

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**Caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por
la explotación subterránea compañía minera aurífera Retamas S.A.**

Para Optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor: Bach. Walter Jean HINOSTROZA CAMPOS

Asesor: Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO

Cerro de Pasco – Perú- 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**Caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por
la explotación subterránea compañía minera aurífera Retamas S.A.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
PRESIDENTE

Ing. Rosas FLORES MEJORADA
Miembro

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO
Miembro

DEDICATORIA

A mi Madre y Familia:

Con todo cariño a mi madre Silvia, por su apoyo, consejos, comprensión y amor en los momentos más difíciles, por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. A mi querida Familia por ellos soy lo que soy.

RECONOCIMIENTO

Por intermedio del presente me es grato expresar mi sincero agradecimiento al personal de la Oficina de Geomecánica área de Geomecánica de la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. por su apoyo, confianza e información.

Me es grato también expresar mi gratitud a los docentes de la Escuela de Formación profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Minas Universidad Daniel Alcides Carrión, quienes volcaron en mi persona como estudiante, todos sus conocimientos y experiencias necesarias para fortalecer mi vocación y formación profesional.

Walter Hinostroza

RESUMEN

Para realizar el estudio de la caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generado por la explotación subterránea Compañía Minera Aurífera Retamas S.A., fue importante el análisis geomecánico del macizo rocoso donde se realizan las operaciones mineras, especialmente la explotación de los recursos minerales. Por la forma como se planteó el objetivo, se considera una Investigación del tipo de tecnología aplicada de nivel descriptivo, se aplica el diseño descriptivo correlacional. En el desarrollo del trabajo se detalla la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, y el monitoreo de la masa rocosa de las operaciones del mismo; estas propiedades son: tipo de roca, tipo de sistemas de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización, y presencia de agua. El estudio referido al análisis estructural, está basado en las orientaciones de las discontinuidades evaluadas mediante técnicas estereográficas, que se relacionan a las estructuras menores (diaclasas) y estructuras mayores (fallas). Para clasificar geomecánicamente la masa rocosa se ha usado el Sistema de Valoración de la masa rocosa, Rock Mass Rating – RMR (1989), de Z.T. Bieniawski; en la zonificación geomecánica de la masa rocosa se obtuvieron valores II-A: 62RMR, III-A:54, IIIB:46, IV-A:38, IV-B:27 y V-A:19. Asimismo, se obtuvieron los ensayos de la roca intacta en laboratorio. El análisis de estabilidad estructuralmente controlado se ha llevado a cabo utilizando la data desarrollada y el programa UNWEDGE de Rocscience. Para el análisis se ha considerado el compósito de discontinuidades y su configuración estructural de acuerdo al avance de la excavación. En base a los parámetros geomecánicos básicos obtenidos se ha realizado el análisis de estabilidad controlada por los esfuerzos

inducidos debido a las excavaciones subterráneas asociado exclusivamente al método de explotación se ha utilizado el programa PHASE2 de Rocscience.

Palabras claves: geomecánica, masa rocosa, estabilidad.

ABSTRACT

To realize the study of the geomechanical characterization in the stability analysis generated by the underground mining company Aurifera Retamas S.A., it was important the geomechanical analysis of the rock mass where the mining operations are carried out, especially the exploitation of mineral resources. Due to the way in which the objective was stated, a research of the type of applied technology of a descriptive level is considered, the correlational descriptive design is applied. In the development of the work it is detailed the determination of the physical-mechanical properties of the rocks, and the monitoring of the rock mass of the operations of the same; these properties are: type of rock, type of discontinuity systems, orientation, spacing, persistence, opening, roughness, type of filling, thickness of the filling, weathering, and presence of water. The study referred to the structural analysis, is based on the orientations of the discontinuities evaluated by means of stereographic techniques, which are related to the smaller structures (diaclasses) and larger structures (faults). To classify the rock mass geomechanically, the Rock Mass Rating System - RMR (1989), from Z.T. Bieniawski; In the geomechanical zoning of the rock mass values II-A were obtained: 62RMR, III-A: 54. IIIB: 46, IV-A: 38, IV-B: 27 and V-A: 19. In addition, intact rock tests were obtained in the laboratory. The structurally controlled stability analysis has been carried out using the data developed and the UNWEDGE program of Rocscience. For the analysis, the discontinuity composite and its structural configuration have been considered according to the progress of the excavation. Based on the basic geomechanical parameters obtained, the stability analysis controlled by the induced stresses due to the underground excavations associated exclusively with the exploitation method has

been carried out using the PHASE2 program of Rocscience.

