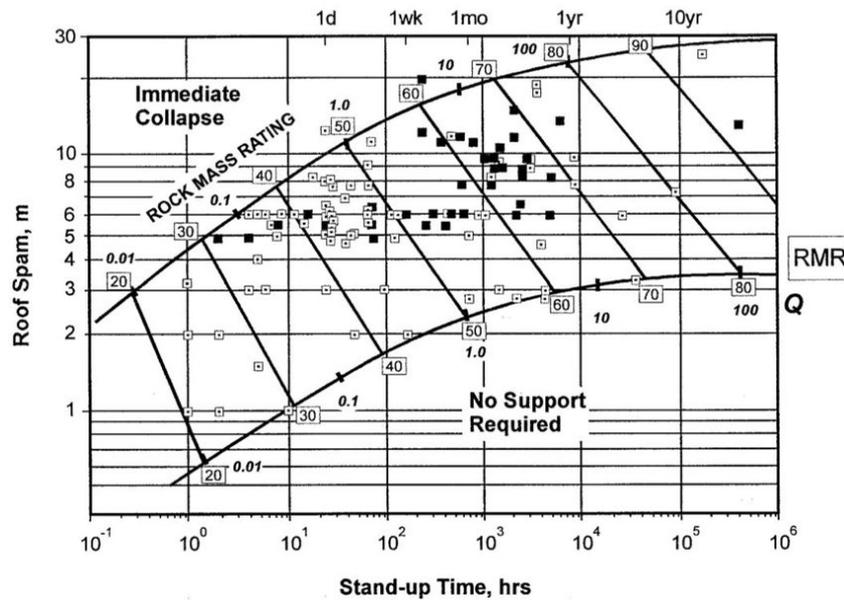
Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

## G) Calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR

Tabla 23 Puntuación para la calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 - 81	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80 - 61	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°
III	Regular	60 - 41	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	25°-35°
IV	Mala	40 - 21	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	15°-25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

imagen 21 Tiempo de auto sostenimiento de acuerdo al RMR (Bieniawski 1989)



Fuente: Osinergmin (6 pág. 80)

Tabla 24 Sostenimiento para el RMR

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm) de diámetro, inyectados	Soporte con concreto armado	Costillas
I. Roca Muy Buena RMR: 81-100	A sección completa. 3 m. de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II. Roca Buena RMR: 61-80	A sección completa 1-1.5 m de avance. Soporte completo a 20 m del frente.	Pernos en la corona de 3 m. de longitud espaciados a 2.5 m malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III. Roca Regular RMR: 41-60	Frente superior y destroza, 1.5-3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura Soporte completo a 10 m del frente	Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5-2 m en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV. Roca Pobre RMR: 21-40	Frente superior y destroza, 1 – 1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente	Pernos sistemáticos, 4- 5 m de longitud, espaciados 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla.	100 – 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 m a donde se requiera.
V. Roca Muy pobre, RMR:< 20	Múltiples galerías 0.5-1.5 m. de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5-6 m. de longitud, espaciados 1- 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m con planchas de acero y tablestacas si se requiera.

## 2.2 Definición de términos básicos

### ➤ **Agua subterránea**

En sentido lato toda el agua del subsuelo en contraposición con el agua superficial. En sentido estricto es sinónimo de agua freática (8 pág. 10)

### ➤ **Brecha de falla**

Conjunto de fragmentos de roca que se encuentra frecuentemente en las zonas de falla. El tamaño de los fragmentos puede variar en el intervalo de centímetros a decímetros (8 pág. 27)

### ➤ **Bulón**

Barra de acero utilizada en trabajos de estabilización de taludes. (8 pág. 27)

### ➤ **Buzamiento**

Ángulo que hace una superficie estructural con la horizontal, medido sobre el plano vertical y perpendicularmente a su rumbo o dirección. (8 pág. 27)

### ➤ **Esfuerzo in situ**

Esfuerzo a que está sometido un terreno antes de ser excavado. Cf. Presión geostática. (8 pág. 84)

Factor de seguridad:

- Relación numérica entre: a) la resistencia última de un material, b) el esfuerzo admisible o de trabajo.
- Relación numérica entre a) la capacidad teórica de soporte, b) la capacidad admisible de soporte, o, alternativamente, el esfuerzo de contacto.

- En estabilidad de laderas, relación numérica entre: a) las fuerzas o momentos resistentes, y b) las fuerzas o momentos en una masa de suelo. (8 pág. 93)

➤ **Falla:**

- Condición en la que el movimiento producido por fuerzas de cortante en una masa de suelo o de roca, o en una estructura, es de suficiente magnitud para destruirla o dañarla. Rotura de un cuerpo por la acción de un esfuerzo mayor que la resistencia del material que lo forma. Se aplica también a la deformación excesiva de un cuerpo por efecto de la aplicación de una carga.
- Fractura o zona de fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual ha habido un desplazamiento relativo de los bloques resultantes; este desplazamiento puede tener desde unos pocos centímetros hasta muchos kilómetros. Las fallas están asociadas a procesos geológicos de gran escala y no deben ser confundidas con fallas locales del terreno para los cuales se recomienda la expresión falla geotécnica o el término genérico movimientos de masa cuando sea aplicable (8 pág. 94)

➤ **Junta**

Discontinuidad en un macizo rocoso. Este término genérico comprende diaclasas, fallas y planos de estratificación como elementos de discontinuidad. (8 pág. 117)

➤ **Masa rocosa**

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

Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. (5 pág. 3)

➤ **Meteorización biológica**

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

➤ **Meteorización física**

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

➤ **Meteorización química**

Origina la decoloración de la roca hasta la descomposición de la misma.

➤ **Roca**

Agregado natural de minerales. Material mineral sólido que se encuentra en grandes masas o fragmentos. (8 pág. 176)

➤ **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. (5 pág. 2)

➤ **Rumbo**

Dirección de una línea medida respecto al norte o sur verdadero. Es costumbre limitar la medida hasta noventa grados y referirla en términos de la desviación de la dirección respecto el norte o el sur hacia el este o el oeste: N30E, S18W, N45W, etc.

Dirección de una superficie estructural definida como la dirección de la línea de intersección de la superficie con un plano horizontal. Cf. Buzamiento (8 pág. 179)

## **CAPITULO 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 se seguirán pasos 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, debido a que en una primera instancia se aplicara los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema para la construcción del taller de mantenimiento.

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

El nivel de investigación correlacional, el propósito consiste en buscar la causa efecto que se generan en el problema para la construcción del taller de mantenimiento.

### **3.1.4 Diseño de investigación**

La investigación es no experimental, debido que para la construcción del taller de mantenimiento mediante un estudio geomecánica no se manipulara la variable independiente.

## **3.2. Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

La población está conformada por el nivel 870, mina Cachi Cachi, unidad minera Yauricocha.

### **3.2.2 Muestra**

La muestra censal está conformada por el nivel 870, mina Cachi Cachi, unidad minera Yauricocha.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Introducción**

Sociedad Minera Corona S.A., viene realizando actividades de extracción de minerales polimetálicos de Ag, Pb, Cu y Zn en su Mina, manteniendo los controles de seguridad requeridos para la realización de las actividades dentro del marco de los parámetros establecidos por los órganos de control gubernamentales. Para ello, la empresa requiere, la evaluación geomecánica del taller de mantenimiento del NV 870 de Mina Cachi cachi, tomando en cuenta la importancia de la infraestructura de mina como labor de carácter permanente se debe de realizar el estudio geomecánico de estabilidad de pilares y estabilidad de sección típica, así como determinar los parámetros mecánicos del macizo rocoso, caracterización de masa rocosa, litología y zonificación geomecánica, bajo estos parámetros se determinará entre otros el sostenimiento requerido para garantizar la estabilidad de la excavación.

La metodología, las técnicas y los métodos de cálculo utilizados en este trabajo, corresponden a estándares internacionalmente aceptados para aplicaciones de la mecánica de rocas a excavaciones rocosas. Particularmente, para la caracterización de la masa rocosa, se han seguido las normas sugeridas por ISRM (International Society for Rock Mechanics); para establecer la calidad de la masa rocosa, se ha utilizado el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), para estimar las propiedades de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa se utilizaron también las normas sugeridas por la ISRM, los esfuerzos in-situ fueron estimados utilizando el criterio de carga litostática y el criterio de Sheorey (1994).

En los análisis de diseño se ha integrado toda la información mencionada en el párrafo anterior, utilizando métodos de cálculo adecuados seleccionados de las alternativas disponibles. Como resultado de los análisis realizados se entregan las recomendaciones de sostenimiento para el control de la estabilidad de la cámara para el taller de mantenimiento.

#### **4.1.1 Ubicación**

Yauricocha está ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes en la zona central del Perú, políticamente está situado en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, región de Lima, su ubicación geográfica está definido por las coordenadas:

- 12°18' Latitud Sur.
- 75°45' Longitud Oeste.

Y ubicándose dentro de las siguientes coordenadas UTM.

<b>Norte</b>	<b>Este</b>
8'647,000	431,000
8'628,000	417,000

*Tabla 25 Coordenadas UTM*

Fuente: (Sociedad Minera Corona S.A.C, 2013)

#### **4.1.2 Accesibilidad**

La comunicación con Lima tiene dos vías principales de acceso; una a través de Lima-La Oroya-Pachacayo-Yauricocha con 330 Km. de recorrido, de los cuales 310 son asfaltados y la vía más inmediata a través de Cañete-Llapay-Yauricocha con 349 km.

<b>De</b>	<b>A</b>	<b>Distancia (Km)</b>
Lima	Cañete	168
Cañete	Llapay	145
Llapay	Laraos	7
Laraos	Tomas	9
Tomas	Tinco	10
Tinco	Yauricocha	10
<b>Total</b>		<b>349</b>

*Tabla 26 Trayectoria de Lima - U.A. Yauricocha Fuente: (Sociedad Minera Corona S.A.C, 2013)*

#### **4.1.3 Topografía y altitudes**

El yacimiento minero de Yauricocha, se encuentra ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes, presenta un relieve muy accidentado con escarpas y cumbres elevadas, en algunos casos cubiertos con nieves perpetuas.

En la actual topografía, indudablemente ha jugado un papel importante la intensa glaciación (Pleistoceno) a que ha sido sometido, quedando como testigos los valles típicos en "U", circos glaciares,

lagunas escalonadas como: Yauricocha, Uñascocha y Acococha ubicadas al sur de la mina, fuera del área de estudio.

En el modelado de la superficie también ha jugado un rol importante la distribución litológica, es decir los afloramientos de intrusivos, calizas y lutitas, se nota claramente como las rocas más débiles han sido erosionadas con mayor fuerza, representadas por depresiones como la Quebrada Chumpe.