Keywords: geomechanics, rock mass, stability.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio de investigación: “CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN EL ANALISIS DE ESTABILIDAD GENERADOS POR LA EXPLOTACION SUBTERRÁNEA COMPAÑÍA MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.”, para la caracterización se considera el índice geomecánico de Bieniawski con el RMR, El análisis de estabilidad se realiza a través del programa UNWEDGE de Rocscience. En el análisis se ha considerado el compósito de discontinuidades y su configuración estructural de acuerdo al avance de la excavación; en base a esfuerzos inducidos donde se ha utilizado el programa PHASE2 de Rocscience. El presente estudio de tesis comprende los siguientes capítulos:

El Capítulo I, comprende los aspectos de la investigación, donde se considera: el planteamiento del problema, su formulación, sus objetivos, justificación, importancia y alcances de investigación.

En el capítulo II, se considera el marco teórico, sus antecedentes, las bases teórico-científico, definición de términos, sistema de hipótesis, identificación de las variables independiente, dependiente e interviniente con sus respectivos indicadores.

En el capítulo III, se desarrolla la metodología de investigación, tipo de investigación, diseño de investigación, población y muestra, métodos

de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas de procesamiento y análisis de datos.

El Capítulo IV, comprende las generalidades de la mina, como la ubicación y accesibilidad, clima, relieve, recursos y reseña histórica. También trata la geología, como: geología regional, estratigrafía, geología estructural, mineralización, controles de mineralización y reservas. Asimismo: trata de los métodos de explotación como: corte y relleno ascendente, cámaras y pilares y long Wall mining.

En el Capítulo V, se analiza la caracterización geomecánica de la masa rocosa, registro de datos, discontinuidades, clasificación geomecánica de la masa rocosa, zonificación geomecánica y resistencia de la roca, Asimismo, se analizó la estabilidad generado por la explotación subterránea. Prueba de hipótesis y la discusión de resultados.

Walter Hinostroza

INDICE

Carátula	I
Acta de sustentación	II
Dedicatoria	III
Reconocimiento	IV
Resumen	V
Abstract	VI
Introducción	VII

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

	Pág.
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	3
1.3. Objetivos de la Investigación.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación del Estudio.....	4
1.4.1. Justificación Metodológica	4
1.4.2. Justificación Practica	4
1.5. Importancia y Alcances de la Investigación	5

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases Teórico - Científico	10
2.3. Marco Conceptual	18
2.4. Sistema de Hipótesis	21

2.4.1. Hipótesis general	21
2.4.2. Identificación de Variables	21
2.4.2.1. Variable independiente	21
2.4.2.2. Variable dependiente	22
2.4.2.3. Variable interviniente	22
2.4.3. Operacionalización de Variables	23

CAPITULO III: METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación	24
3.2. Diseño de Investigación	24
3.3. Población y Muestra	25
3.4. Métodos de la Investigación	25
3.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.....	25
3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	26
3.7. Tratamiento Estadístico de Datos	26

CAPITULO IV: INFORMACIÓN GENERAL DE LA MINA

4.1. Generalidades	27
4.1.1. Ubicación y Accesibilidad.....	27
4.1.2. Clima	29
4.1.3. Relieve	29
4.1.4. Recursos.....	29
4.1.5 Reseña histórica	30
4.2. Geología.....	32
4.2.1. Geología regional.....	32
4.2.2. Estratigrafía.....	36
4.2.2.1. Precámbrico	37
4.2.2.2. Paleozoico Superior	39

4.2.2.3. Triásico -Jurásico	40
4.2.2.4. Cretáceo	41
4.2.2.5. Depósitos Cuaternarios	42
4.2.3. Geología Estructural	43
4.2.4. Mineralización	45
4.2.5. Controles de Mineralización	46
4.2.6. Reservas	47
4.3. Métodos de Explotación	48
4.3.1. Corte y Relleno Ascendente	48
4.3.1.1. Condiciones del block a explotar	48
4.3.1.2. Labores de desarrollo y preparación	49
4.3.1.3. Minado.....	51
4.3.1.4. Servicios generales y auxiliares	51
4.3.2. Cámaras y Pilares.....	53
4.3.2.1. Parámetros geomecánicos.....	53
4.3.2.2. Diseño e ingeniería.....	53
4.3.2.3. Operación.....	56
4.3.2.4. Servicios.....	58
4.3.3. Long Wall Mining	59
4.3.3.1. Preparación del block (40 m x 80 m).....	59
4.3.3.2. Operación del block (40 m x 80m).....	61

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización Geomecánica	63
5.1.1. Registro de Datos	63
5.1.2. Características de la Masa Rocosa	64
5.1.3. Discontinuidades	65
5.1.4. Características Estructurales	72
5.1.5. Clasificación Geomecánica de la Masa Rocosa	77

5.1.6. Zonificación geomecánica de la Masa Rocosa	79
5.1.7. Resistencia de la Roca	80
5.1.7.1. Resistencia de la roca intacta.....	80
5.1.8. Resistencia de la Masa Rocosa.....	82
5.1.9. Esfuerzo in-situ	84
5.2. Análisis de Estabilidad Generado por la Explotación Subterránea.....	85
5.2.1. Estabilidad Estructuralmente Controlada	85
5.2.2. Estabilidad Controlada por Esfuerzos	88
5.2.2.1. Método por corte y relleno ascendente convencional... 88	
5.2.2.2. Método de explotación por cámaras y pilares	92
5.2.2.3. Método de explotación Longwall	95
5.3 Prueba de Hipótesis	99
5.4 Discusión de Resultados.....	101

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

La estabilidad de la roca circundante a una excavación subterránea como un tajeo, una galería, un crucero, una estación de pique, una rampa, etc., depende de los esfuerzos y de las condiciones estructurales de la masa rocosa detrás de los bordes de la abertura. Las inestabilidades locales son controladas por los cambios locales en los esfuerzos, por la presencia de rasgos estructurales y por la cantidad de daño causado a la masa rocosa por la voladura.

La explotación de las estructuras mineralizadas auríferas en la Mina MARSA, de gran potencial económico, es mediante

diferentes métodos de explotación así como también se recupera puentes y pilares que han servido de sostenimiento; de acuerdo a las actividades geomecánicas, se tiene complicadas condiciones geoestructurales como resultado de la mineralización en la masa rocosa, como consecuencia de ello se tiene cajas techo y piso incompetente, lo que dificulta la explotación en los tajeos de la mina. Con la finalidad de solucionar los problemas encontrados en relación a la inestabilidad del macizo rocoso y tajeos de explotación, se presenta el estudio de investigación intitulado: “CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN EL ANALISIS DE ESTABILIDAD GENERADOS POR LA EXPLOTACION SUBTERRÁNEA COMPAÑÍA MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.”

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con la presente investigación se pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes.

1.2.1. Problema General

¿Cómo se determinará la caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera

Aurífera Retamas S.A.?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo realizar la caracterización geomecánica de la masa rocosa en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.?
- b) ¿Cómo se analizará la estabilidad de los tajeos generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar la caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Realizar la caracterización geomecánica de la masa rocosa para determinar su calidad en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.
- b) Analizar la estabilidad de los tajeos generados por la explotación subterránea para determinar los

parámetros de diseño en la Compañía Minera
Aurífera Retamas S.A.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

A consecuencia de las actividades mineras de explotación en la mina, se observa que las condiciones de inestabilidad dan como resultado que las cajas techo y piso son bastantes incompetentes; estas características dan como consecuencia que las labores de exploración, desarrollo y explotación en estas estructuras se justifica de un estudio geomecánico en cuanto a su caracterización de la masa rocosa para realizar el análisis de estabilidad generado por la explotación subterránea de la mina.

1.4.1. Justificación Metodológica

Para poder cumplir con los objetivos del estudio, la investigación hará uso de su propia metodología, teniendo como base el método científico. Por lo que el resultado será importante en el diseño de los métodos de explotación.

1.4.2. Justificación Práctica

En relación a los objetivos propuestos, se hallará

soluciones planteadas al problema de la caracterización geomecánica de la masa rocosa y estructuras mineralizadas en la estabilidad generado por la explotación subterránea en la Compañía Minera Aurífera RETAMAS S.A.

1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de este estudio radica en que luego de haberse llevado a cabo la caracterización de la masa rocosa se puede determinar los parámetros necesarios de los métodos de explotación en relación a la geomecánica para determinar la estabilidad, y mantener un control de calidad estricto y prácticas operacionales adecuadas en relación a la seguridad de las excavaciones, qué son los componentes estructurales claves para el éxito de las operaciones.

De igual manera, este trabajo de tesis tiene un mayor alcance, ya que aparte de contribuir con esta información al personal técnico de la empresa, también se hará extensivo a estudiantes, docentes y profesionales de especialidades afines; y a toda persona involucrada con el quehacer minero.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 . ANTECEDENTES

El presente estudio trata de la caracterización geomecánica, es decir de la ejecución de investigaciones geomecánicas básicas y características geomecánicas en relación a la estabilidad de las aberturas y dimensionamiento de labores especialmente en el área de explotación a fin de que se verifique la estabilidad de las cajas y del macizo rocoso en su conjunto. Habiendo realizado una revisión en bibliotecas de universidades y otras instituciones del país sobre estudios geomecánicas, se encuentran informaciones similares en relación al tema de investigación, los mismos que fueron

aplicados adecuándolo a la realidad de cada mina. A consecuencia de ello se tiene algunos estudios al respecto:

Espinoza Campos, Gianmarco (2017), en su estudio de tesis “Estudio geomecánico para evaluar la estabilidad local y global en Minera Bateas S.A.C.”. Concluye que: Para el análisis de la estabilidad de las excavaciones subterráneas a realizarse en las labores de “Veta Ánimas en la Mina Bateas” (sea el caso de Tajos, Pilares y Puentes) se han empleado los siguientes “métodos empíricos”: Dimensionamiento de Tajos, empleando la técnica del “Método Gráfico de Estabilidad desarrollado por Mathews”, dimensionamiento de Pilares, según el modelo de “Obert & Duvall, 1967” y dimensionamiento de Puentes “Sill Pillars”, según el modelo de “Carter, 1992”. Se ha considerado la sección geomecánica “transversal” del modelo geomecánico. Esta sección geomecánica es representativa desde el punto de vista “topográfico–geológico-geomecánico” para el análisis de estabilidad; en el cual se analizarán de modo iterativo las condiciones del diseño de explotación proyectadas.