La Mina Central se ubica a una altitud de 4,600 m.s.n.m. a las faldas del Cerro Huamanripa como elevación más importante, sobrepasando los 4,700 m.s.n.m.

#### **4.1.4 Clima y vegetación**

La zona presenta un clima frígido propio de la región Puna con temperaturas entre -3°C y 13°C.

Se presentan dos estaciones marcadas al año: la de lluvias abundantes que comprenden los meses de diciembre a abril y el periodo de estío de mayo a noviembre, de días mayormente límpidos y helados.

La fauna oriunda de la zona, está constituido principalmente por auquénidos como: llamas, alpacas, guanacos, así como también roedores, vizcachas, patos silvestres y aves de rapiña. La vegetación es típica de puna, cubierta por pocos pastizales de Ichu.

#### **4.1.5 Recursos naturales**

Yauricocha, es un distrito minero por tradición, cuenta con mano de obra calificada para operaciones mineras. Los recursos alimenticios

principalmente provienen de las localidades de Huancayo y Yauyos, mientras que los recursos madereros de zonas de la selva.

Además, se tiene depósitos detríticos que son utilizados como material de relleno, por el método de explotación, en algunas labores.

#### **4.1.6 Geología del yacimiento**

##### **➤ Geomorfología.**

La erosión Pliocénica de la superficie es claramente reconocible en el ondulado campo abierto al NE de la divisoria Continental, mientras que al Sur Oeste el terreno se encuentra dividido por profundos valles y cañones y aun así las reliquias de la erosión superficial se encuentran marcadas por picos con un promedio de 5,000 m.s.n.m.

Los valles arriba de los 4,000 metros, muestran los efectos de la glaciación pleistocénica. Morrenas laterales y terminales, valles en forma de “U”, valles colgados y lagunas excavadas por glaciares se encuentran bien desarrollados.

#### **4.1.7 Geología local de mina Yauricocha.**

La secuencia litológica local, expuesta en el área de la mina está dada por:

##### **➤ Formación Jumasha**

La formación Jumasha del Cretáceo Medio (Turoniano), con espesor promedio de 700 m consistente de caliza masiva de color gris claro. En la base, cerca al contacto con las areniscas, incluye intercalaciones de lutitas carbonosas.

➤ **Formación Celendín**

Sobreyaciendo concordantemente a las calizas Jumasha se encuentra la formación Celendín; formada por lutitas silicificadas finamente estratificada con intercalaciones de caliza recristalizada, calizas arcillosas, de edad Santoniana (cretácico superior). Su espesor promedio, en el área de Yauricocha, es de 400 metros.

A esta unidad que anteriormente se le consideraba como estratos inferiores de las capas rojas Casapalca, localmente se le ha denominado France Chert.

➤ **Capas Rojas Casapalca**

Esta formación sobreyace concordantemente a la formación Celendín siendo su contacto gradacional. Se le ha asignado una edad entre el Cretáceo Superior y el Terciario Inferior, ya que la ausencia de fósiles no permite datarla con exactitud. Está constituida principalmente por lutitas rojas calcáreas, calizas puras y calizas arenosas rojizas, ocasionalmente se ha reportado la presencia de flujos de lava y capas tufáceas. En el camino a Chumpe, es posible observar las Capas Rojas, la que presenta un rumbo N25°W y buzamientos de 75° al SW.

➤ **Stock Yauricocha**

El stock granodiorítico de Yauricocha, es de forma irregular, su superficie cubre aproximadamente 6 km<sup>2</sup>, parte del contacto está controlado por la litología, siguiendo los planos de estratificación. A lo largo de su contacto, al cortar a unidades de la formación Celendín, se encuentran afectadas por el metamorfismo a hornfels

(France Chert), las capas rojas están afectadas a cuarcitas y hornfels, las calizas Jumasha, solo sufren un moderado blanqueamiento y marmolización.

La granodiorita es de color gris (zona de alteración) a gris rosáceo (zona inalterada), más o menos equigranular y de grano medio. El color en superficie de intemperismo se ve grisáceo con pátinas y/o impregnaciones de óxidos de fierro. Macroscópicamente, se observa fenocristales de plagioclasas, anfíboles, biotitas y trazas de magnetita.

Al SW de la falla Yauricocha entre las localidades, El Paso, Éxito Ipillo y San Valentín, aflora otro cuerpo Intrusivo de composición granodiorítica, grano fino a medio, equigranular, de color gris a gris rosáceo, macroscópicamente se observan fenocristales de plagioclasas, hornblendas, biotitas, magnetita en trazas, dots y vetillas de epidota (albita pervasiva). En superficie de intemperismo adquiere un color grisáceo.

➤ **Metamorfismo**

Todas las masas intrusivas han producido aureolas de metamorfismo en las rocas encajonantes; la extensión, tipo y grado de metamorfismo varía grandemente con los diferentes tipos de roca. Las rocas se convierten en cuarcitas, lutitas hornfésicas y calizas recristalizadas. Las aureolas metamórficas que rodean las intrusiones son de diferente extensión. El blanqueamiento de las lutitas se extiende más allá de la zona de los silicatos cálcicos:

mientras que las calizas Jumasha son recristalizadas y blanqueadas por distancias bien cortas.

Localmente las emanaciones que escapan del intrusivo han producido en ciertos casos zonas angostas de: 1,00 m. - 3,00 m de skarns y otros de 30,00 m a 50,00 m las que realmente son parte integral de la intrusión, siendo en este caso intrusivo contaminado en vez de caliza alterada. En estas zonas de skarns se han desarrollado epidota, zoisita, tremolita, wollastonita, flogopita, granate, clorita y diópsido.

#### **4.1.8 Mineralización.**

La mineralización presente en el depósito mineral de Yauricocha está formada principalmente por Cuerpos mineralizados, cuya mineralización está conformada por: pirita, cuarzo, enargita, calcopirita, bornita, covelita en el núcleo y parte central de los cuerpos; y masas sueltas de pirita friable, galena, esfalerita junto con algo de calcopirita en una ganga de calizas, arcilla y cuarzo en la periferia. Asimismo, la presencia de Au nativo se halla asociado a dichos sulfuros.

##### **➤ Enriquecimiento Supergénico y Oxidación**

La oxidación de los cuerpos mineralizados en Yauricocha es de parcial a completa y va desde superficie hasta por debajo del nivel 720. El enriquecimiento supergénico de sulfuros guarda estrecha relación con la distribución de los óxidos.

La covelita, calcocita y digenita de origen supergénico se encuentra donde los sulfuros están en contacto con los óxidos.

Óxidos Residuales: Entre los minerales presentes en los óxidos formados "in-situ", se puede mencionar a la limonita; goethita, jarosita, hematita, cuarzo, yeso, anglesita, caolín, oro y plata. Con excepción de los óxidos residuales de los cuerpos mineralizados Mascota y Pozo Rico que se extienden desde superficie hasta por debajo del nivel 720. En general, los óxidos van hasta una profundidad de 10 a 15 m.

Óxidos Transportados: estos óxidos están completamente libres de cuarzo y entre ellos se encuentra: cuprita cobre nativo, malaquita, azurita, brocantita, jarosita, cerusita, crisocola y óxido de manganeso. Estos óxidos transportados siguen la caja piso de los cuerpos mineralizados se les puede encontrar desde superficie hasta por debajo del Nivel 720, se encuentran rellenando cavidades Cársticas.

#### **a) Controles de mineralización**

##### **➤ Control estructural**

Es sabido que los pliegues que pasan por el área de Yauricocha, muestran que el rumbo de sus ejes ha rotado en plano horizontal unos 30°, como resultado de esta rotación tres sistemas principales de cizalla y juntas se han desarrollado con rumbo de E-W y NW-SE y NE-SW. El primer sistema es casi vertical, mientras que el segundo tiene buzamiento de 70° al NE debido a la influencia de los estratos en la dirección del cizallamiento y 75° SE los terceros. La gran mayoría de los cuerpos mineralizados se encuentran siguiendo el cizallamiento NW-SE.

Es muy probable que los cuerpos estén marcando la dirección del rumbo del cizallamiento que son más definidos en profundidad, hecho este que se constata en los niveles más profundos de la mina. Es muy posible que los cuerpos puedan tener su posición controlada en profundidad por la intersección del cizallamiento persistente NE-SW y E-W.

Visto en planta la posición de los cuerpos a emplazarse paralelos a estas dos direcciones de cizallamiento y junturamiento. Además, dos hechos corroboraron lo dicho anteriormente; el bandeamiento de la piritita dentro de los cuerpos mineralizados y la presencia de algunas vetas con ambas direcciones encontradas dentro de los intrusivos, Caliza Jumasha y France Chert.

El contacto de la caliza Jumasha - France Chert ha influenciado fuertemente en la forma y posición de los cuerpos Cuye y Catas. Este contacto tiene un rumbo de NW a SE y buza entre 85° y 70° al NE.

➤ **Control físico-químico:**

La preferencia por la caliza mostrada por los cuerpos es bien marcada, aunque cuerpos discontinuos tipo vetas también se encuentran en la caliza y en la granodiorita. Todos los cuerpos conocidos que tienen cobre se encuentran dentro de la aureola de recristalización de la caliza bordeando a las intrusiones de granodiorita y solamente cuerpos de Pb-Zn se han encontrado en caliza recristalizada. La susceptibilidad al reemplazamiento

de la caliza es aumentada por el fracturamiento acentuado y el tamaño más grande de los cristales de calcita, consecuentemente no es sorprendente que los cuerpos grandes se encuentran dentro de la aureola de caliza recristalizada y donde los tipos de rocas difieren en competencia. Como él.

Contacto Caliza - France Chert - Intrusivo.

## 4.2. Caracterización geomecánica del macizo rocoso

### 4.2.1 Caracterización de la masa rocosa

Para determinar la caracterización de macizo rocoso se utilizó la valoración del criterio de clasificación de masa rocosa de Bieniawski 1989 (RMR'89), tomando los siguientes parámetros.

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturamiento en términos de RQD.
- Espaciado de discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Presencia de agua subterránea.
- Orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

De acuerdo a la incidencia de estos parámetros se expresa la condición de la excavación con un índice que varía de 0 a 100 denominado RMR.

*Tabla 27 Criterio para la clasificación de la masa rocosa*

	<b>Rango</b>	<b>Rango Q</b>	<b>Calidad según</b>
II	> 60	> 5.92	Buena
IIIA	51 – 60	2.18 – 5.92	Regular A
IIIB	41 – 50	0.72 – 1.95	Regular B
IVA	31 – 40	0.24 – 0.64	Mala A
IVB	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B
V	< 21	<0.08	Muy Mala

Según este criterio, la calidad de la masa rocosa encontrada en el proceso de construcción de la cámara es de tipo III-B con rango de RMR entre 41-50.