Cabello Corman, Noe (2008), concluye que el método de “Selección del método de explotación para la veta piedada de La Mina Catalina Huanca”, involucra criterios técnicos y económicos orientados a la selección del método óptimo para

la explotación de la Veta Piedad como una alternativa de solución al problema del alto costo y la baja productividad de los métodos de explotación en vetas. Se fundamenta en el análisis de las condiciones geológicas, geométricas e hidrogeológicas y el estudio geomecánico de la veta Piedad y su entorno físico como base para seleccionar técnicamente los métodos aplicables para la explotación de la veta Piedad, además considera que estos métodos se evalúan bajo consideraciones económicas (dilución, recuperación de reservas geológicas, valor del mineral y costo de producción) y considera que la evaluación económica se realiza empleando los criterios del “VAN” y “TIR”, lo cual conllevará a seleccionar el método óptimo para la explotación de la veta Piedad.

Ladera N,(1989), Ingeniero de Minas en su publicación “Estado Tecnológico de las Minas Subterráneas en el Perú” considera que la geología, las labores de exploración, las reservas, la geometría de la estructura mineralizada, las características Geomecánicas y la hidrogeología influyen en la selección del método de explotación adecuado. Por ello sugiere que es importante el conocimiento de las características del yacimiento antes de seleccionar la

tecnología más adecuada y eficiente.

Gago Oliver, (1996), Ingeniero de Minas, en su publicación titulada “Selección Numérica de los Métodos de Explotación” considera la geometría, la distribución de valores, las resistencias de la roca estructura mineralizada, el costo de producción, la recuperación, las condiciones ambientales y la seguridad como parámetros para la selección numérica del método de explotación. Sugiere que estos parámetros se deben examinar con rigurosidad para efectos de evaluación, revisión y selección de un método de explotación.

Llanque O y Navarro V. (1999), en su libro “Explotación subterránea- Métodos y Casos Prácticos”, sostuvo que, Perforación en Slot y Zanjas, La perforación en Slots se efectúa desde la cara libre en forma vertical tanto hacia arriba como hacia abajo, con mallas de 1,0m x 0,80 m y longitud de taladros de 10 a 12 m. Asimismo, sostiene que el 5% del mineral derribado requiere de perforación y voladura secundaria, este valor indica que existe una fragmentación adecuada. La alimentación a la planta requiere de fragmentos de 18 pulgadas, los pedrones existentes presentan ciertas características, las cuales estarían indicando que se originan

en los planos de fractura.

Munguía P. (2008) En su trabajo de investigación “Recuperación de mineral diseminado mediante el método sublevel stoping cuerpos”, que tuvo como escenario propio de su investigación en la Unidad Minera Yauliyacu, cita en uno de sus textos que, la altura entre Subniveles de perforación es de 30 metros. A partir de estos subniveles se realizan perforaciones de taladros positivos y negativos en abanico y/o paralelos de 15 metros de longitud de 64 mm. de diámetro, esto es para evitar mayores desviaciones de los taladros perforados.

2.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICO

A. En cuanto a la caracterización geomecánica

Los trabajos de Geomecánica involucran una serie de aspectos relacionados a la estabilidad de las labores subterráneas, esto en función al tipo de roca y su relación con la profundidad, para estas características, se realizan una serie de trabajos a fin de caracterizar el macizo rocoso, para las clasificaciones geomecánicas RMR89, RQD y GSI, se utilizaron los siguientes parámetros:

- ✓ Resistencia a la compresión uniaxial de la roca (RCU)
- ✓ Densidad o grado de fracturamiento (RQD)
- ✓ Características de las discontinuidades (diaclasas)
- ✓ Grado de alteración o meteorización.
- ✓ Presencia de agua subterránea. (hidrogeología)
- ✓ Corrección por orientación de discontinuidades.

Los parámetros indicados, son los que intervienen en la caracterización Geomecánica del macizo rocoso, y son utilizados ampliamente en obras subterráneas mineras (rampas, galerías, cruceros, tajeos, entre otros).

Resistencia a la Compresión Uniaxial (RCU).

Las propiedades de Resistencia a la Compresión Uniaxial (RCU) de la roca intacta, pueden ser estimadas en campo con el uso del martillo de geólogo y/o el uso del esclerómetro (Martillo Schmidt), así como también con ensayos de laboratorio, a muestras de bloques de roca y testigos de roca DDH; los grados de resistencia (RCU), de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla: Criterios para estimar la resistencia a la compresión simple de la roca.