*Tabla 28 Porcentajes de ocurrencia de calidades de masa rocosa*

<b>Tipo de roca</b>	<b>Rango</b>	<b>Calidad según</b>	<b>Ocurrencia</b>	<b>Longitud(m)</b>
IIIB	41 – 50	Regular B	100 %	avance

Tabla 29 Valoración de calidad de macizo rocoso en base al RMR'89 (Bieniawski 1989)

LABOR	CX6631NE	EJECUTADO												
Nivel / Zona	ZONA III	FECHA												
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKY RMR'89)														
PARAMETRO		RANGO DE VALORES							H. D.	H. I.	FRENTE			
R. COMPRES. UNIAX (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12	12	12		
RQD (%)	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	75 - 50	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	13	13	13	
ESPACIAMIENTO (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	8	8	8	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m long	(6)	1 - 3 m long.	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20m	(0)	2	2	2
	APERTURA	Cerrada	(6)	<0.1 mm apert.	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	1	1	1
	RUGOSIDAD	Muy Rugoso	(6)	Rugoso	(5)	Lig. Rugoso	(3)	Lisa	(1)	Espejo de Falla	(0)	3	3	3
	RELLENO	Limpia	(6)	Duro<5 mm	(4)	Duro>5 mm	(2)	Suave < 5 m	(1)	Suave > 5mm	(0)	1	1	1
	INTEMPERIZACION.	Sana	(6)	Lig. Intemp.	(5)	Mod. Intemp.	(3)	Muy Intemp	(2)	Descompuesta	(0)	5	5	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco	(15)	Húmedo	7	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	7	7	4	
VALORACION TOTAL RMR BASICO (Suma de valoraciones 1 a 5)										RMR BAC.	RMR BAC.	RMR BAC.		

DIRECCION Y BUZAMIENTO	Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable	52	52	49
TUNELES	0	-2	-5	-10	-12	10	10	5
CLASE DE MACIZO ROCOSO						RMR AJ.	RMR AJ.	RMR AJ.
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	42	42	44
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			
RMR PROMEDIO						43		

Tabla 30 Valoración de calidad de macizo rocoso en base al RMR'89 (Bieniawski 1989)

<b>LABOR</b>	CX6631NE	<b>EJECUTADO</b>												
<b>Nivel / Zona</b>	ZONA III	<b>FECHA</b>												
<b>VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKY RMR'89)</b>														
<b>PARAMETRO</b>		<b>RANGO DE VALORES</b>							<b>H. D.</b>	<b>H. I.</b>	<b>FRENTE</b>			
R. COMPRE. UNIAX (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12	12	12		
RQD (%)	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	75 - 50	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	13	13	13	
ESPACIAMIENTO (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	8	8	8	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m long	(6)	1 - 3 m long.	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20m	(0)	2	2	2
	APERTURA	Cerrada	(6)	<0.1 mm apert.	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4	4	4
	RUGOSIDAD	Muy Rugoso	(6)	Rugoso	(5)	Lig. Rugoso	(3)	Lisa	(1)	Espejo de Falla	(0)	3	3	3
	RELLENO	Limpia	(6)	Duro<5 mm	(4)	Duro>5 mm	(2)	Suave < 5 m	(1)	Suave > 5mm	(0)	1	1	1
	INTEMPERIZACION.	Sana	(6)	Lig. Intemp.	(5)	Mod. Intemp.	(3)	Muy Intemp	(2)	Descompuesta	(0)	5	5	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco	(15)	Húmedo	7	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	10	10	10	
<b>VALORACION TOTAL RMR BASICO (Suma de valoraciones 1 a 5)</b>										<b>RMR BAC.</b>	<b>RMR BAC.</b>	<b>RMR BAC.</b>		

DIRECCION Y BUZAMIENTO	Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable	58	58	58
TUNELES	0	-2	-5	-10	-12	10	10	5
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>						<b>RMR AJ.</b>	<b>RMR AJ.</b>	<b>RMR AJ.</b>
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	48	48	53
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	49		
<b>RMR PROMEDIO</b>						49		

La litología involucrada en la excavación es de tipo intrusivo granodiorita, propiedades de acuerdo al mapeo geomecánico del CX6631NE y SW son las siguientes:

- Resistencia de la roca en promedio 146 MPa, con ligera alteración
- RQD: 50-75%.
- Espaciamiento de discontinuidades: muy fracturada entre 0.06 a 0.20m
- Separación de discontinuidades: espaciadas entre 1 – 5.0 mm
- Rugosidad de planos de fractura: ligeramente rugosa
- Relleno de discontinuidades: presencia de clorita y cerecita
- Grado de alteración: Ligeramente alterada
- Agua subterránea: Condición de mojado en hastiales y goteo constante en corona,

En otras áreas excavadas para esta infraestructura la condición presente es de húmedo a seco, por lo que el factor condicionante por infiltración de agua es de categoría bajo, por tanto, las excavaciones se mantienen más estables.

#### **4.2.2 Zonificación geomecánica de la masa rocosa**

La zonificación de la masa rocosa se realizó mediante la clasificación GSI de Hoek y RMR de Bieniawski.

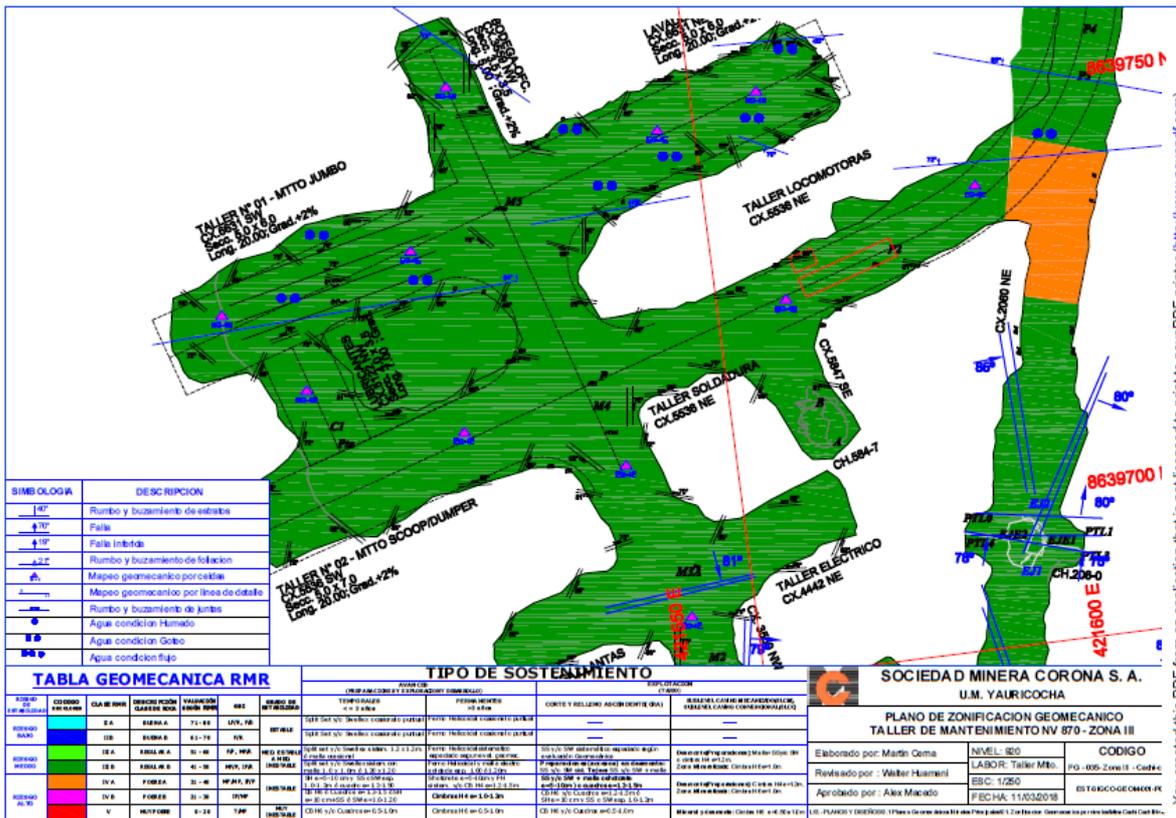


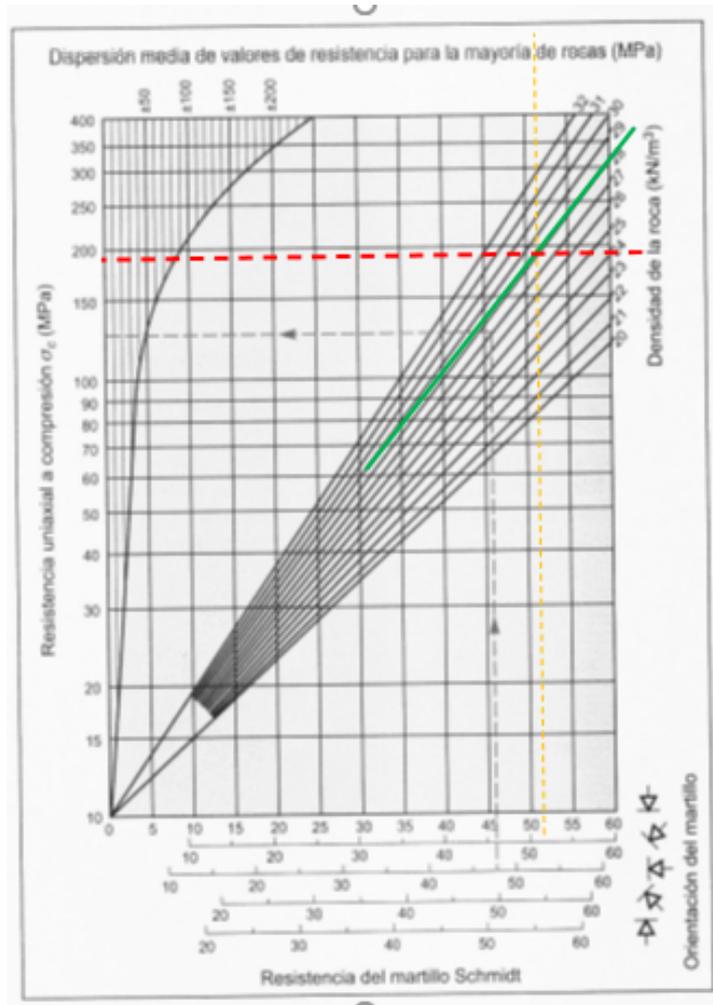
Imagen 22 Plano de Zonificación Geomecánica Polvorín NV870 zona III-cuerpo escondida

#### 4.2.3 Resistencia de la roca

La resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta y módulo de Young, se ha estimado a partir de las correlaciones de ensayos de constantes elásticas realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería, cumpliendo las normas ASTM D7012, obteniéndose valores de 171.5 MPa y 21.75 GPa respectivamente, así mismo se ha realizado las correlaciones para la determinación de la resistencia de la roca en campo usando el esclerómetro de rebote, con promedio de 51 rebotes en 24 estaciones, y se consideró la densidad de la roca en condición seca con valoración de 2.65gr/cm<sup>3</sup> equivalente a 26.5 TN/m<sup>3</sup>, obteniéndose 140 Mpa. Con el ábaco del Martillo Schmidt, (ver fig. 2),

para los análisis de estabilidad de la excavación se va trabajar con la resistencia promedio, de los datos anteriores 156 MPa.

Según la tabla GSI, la calidad del macizo rocoso dentro de la proyección es de MF/R y RMR Básico en rango de 51-60.



*imagen 23 Abaco de Martillo Schmidt, para determinar la resistencia de la roca*

Cálculo de resistencia y parámetros por condición, calidad y grado de disturbancia de la roca por el modelo generalizado de Hoek.

La data ingresada a este modelo fue:

$$\text{RMR}89 > 23 \rightarrow \text{GSI} = \text{RMR}89 - 5$$

$$\text{RMR} = 55$$

$$\text{GSI} = 55 - 5 = 50$$

Resistencia a la Compresión Uniaxial	156 Mpa.
GSI	50
Mi	29
Factor de disturbancia	0.8

Los datos obtenidos son:

Mb	1.479
S	0.0005
a	0.506
Cohesión (MPa)	2.352
Angulo de Fricción	43.46°
Módulo de deformación del Macizo Rocoso (MPa)	6000.00

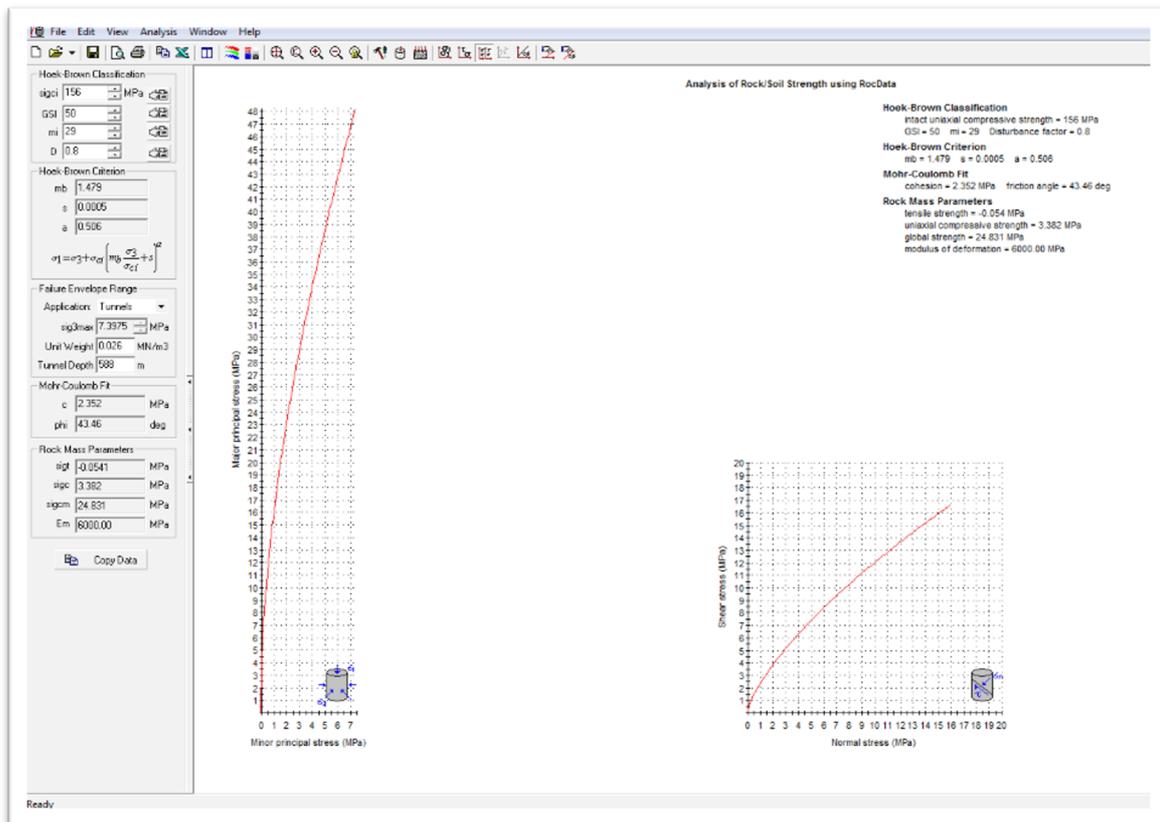


imagen 24 Hoja Rock Data, cálculo de parámetros de macizo rocoso

#### 4.2.4 Cálculo de esfuerzos in situ

- Esfuerzos de estado gravitacional
- Esfuerzo Vertical  $\delta v = \delta h$

- Dónde:
- $\delta v$ : Es el esfuerzo vertical
- $\rho$ : Densidad de la roca (0.0265 MN/m<sup>3</sup>)
- z Profundidad (588 m)

**Desarrollando la ecuación se tiene:**

- $\delta v = 15.60$  MPa
- Esfuerzo Horizontal  $\delta h = k \delta v$
- Donde:
- $\delta h$ : es el esfuerzo horizontal
- k: Ratio =  $\delta v / \delta h$
- $\delta v$ : Esfuerzo vertical.

**Desarrollando la ecuación se tiene:**

- $\delta h = 10.30$  MPa.

**Para la estimación del Ratio K se usó la ecuación de Sheorey:**

- $k = 0.25 + 7E (0.001 + 1/z)$
- Donde:
- E = Modulo Elástico (GPa), (21.75)
- z = Profundidad, (588 m)
- Obteniéndose un K = 0.66

La densidad del overburden propuesta en el modelo es de 0.0265 MN/m<sup>3</sup>.

**Cálculo de esfuerzos inducidos**

Para el cálculo de los esfuerzos inducidos se ha utilizado el Método Numérico de Elementos Finitos contenido en el Software Phases 2.0, se ha considerado la Granodiorita como litología predominante.

Los datos ingresados en el presente modelo son:

*Tabla 31 Datos de esfuerzos insitu, parámetros elásticos y de resistencia*

<b>Esfuerzos insitu</b>	
Profundidad (m)	588
Esfuerzo vertical (MPa)	15.60
Esfuerzo horizontal (MPa)	10.30
Constante K	0.66
<b>Parámetros elásticos de la roca</b>	
Módulo de Young (MPa)	21750
Indicé de Poisson	0.21
Tipo elástico	Isotrópico
<b>Parámetros de resistencia</b>	
Criterio de falla	Hoek y Brown generalizado
Resistencia a la comp. Uniaxial	156 MPa.
Parámetro mb	1.479
Parámetro s	0.0005
Parámetro a	0.506

#### **4.2.4 Evaluación de estabilidad**

##### **➤ Análisis cinemático de cuñas**

Para el análisis cinemático de cuñas se hará el análisis entendiendo cuales y cuantos son los planos de discontinuidades necesarios para que se produzca la falla, si esta caerá por gravedad, o deslizamiento en techo, hastiales y frente del túnel. Se representarán mediante softwares que nos permitirán modelar la situación para el análisis de discontinuidades en la excavación, con la finalidad de analizar el comportamiento de estas para luego dar una solución de sostenimiento que nos asegure la estabilidad de la falla.

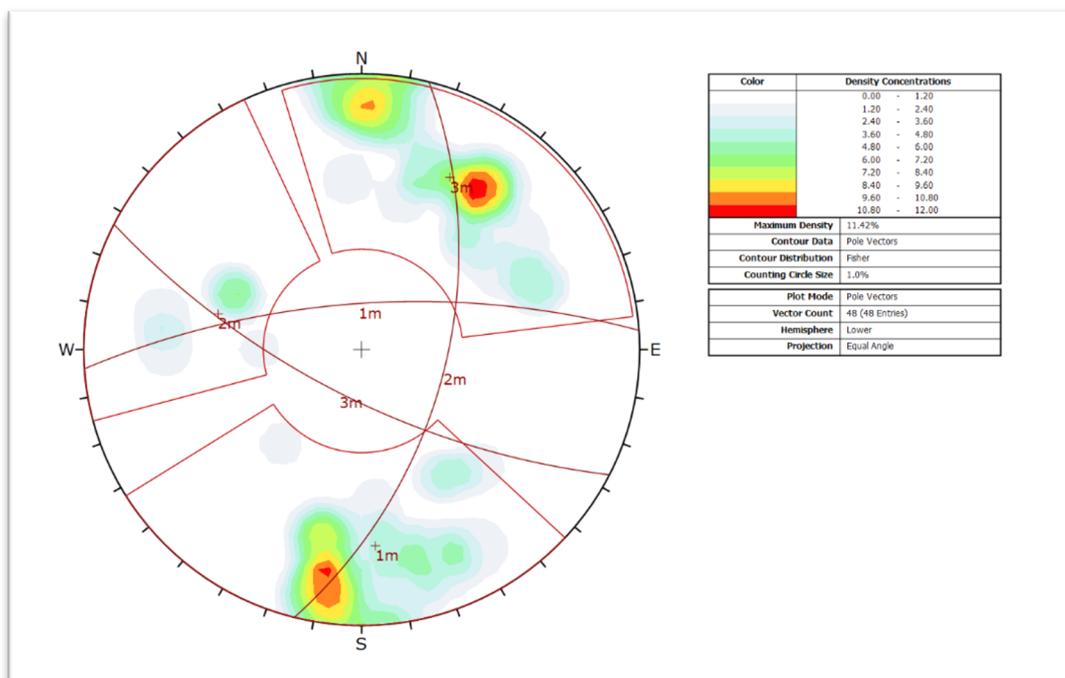
para el modelamiento se utilizó el software UNWEDGE 3.0, y DIPS 6.0.

Para el análisis SN 6631SW y NE se considera la sección de 6.0 m x 6.0 m, CX5536SW secciones de 6.0 m.x7.0 m.