Resistencia a la compresión simple (Hoek, 2000)					
Grado *	Término	Resistencia a la Compresión Uniaxial	Índice de Carga Puntual (Mpa)	Estimación en campo de la Resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente resistente	>250	>10	El espécimen no se rompe solo se astilla con martillo geológico	Basalto, Fresco, gneis, granito,
R5	Muy Resistente	100-250	4-10	El espécimen requiere 3 o mas golpes de martillo geológico para ser fracturado	Anfibolita, arenisca, Basalto, gabro, gneis, granionita, caliza, mármol,
R4	Resistente	50-100	2-4	El espécimen requiere de uno o dos golpes del martillo geológico para ser fracturado.	Caliza, mármol, filita, arenisca, esquistos, lutita.
R3	Medianamente Resistente	25-50	1-2	El espécimen no puede ser raspado o mondado con una navaja de bolsillo, pudiendo ser fracturado con un simple golpe de martillo.	Arcilita, carbón, esquistos, lutita, limolita, concreto.
R2	Débil	5-25	**	Puede ser mondado con dificultad con una navaja de bolsillo, un rasgo superficial puede ser hecho con un firme golpe del martillo	Creta, sal de roca y potasa.
R1	Muy Débil	1-5	**	El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes de martillo geológico y puede ser mondado por una navaja de	Roca altamente meteorizada o alterada.
R0	Extremadamente débil	0.25-1	**	Hendida por la uña	Relleno rígido de falla

* Grado de acuerdo con Brown (1981)

** Ensayos de carga puntual en rocas con una resistencia a la compresión uniaxial por debajo de 25 MPa son probables de producir resultados altamente ambiguos.

Determinar las Características de las Discontinuidades.

Se han determinado las características de las discontinuidades tales como: sistemas de discontinuidades (familias), espaciamiento, tamaño de bloques, RQD, rugosidad de las diaclasas, separación o abertura, relleno, continuidad y meteorización. Estas características fueron utilizadas en la evaluación y clasificación geomecánica del macizo rocoso, para agrupar las discontinuidades en familias y/o sistemas de discontinuidades.

Evaluación de Resistencia del Macizo Rocoso

La evaluación de la resistencia del macizo rocoso, se utilizó el criterio de falla de HOEK & BROWN (2002); este criterio de falla está expresada por la siguiente Ecuación:

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

Dónde:

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

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Tabla: Constantes Utilizados en los Criterios de Ruptura

ITEM	FACTOR	DESCRIPCION
1	σ_1' y σ_3'	Esfuerzos efectivos máximo y mínimo en falla
2	m_b	Constante del macizo rocoso, valor reducido de la constante del material m_i
3	m_i	Constante de la roca intacta.
4	s y a	Constante del macizo rocoso
5	D	Factor según el grado de perturbación del macizo rocoso durante la excavación
6	GSI	Geological Strength Index (Índice de Resistencia Geológica)

Determinar el Módulo de Deformación (Young).

El módulo de deformación o módulo de Young del macizo

rocoso, se puede determinar con la ecuación propuesta por Hoek – Diederich (2006) y que viene expresada por la fórmula siguiente:

$$E_{rm}(MPa) = 100000 \left(\frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right)$$

Dónde:

GSI = Geological Strength Index (Índice de Resistencia Geológica).

D = Factor según el grado de perturbación del macizo rocoso durante la excavación.

Tabla: Factor de Perturbación del Macizo Rocosó

Factor de Perturbación (Hoek et al 2002)				
Apariencia del Macizo Rocosó	Descripción del Macizo Rocosó	Tipo	Valor D Sugerido	D
	Mínima perturbación del macizo rocoso confinado que rodea un túnel, cuando éste es excavado con voladura controlada de excelente calidad o con máquina tuneladora (TBM)	TÚNELES	D=0	0,7
	Cuando se excava un macizo rocoso de mala calidad por medios mecánicos o manuales, la perturbación en la secundad Los problemas de perturbaciones en la roca pueden ser serios en terrenos que tienden a convergir, a menos que se ocoloque una contrabóveda.		D=0 D=0.5	
	Una voladura de mala calidad en túneles excavados en roca dura o rsistente provoca daños locales que se extienden a 2 o 3 m e ka roca circundante.		D=0.8	
	Empleo de técnicas de voladura a pequeña escala en taludes de obra civil causa un daño limitado a la estructura del macizo rocoso, particularmente si se usa voladura controlada, como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo, el alivio, de tensiones causa ciert perturbación.	TALUDES	D=0.7 Voladura de buena calidad	
	Taludes de gran altura en minas a cielo abierto sufren perturbación, debido a la voladura de producción, así como por el alivio de tensiones por la remoción de la sobrecarga.		D=1 Voladura de mala calidad	
	Excavaciones en rocas blandas pueden ser llevadas a cabo por medio de rippers, que reduoen el daño en los taludes		D=1.0 Voladura de producción D=0.7 Excavación Mecánica	

Método gráfico de estabilidad.