- Ancho de la excavación 6.0m a 9.0
- Altura de la excavación 6.0m a 7.0m
- Profundidad de la excavación 588m
- Esfuerzo vertical ( $\sigma_v$ ) 15.60 Mpa
- Relación "K" ( $\sigma_h/\sigma_v$ ) 0.66
- Esfuerzo horizontal ( $\sigma_h$ ) 10.30MPa
- Calidad del macizo rocoso (RMR) básico 55

**Con el mapeo se obtuvo 3 familias principales de juntas**

- J1: N27°E/70°SW
- J2: S4°E/71°NW
- J3: N14°W/56°SE



*imagen 25 Determinación de las principales familias taller de mantenimiento*

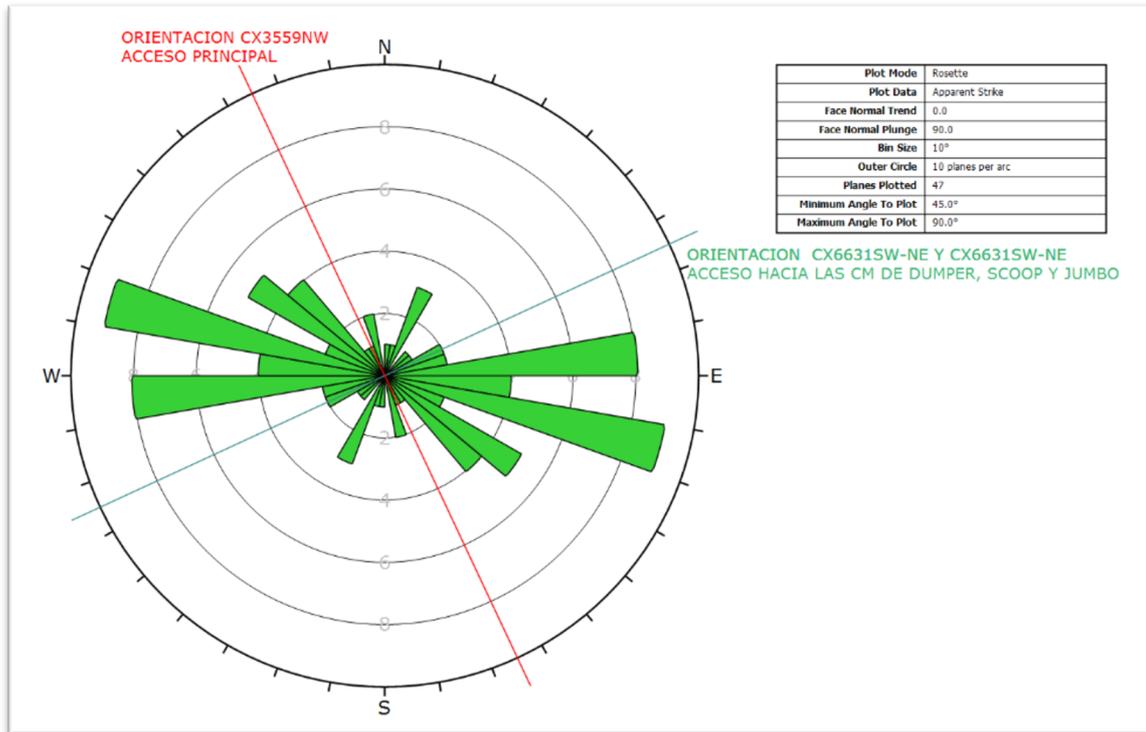


imagen 26 De acuerdo al Rosetto, la familia 1 y 3 predomina con rumbo sub-paralelo al eje del CX6631SW Y NE

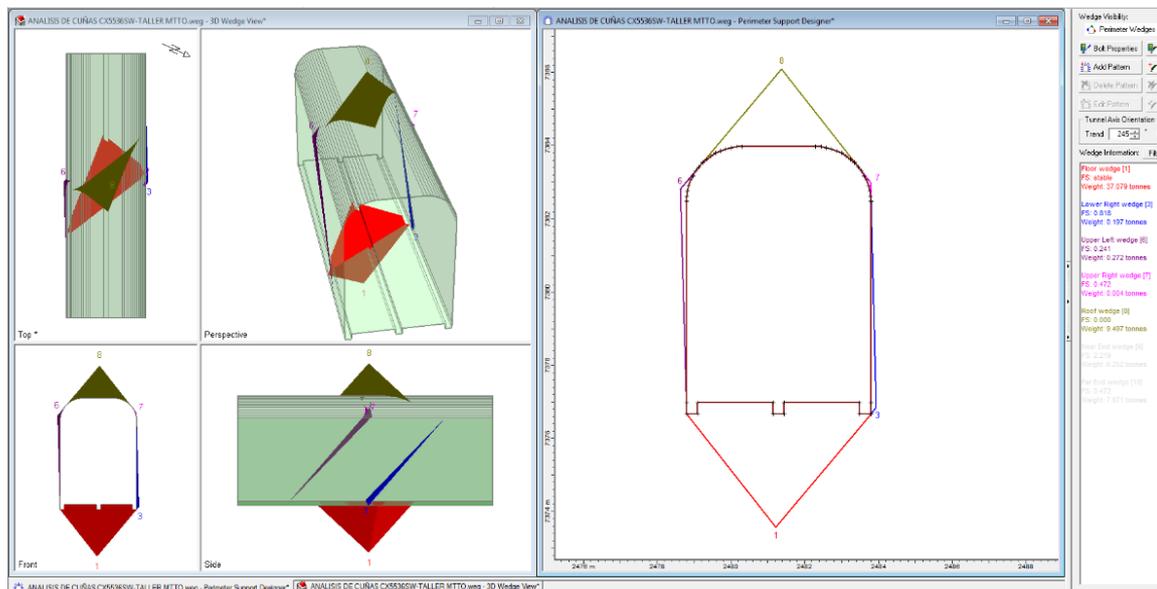


imagen 27 Análisis cinemático de cuñas del CX5536SW, de techo y hastiales con FoS<1.0, sin sostenimiento

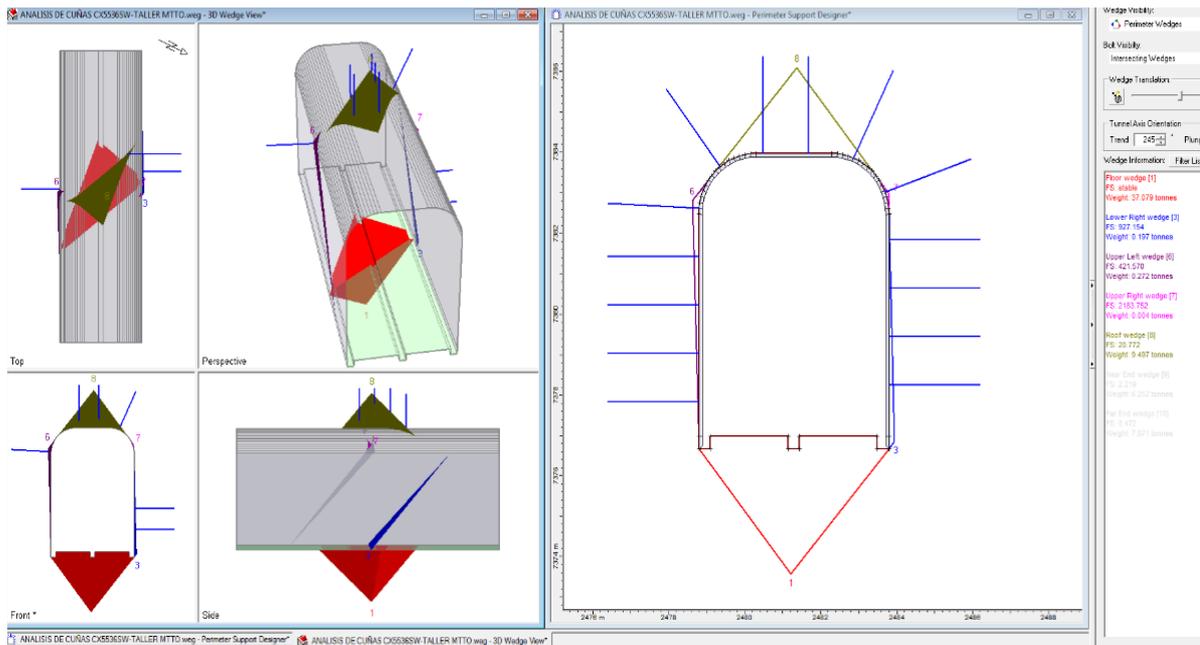


imagen 28 Análisis cinemático de cuñas, con sostenimiento FoS > 1.5 cuña estable

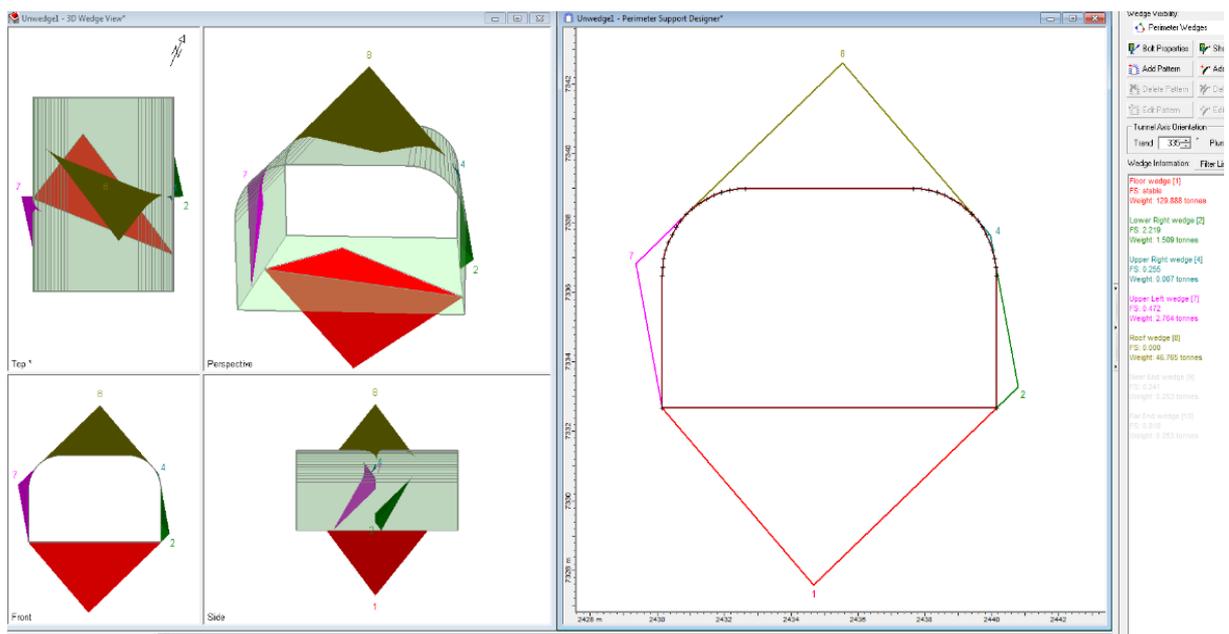


imagen 29 Análisis cinemático de cuñas intersección CX3559NW con CX6631NE y SW, de techo y hastiales con FoS < 1.0.

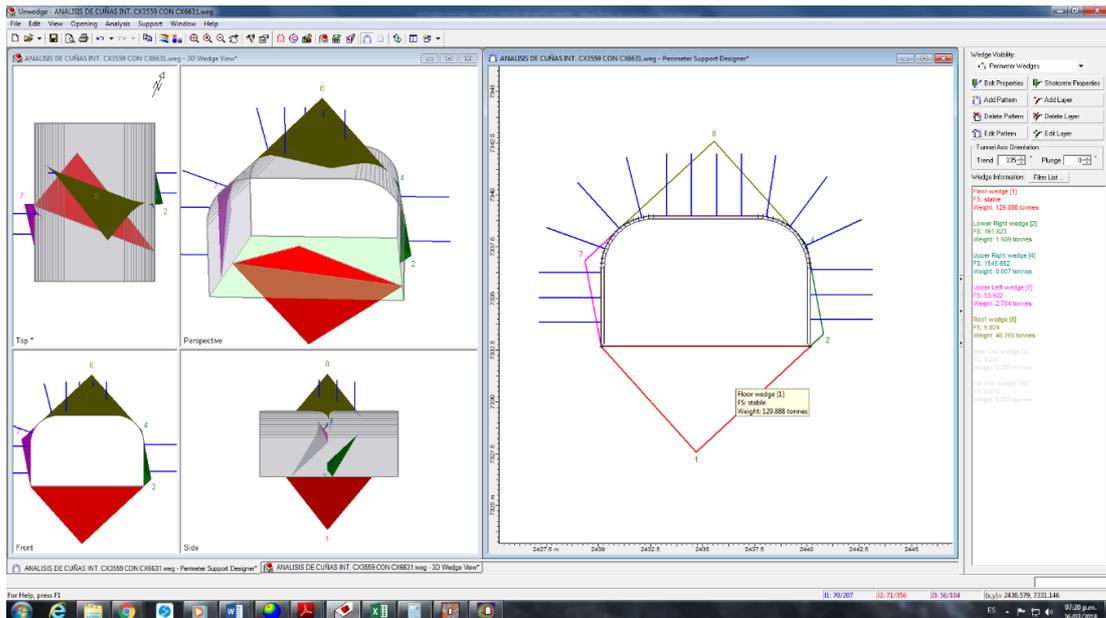


imagen 30 Análisis cinemático de cuñas intersección CX3559NW con CX6631NE y SW, con sostenimiento  $FoS > 1.5$  cuña estable

#### 4.2.5 Modelamiento numérico

Con la finalidad de modelar y evaluar la distribución de los desplazamientos y de los esfuerzos resultantes producto de las voladuras, redistribuyendo el campo tensional del macizo rocoso de pilares.

Para tal fin se utilizó el software Phases versión 8.0.

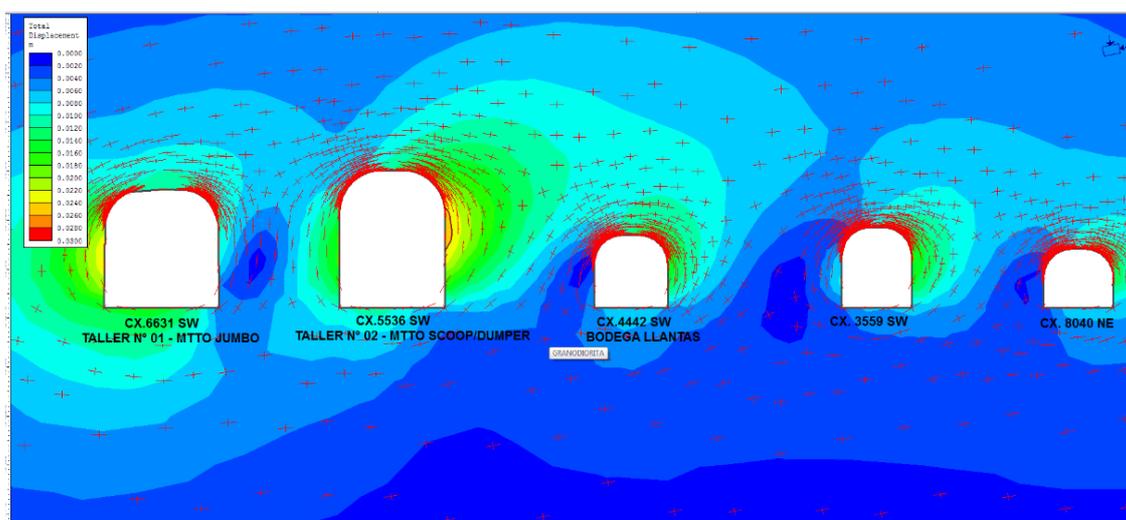


imagen 31 Desplazamiento total de 0.024m en hastiales, excavaciones sin sostenimiento.

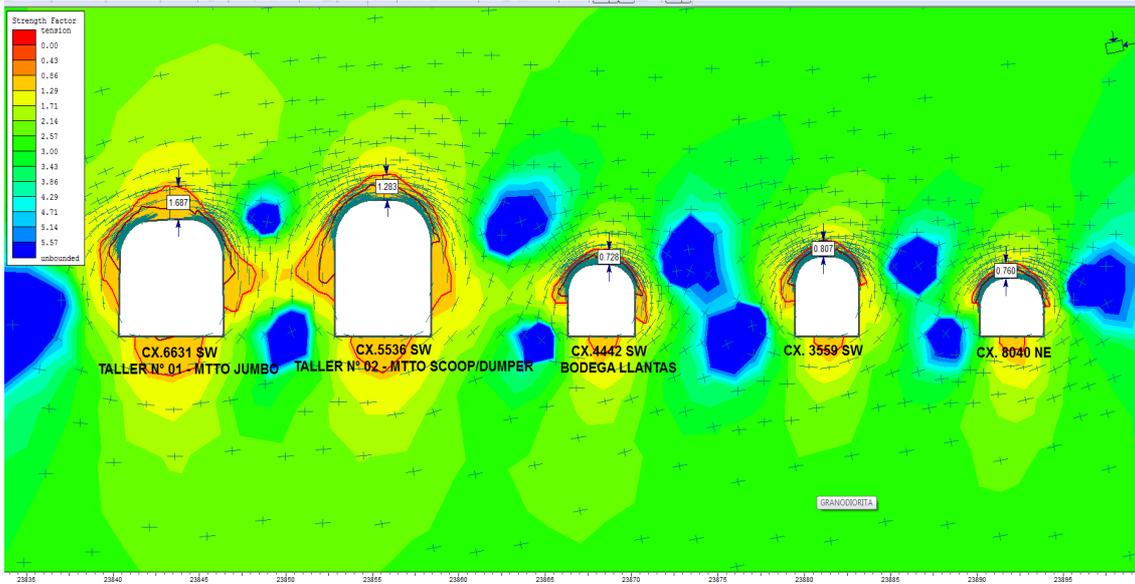


imagen 32 Altura de plastificación máxima de 1.68 m con FoS<1.2, excavaciones sin sostenimiento.

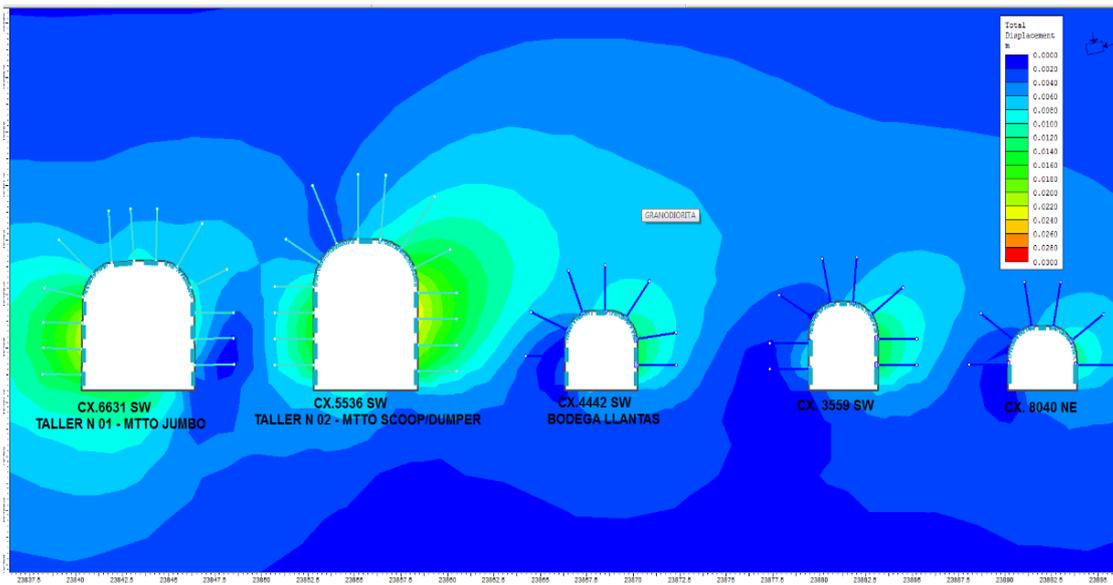
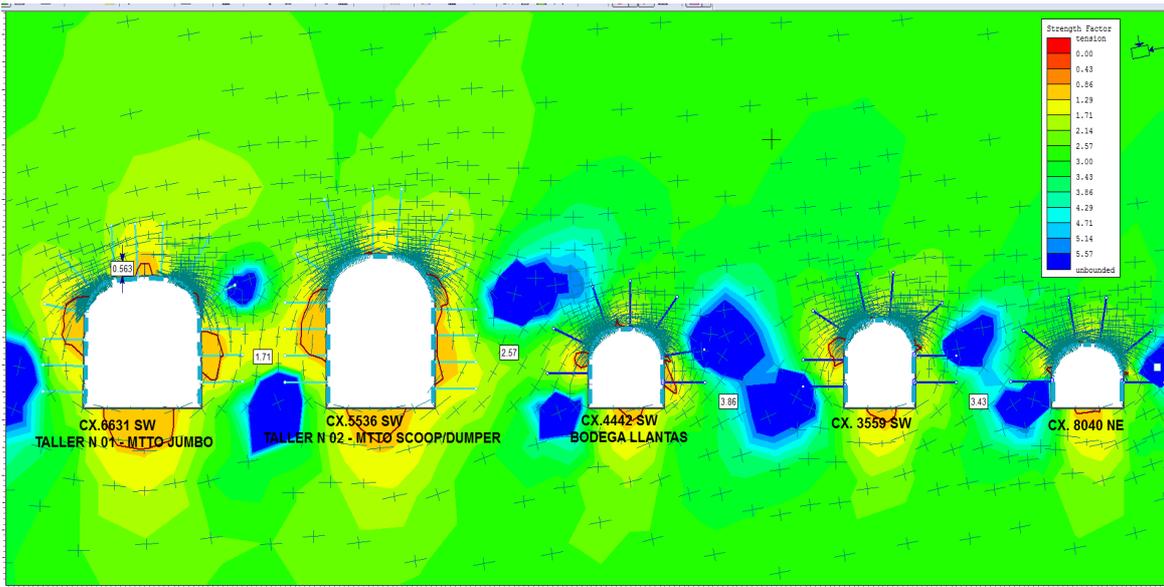
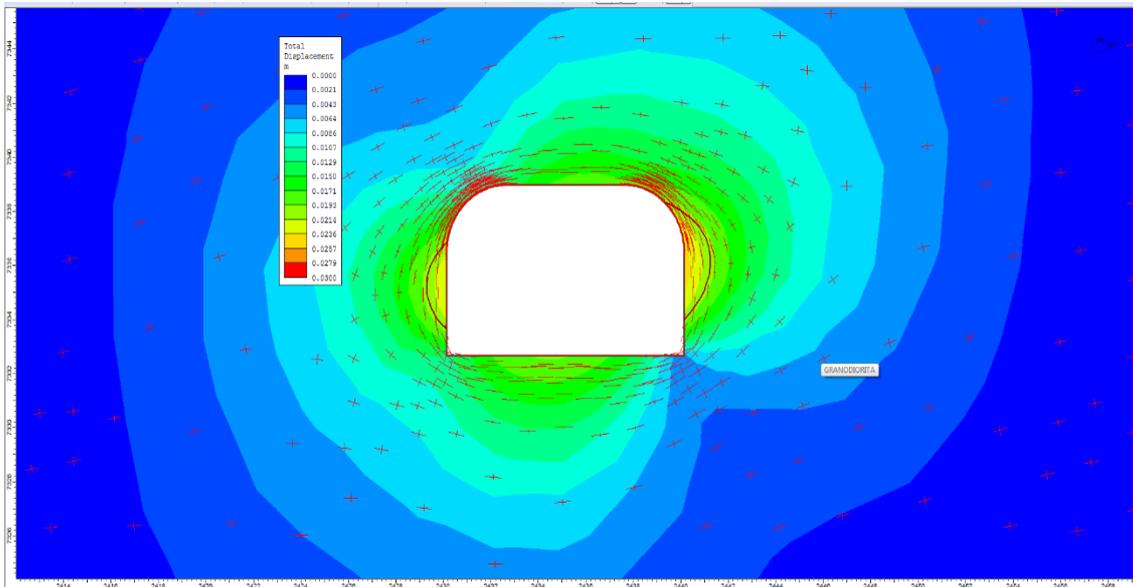