El “Método Gráfico de Estabilidad” desarrollado por Mathews y modificada por Potvin & Milne, es una técnica empleada para el dimensionamiento geomecánico de tajeos, esta ha demostrado ser una herramienta adecuada para el diseño subterráneo.

El procedimiento para dimensionar los tajeos aplicando el método gráfico de estabilidad se fundamenta en el cálculo de los siguientes parámetros:

a) Número de Estabilidad (N'). El número de estabilidad “N”, representa la respuesta del macizo rocoso para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado. Para el cálculo de este valor se emplea la ecuación N° 02, el cual considera la calidad del macizo rocoso expresado en el índice Q' modificado, el factor de reducción por esfuerzos en la roca, el factor de ajuste por orientación de los sistemas de discontinuidades con respecto a la orientación del eje del tajeo, el factor de ajuste por efecto de la gravedad sobre las cuñas de techo y pared que forman el arreglo estructural de los sistemas de discontinuidades con el tajeo.

$$N = Q' \times A \times B \times C$$

Dónde:

Q': índice de calidad “Q” modificado.

A: Factor de esfuerzo en la roca.

B: Factor de ajuste por orientación de discontinuidades.

C: Factor de ajuste gravitacional.

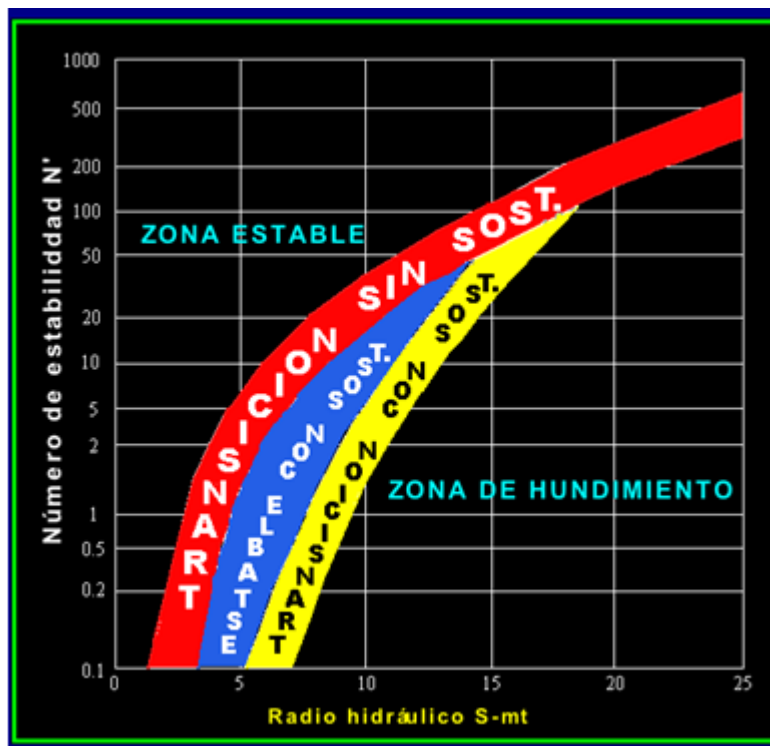
b) Radio Hidráulico (S). El radio hidráulico viene a ser el factor de forma para la superficie del tajeo, se obtiene como el cociente del área de la sección transversal de la superficie del tajeo entre su perímetro. Para calcular este valor se emplea la ecuación

$$S = \left[\frac{W \times H}{2 \times (W + H)} \right]$$

Dónde:

W: Longitud del tajeo en el rumbo de la estructura.

H: Altura del tajeo (espaciamiento entre los niveles).



B. Métodos de explotación

Selección preliminar del método de explotación.