imagen 33 Desplazamiento total de 0.016m en hastiales, excavaciones considerando sostenimiento con pernos helicoidales de 7' y 10' en zona de intersección y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2".



*imagen 34* Altura plastificada de 0.66 m con FoS > 1.2, los pernos anclan en zona no plastificada considerando excavaciones con sostenimiento pernos helicoidales de 7' y 10' más una capa de shotcrete de 2".



*imagen 35* Desplazamiento total de 0.025m en zona de intersección de mayor SPAN, mayor desplazamiento en hastiales, excavación sin considerar sostenimiento.

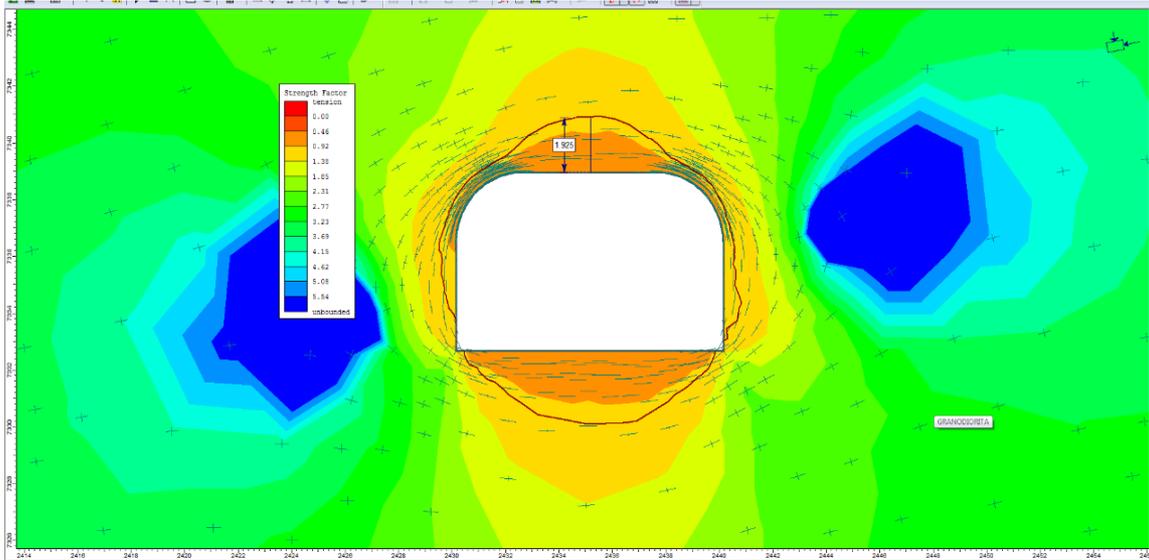


imagen 36 Altura plastificada de 1.92 m en zona de intersección con FoS < 1.0, CX3559NW con CX6631NE y SW.

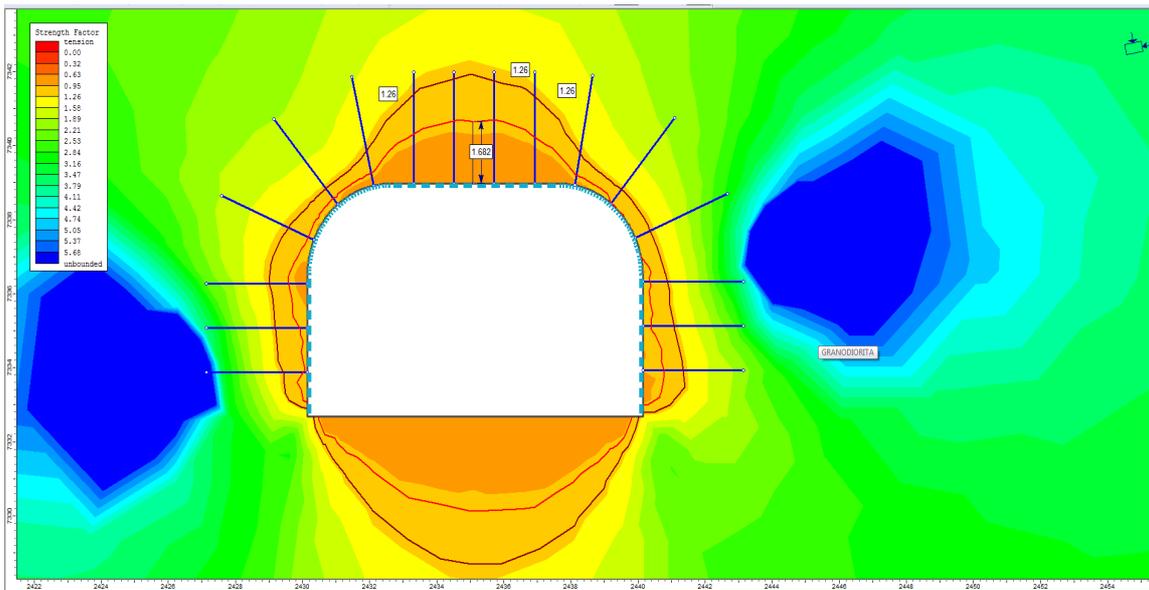


imagen 37 Altura plastificada de 1.68 m en zona de intersección los pernos anclan en área no plastificada con FoS > 1.2. CX3559NW con CX6631NE y SW.

### **4.3. Discusión de resultados**

#### **4.3.1 Los resultados de la caracterización de la masa rocosa**

Según (1) de acuerdo a su conclusión afirma que: La zonificación geomecánica del proyecto Chanca está emplazado en horizontes rocas volcánicas andesíticas y dacíticas de la formación Calipuy del Terciario inferior. Los volcánicos Calipuy se encuentran en contacto fallado y/o sobreyaciendo en forma discordante a rocas sedimentarias de las formaciones del tope del grupo Goyllarisquizga, y de las secuencias calcáreas margosas de las formaciones Chulee y Pariatambo del Cretáceo Inferior a Medio, le permitió realizar la zonificación del área de trabajo

Mi investigación concluye que: La caracterización de la masa rocosa local para la construcción del taller de mantenimiento, está conformada por una roca tipo intrusivo granodiorita, las propiedades de acuerdo al mapeo geomecánico del CX6631NE y SW son las siguientes: resistencia de la roca en promedio 146 MPa, con ligera alteración, RQD: 50-75%, espaciamiento de discontinuidades: muy fracturada entre 0.06 a 0.20m, separación de discontinuidades: espaciadas entre 1 – 5.0 mm, rugosidad de planos de fractura: ligeramente rugosa, relleno de discontinuidades: presencia de clorita y cerecita, con un grado de alteración de ligeramente alterada la presencia del agua subterránea en condición de mojado en hastiales y goteo constante en corona, clasificando al macizo rocoso de tipo III-B con rango de RMR entre 41-50.

En tal sentido se puede decir que se comparte opinión sobre la importancia de realizar una evaluación geomecánica.