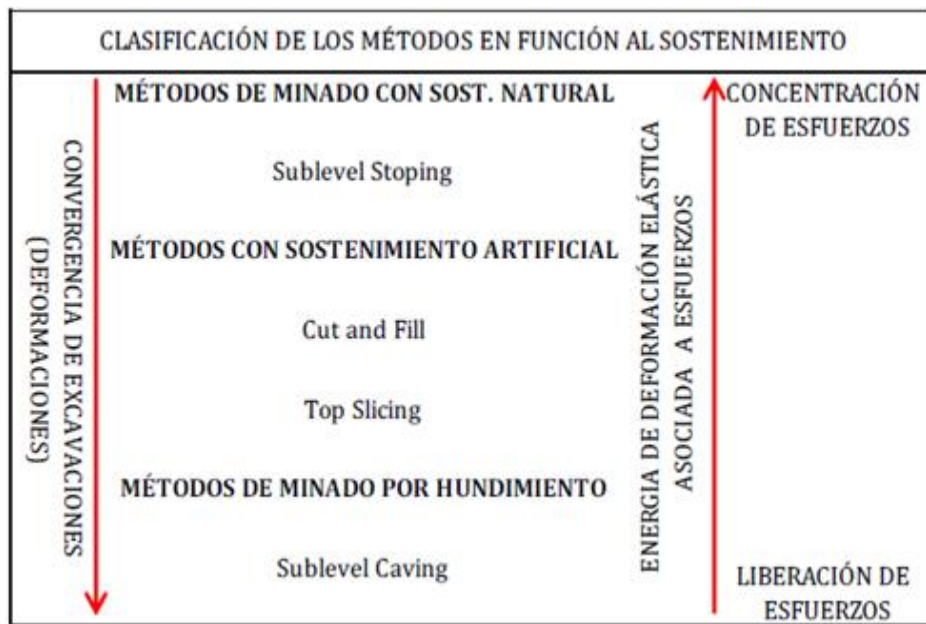
La condición lito-estructural, distribución espacial (extensión en rumbo y profundidad), la paragénesis – zoneamiento y características naturales (forma, distribución de leyes, topografía, condiciones hidrogeológicas y geomecánicas) que exponen las estructuras mineralizadas y su entorno físico en niveles evaluados constituyen la base de información confiable para propósitos de evaluar los métodos de explotación. En el siguiente gráfico se muestra el esquema adoptado para la selección de los métodos de explotación.



12

En la siguiente figura, se esquematiza el criterio de selección del método desde el punto de vista del sostenimiento aplicable y los fundamentos de mecánica de rocas (concentración-liberación de esfuerzos y convergencias de excavaciones).

En base a características descritas en el gráfico y figura, se procede a realizar la valoración cuantitativa de condiciones naturales del yacimiento para definir preliminarmente los métodos de explotación aplicables desde el punto de vista geomecánico.



2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Alteración. - Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, etc.

Angulo de fricción.- Es la pendiente de la tensión de corte relacionado con la tensión normal. El ángulo de fricción (ϕ), y la cohesión (c) se relacionan a la tensión normal (σ), y tensión de corte (τ); por la ecuación:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi).$$

Celda.- es el área sobre el cual se tomaran los datos, esta debe tener un largo uniforme para toda la campaña de mapeo. Las dimensiones dependerán del área a cubrir.

Contacto.-Contacto litológico, es una línea que separa las rocas de naturaleza diferente o dos unidades litológicas.

Cohesión.- El valor de corte requerido para causar el deslizamiento, cuando la tensión normal es cero. Figura XX, ver también ángulo de fricción.

Discontinuidad.- Cualquier separación en el continuo de roca que posee nula resistencia a la tracción, puede ser de origen mecánico o sedimentario que separa bloques (o matriz rocosa).

Geomecánica.- Encontrar y/o anticipar una solución segura y económica compatible con todas las restricciones bajo las cuales se encuentra el escenario del proyecto (E. Hoek 1996).

Geotecnia.- Es la rama de la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra.

Macizo rocoso.- Conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades

Mapeo sistemático.- Registro de las características geomecánicas de las discontinuidades al detalle, en una longitud determinada de masa rocosa.

Matriz rocosa.- Material rocoso sin discontinuidades o bloques de roca intacta entre discontinuidades (muestra de mano o mayor). A pesar de considerarse continua es heterogénea y anisótropa, ligada a la fábrica, textura y estructura, mineral.

Método de Explotación.- Es una técnica aplicada que se utiliza en las minas para la extracción del mineral de interés minero, es necesario asimismo ejecutar un proceso de selección del método de explotación mediante un análisis sistemático global parámetros específicos del yacimiento como son, geometría, distribución de leyes, propiedades geomecánicas del mineral y de la roca encajonante, aspectos económicos, limitaciones ambientales, condiciones sociales, etc.

Open a Stope.- Abrir un frente de minado, aplicados a yacimientos de tipo cuerpo.

Roca.- Agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que

constituyen masas geológicamente independientes y cartografiables.

Rock support.- Es un software que se usa para determinar la deformación de una excavación subterránea en masas rocosas diaclasadas, permite visualizar la interacción del túnel con varios sistemas de sostenimiento.

Recuperación.- Cantidad de mineral recuperado por unidad de volumen o cantidad de mineral extraído expresamente en porcentaje.

Smooth Blasting.- Consiste en arrancar la última capa de la roca con la voladura de contorno con cargas moderadas y bien distribuidas.

2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis General

Si se determina la caracterización geomecánica de la masa rocosa, entonces se realiza el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Retamas S.A.

2.4.2. Identificación de Variables

2.4.2.1. Variable independiente

X= Caracterización geomecánica de la masa rocosa en la Compañía Minera Retamas S.A.

2.4.2.2. Variable dependiente

Y= Análisis de la estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Retamas S.A.

2.4.2.3. Variable interviniente

Con la caracterización geomecánica y análisis de estabilidad durante la explotación subterránea de trabajará con mayor seguridad en las operaciones mineras.