#### **4.3.2 Los resultados de la evaluación de estabilidad local mediante el análisis cinemático de cuñas.**

Según: (3) en su investigación sobre: "Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo", en una de sus conclusiones establece que: Utilizando toda la información básica mencionada en las conclusiones precedentes, se han realizado una serie de análisis, el dimensionamiento de los diferentes componentes estructurales asociados al minado estará en función del arreglo estructural de la masa rocosa y del comportamiento esfuerzo/deformación de la misma, donde se determina las dimensiones apropiadas

Mi investigación concluye que: De la evaluación de estabilidad local se determinó mediante softwares UNWEDGE 3.0, y DIPS 6.0 que nos permitió modelar la situación para el análisis de discontinuidades en la excavación, se presenta hasta 3 familias principales de juntas las misma cuyo rumbo y buzamiento promedio son: J1: N27°E/70°SW, J2: S4°E/71°NW y J3: N14°W/56°SE; las dimensiones para un ancho de la excavación de 6.0m a 9.0, altura de 6.0m a 7.0m, profundidad de 588 m, el esfuerzo vertical ( $\sigma_v$ ) = 15.60 Mpa y el esfuerzo horizontal ( $\sigma_h$ ) = 10.30 Mpa; considerando un factor de seguridad mayor a 1.5 donde el macizo rocoso muestra su estabilidad

De ambas investigaciones se puede establecer que es necesario realizar el modelamiento utilizando diferentes softwares con la

finalidad de determinar y dimensionar la formación de cuñas, lo que va ha repercutir en el desprendimiento de rocas; en tal sentido se comparte opinión con la investigación citada

#### **4.3.3 Calcular los resultados del modelamiento numérico local**

Según: (2) Quien concluyo que 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.

Por mi parte en la investigación se empleó el modelamiento numérico fue realizado con el software Phases versión 8.0. la consistió en modelar y evaluar la distribución de los desplazamientos y de los esfuerzos resultantes producto de las voladuras, redistribuyendo el campo tensional del macizo rocoso de pilares; los resultados obtenidos fueron los siguientes: Desplazamiento total de 0.016 m en

hastiales, excavaciones considerando sostenimiento con pernos helicoidales de 7' y 10' en zona de intersección y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2".

Si bien es cierto al manejar diferentes parámetros de entrada el método numérico muestra ventajas respecto al método empírico de ambas investigaciones se establece que estos métodos permiten determinar el sostenimiento, cumpliendo parámetros técnicos y económicos.

#### **4.3.4 El tipo de sostenimiento de labores mineras local**

Según: (2) Quien concluyo que 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.

De la evaluación geomecánica se determinó de acuerdo a la altura plastificada de 0.66 m con FoS > 1.2, los pernos anclan en zona no plastificada considerando excavaciones con sostenimiento pernos helicoidales de 7' y 10' y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2".

De ambas investigaciones se establece que estos métodos permiten determinar el sostenimiento, cumpliendo parámetros técnicos y económicos.

## CONCLUSIONES

1. El resultado de la valoración de calidad de macizo rocoso para para la construcción del taller de mantenimiento, está conformada por una roca tipo intrusivo granodiorita, con un RMR promedio = 49 de tipo III-B de categoría regular, el esfuerzo vertical ( $\sigma_v$ ) = 15.60 Mpa y el esfuerzo horizontal ( $\sigma_h$ ) = 10.30 Mpa; considerando un factor de seguridad mayor a 1.5, para lo cual se el sostenimiento estará conformado por pernos helicoidales de 7' y 10' y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2".
2. La caracterización de la masa rocosa local para la construcción del taller de mantenimiento, está conformada por una roca tipo intrusivo granodiorita, las propiedades de acuerdo al mapeo geomecánico del CX6631NE y SW son las siguientes: resistencia de la roca en promedio 146 MPa, con ligera alteración, RQD: 50-75%, espaciamiento de discontinuidades: muy fracturada entre 0.06 a 0.20m, separación de discontinuidades: espaciadas entre 1 – 5.0 mm, rugosidad de planos de fractura: ligeramente rugosa, relleno de discontinuidades: presencia de clorita y cerecita, con un grado de alteración de ligeramente alterada la presencia del agua subterránea en condición de mojado en hastiales y goteo constante en corona, clasificando al macizo rocoso de tipo III-B con rango de RMR entre 41-50.
3. De la evaluación de estabilidad local se determinó mediante softwares UNWEDGE 3.0, y DIPS 6.0 que nos permitió modelar la situación para el análisis de discontinuidades en la excavación, se presenta hasta 3 familias principales de juntas las misma cuyo rumbo y buzamiento promedio son: J1: N27°E/70°SW, J2: S4°E/71°NW y J3: N14°W/56°SE; las dimensiones para un ancho de la excavación de 6.0m a 9.0, altura de 6.0m a 7.0m, profundidad de

588 m, el esfuerzo vertical ( $\sigma_v$ ) = 15.60 Mpa y el esfuerzo horizontal ( $\sigma_h$ ) = 10.30 Mpa; considerando un factor de seguridad mayor a 1.5 donde el macizo rocoso muestra su estabilidad

4. El modelamiento numérico fue realizado con el software Phases versión 8.0. la consistió en modelar y evaluar la distribución de los desplazamientos y de los esfuerzos resultantes producto de las voladuras, redistribuyendo el campo tensional del macizo rocoso de pilares; los resultados obtenidos fueron los siguientes: Desplazamiento total de 0.016 m en hastiales, excavaciones considerando sostenimiento con pernos helicoidales de 7' y 10' en zona de intersección y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2".
5. De la evaluación geomecánica se determinó de acuerdo a la altura plastificada de 0.66 m con FoS > 1.2, los pernos anclan en zona no plastificada considerando excavaciones con sostenimiento pernos helicoidales de 7' y 10' y Split set de 7' en secciones menores a 4.0 m más una capa de shotcrete de 2".

## RECOMENDACIONES

1. Para el modelo planteado en la simulación para la estabilidad de las excavaciones se detalla el sostenimiento en el ítem 5, que se debe de aplicar para asegurar la estabilidad de la excavación, cumpliendo los procedimientos y estándares para cada tipo de sostenimiento vale decir, que los pernos helicoidales deben alcanzar mínimamente 17 TN de resistencia a tracción y el shotcrete con 30 kg/m<sup>3</sup> con una resistencia mínima de 240 kg/cm<sup>2</sup> y un mínimo de 500 Jules en absorción de energía.
2. Por las condiciones de presencia de agua en la excavación se recomienda tomar las medidas de control e impermeabilizar antes de dar uso esta infraestructura.
3. Instalar estaciones de monitoreo de convergencia en la zona de intersección del CX3559NW con CX6631NE y SW, una vez concluido el sostenimiento.
4. Descargar los bloques expuestos sobre la malla, pegar las mallas colgadas y reajustar las planchuelas de los pernos helicoidales antes de realizar el sostenimiento con shotcrete.
5. Control de perforación y voladura, para controlar los daños de contorno y optimizar el sostenimiento.
6. Se debe tener mayor énfasis en el control de proyecto de realce de corona a la sección solicitada por el área de mantenimiento, así mismo estos detalles se debe contemplar antes de iniciar las excavaciones.
7. Las cuñas y voladizos se deben eliminar antes de realizar el sostenimiento con pernos y malla, cumpliendo todos los estándares y procedimientos establecidos por Sociedad minera Corona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. *"Caracterización geomecánica del proyecto de exploración minera Chanca provincia de Cajatambo- departamento de Lima"*. **Medina Marroquín, Rolando**. Arequipa Perú: s.n., 2014.
2. *"Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura"*. **Nina Condori, Gilmer Jesus**. Puno - Perú: s.n., 2017.
3. *"Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera Cerro Lindo – compañía minera Milpo"*. **Sosa Paucar, Jhon Jimmy**. Cerro De Pasco – Perú : s.n., 2016.
4. **Energía y Minas**. *Decreto supremo N° 023*. Lima Perú: s.n., 2017.
5. **Sociedad Nacional de minería, petróleo y energía**. *Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Lima - Perú: s.n., 2004.
6. **Osinergmin**. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Lima Perú: s.n., 2017.
7. **Ramírez Oyanguren, Pedro**. *Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid - España: s.n., 2004.
8. **Hoyos Patiño, Fabián**. *Diccionario básico geotecnia*. Medellín: s.n., 2001.
9. **Ministerio de energía y minas**. *DS 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM*. Lima Perú: s.n., 2017.

Imagen 38 **MATRIZ DE CONSISTENCIA**

	<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variable</b>
<b>General</b>	¿Cuáles son los resultados del estudio geomecánico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021?	Evaluar los resultados del estudio geomecánico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021	Los resultados del estudio geomecánico local utilizó la valoración del criterio de clasificación de masa rocosa de Bieniawski 1989 (RMR'89) influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870 unidad minera Yauricocha 2021	<b>Independiente</b>  <b>Estudio geomecánico</b>
				<b>Dependiente</b>  <b>Taller de mantenimiento</b>
<b>Específicos</b>	a) ¿Cuáles son los resultados de la caracterización de la masa rocosa local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?	a) Determinar los resultados de la caracterización de la masa rocosa local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	a) Los resultados de la caracterización de la masa rocosa local mediante el cálculo de la resistencia uniaxial de la matriz rocosa, RQD, espaciado, condición orientación y la presencia de agua de las discontinuidades influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	
	b) ¿Cuáles son los resultados de la evaluación de estabilidad local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?	b) Calcular los resultados de la evaluación de estabilidad local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	b) Los resultados de la evaluación de estabilidad local mediante el análisis cinemático de cuñas se hará el análisis entendiendo cuales y cuantos son los planos de discontinuidades necesarios para que se produzca la falla los cuales influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	
	c) ¿Cuáles son los resultados del modelamiento numérico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?	c) Calcular los resultados del modelamiento numérico local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	c) Calcular los resultados del modelamiento numérico local mediante el análisis de la distribución de los desplazamientos y de los esfuerzos resultantes producto de las voladuras, redistribuyendo el campo tensional del macizo rocoso de pilares influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	
	d) ¿Cuál es el tipo de sostenimiento de labores mineras local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870?	d) Establecer el tipo de sostenimiento de labores mineras local para la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	d) El tipo de sostenimiento de labores mineras local mediante el análisis de estabilidad de las excavaciones influyen en la construcción del taller de mantenimiento nivel 870.	

	<b>Concepto</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>
<b>Variable independiente</b> <b>Estudio geomecánico</b>	implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas. Muchos aspectos de la geomecánica se superponen con partes de la ingeniería geotécnica, y de la ingeniería geológica	▪Caracterización de la masa rocosa	Puntos
		▪Evaluación de estabilidad	N° de familias
		▪Modelamiento numérico	Esfuerzo
		▪Sostenimiento	Pasivo Activo
<b>Variable dependiente</b> <b>Taller de mantenimiento</b>	Son los establecimientos encargados de realizar un servicio de mantenimiento o reparación de averías en la mayoría de los componentes de un vehículo como, por ejemplo: cambio de amortiguadores, baterías, filtros, neumáticos, frenos, etc.	▪Estabilidad de la excavación	Factor de seguridad



Supervisión de sistema de sostenimiento (Shotcrete)



Supervisión de la perforación



Supervisión de la perforación