Indicadores

Variable Independiente:

X1= Resistencia de la masa rocosa

X2= Discontinuidades de la masa rocosa

X3= Calidad de la roca

X4= Índices geomecánicos

X5= Esfuerzos insitu

X6= Zoneamiento geomecánico

Variable dependiente:

Y1= Compósito de discontinuidades

Y2= Análisis de estabilidad estructural

Y3= Data DIPS y UNWEDGE

Y4= Estabilidad estructuralmente controlada

Y5= Estabilidad controlada por esfuerzos

Y6= Dimensionamiento de tajeos

2.4.3. Operacionalización de Variables

PROBLEMA	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
¿Cómo se determinará la caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.?	<p>Independiente</p> <p>Caracterización geomecánica de la masa rocosa en la Compañía Minera Retamas S.A..</p>	Tecnología aplicada.	<p>Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia de la masa rocosa. ▪ Discontinuidades de la masa rocosa. ▪ Calidad de la roca. ▪ Índices geomecánicos. ▪ Esfuerzos insitu. ▪ Zoneamiento geomecánico.
	<p>Dependiente</p> <p>Análisis de la estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Retamas S.A.</p>		<p>Dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Compósito de discontinuidades ▪ Análisis de estabilidad estructural ▪ Data DIPS y UNWEDGE ▪ Estabilidad estructuralmente controlada ▪ Estabilidad controlada por esfuerzos ▪ Dimensionamiento de tajeos

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por la forma como se planteó el objetivo, es considerada una Investigación tipo de Tecnología Aplicada. Conforma a los propósitos y naturaleza del estudio, la investigación está ubicada en el nivel descriptivo

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se aplicará el diseño descriptivo correlacional, y se evaluarán cada una de las variables que participan en el estudio:

VARIABLES	V1 y V2 (Evaluables)
-----------	----------------------

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población (N). - Las labores mineras subterráneas que comprende la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.

Muestreo. - Se considera los diferentes tajeos de explotación que comprende las operaciones mineras en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.

3.4. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se efectúan trabajos de campo; revisión y análisis de la información disponible, levantamiento topográfico, reconocimiento geológico, toma de muestras para ensayos de laboratorio, reconocimiento de las labores mineras, mapeo geomecánico, La toma de datos es en forma directa e indirecta.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos será en forma directa, recopilando información en el departamento de ingeniería, planeamiento y geomecánica. Estos trabajos se orientan al proceso de información de campo, a fin de obtener informaciones básicas sobre los factores en relación a los problemas de inestabilidad de la masa rocosa; asimismo, se evalúa cada uno de los factores que influyen sobre la inestabilidad, realizando elaboración de planes de trabajo, interpretación de la masa rocosa, análisis de

laboratorio, Evaluación de estabilidad, clasificación geomecánica y zonificación geomecánica.

3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos relacionados a la masa rocosa y los tajeos de la mina serán tabulados y/o graficados se efectuarán mediante el análisis geomecánico para el dimensionamiento del tajeo. Asimismo, se hará uso de calculadoras, computadoras y softwares en relación a DIPS y UNWEAGE para el análisis respectivo, hasta la culminación de la misma.

Todos los datos que requieren ser tabulados y/o graficados se harán mediante análisis geomecánico para el dimensionamiento del tajeo. De igual manera se hará uso de calculadoras, computadoras y softwares para el análisis respectivo, hasta la culminación de la misma.

3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

Se ampliarán en lo necesario técnicas propias de la estadística descriptiva, como por ejemplo el cálculo de frecuencias absolutas y relativas, la elaboración de tablas de contingencia, histogramas y de diagramas circulares. Estas, además de facilitar la ordenación y comparación de datos, nos permiten conocer los parámetros de las muestras.

CAPITULO IV

GENERALIDADES DE LA MINA

4.1. GENERALIDADES

4.1.1. Ubicación y accesibilidad

La Compañía Aurífera Retamas S.A. (MARSA) se encuentra ubicada en el Distrito de Parcoy, Provincia de Pataz, Departamento de La Libertad a unos 411Km. de Trujillo a una altitud de 3950 m.s.n.m. El acceso a la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. es por carretera que parte desde la Ciudad de Trujillo, remonta la Cordillera Occidental de los Andes, cruza el río Marañón ascendiendo por el flanco Occidental de la Cordillera Central. (Ver figuras 4.1 y 4.2).

Se puede realizar por carretera de la siguiente forma:

Lima-Trujillo 562 Km. Asfaltada

Trujillo-Chirán 34 Km. Asfaltada

Chirán-Chagual 307 Km. Trocha Carrozable

Chagual-Mina 70 Km. Trocha Carrozable

Por vía aérea:

Lima-Pías Aprox. 1:10' Vuelo Chárter

Trujillo-Pías Aprox. 35' Vuelo Chárter

Figura N° 4.1: Mapa de Perú y Sudamérica

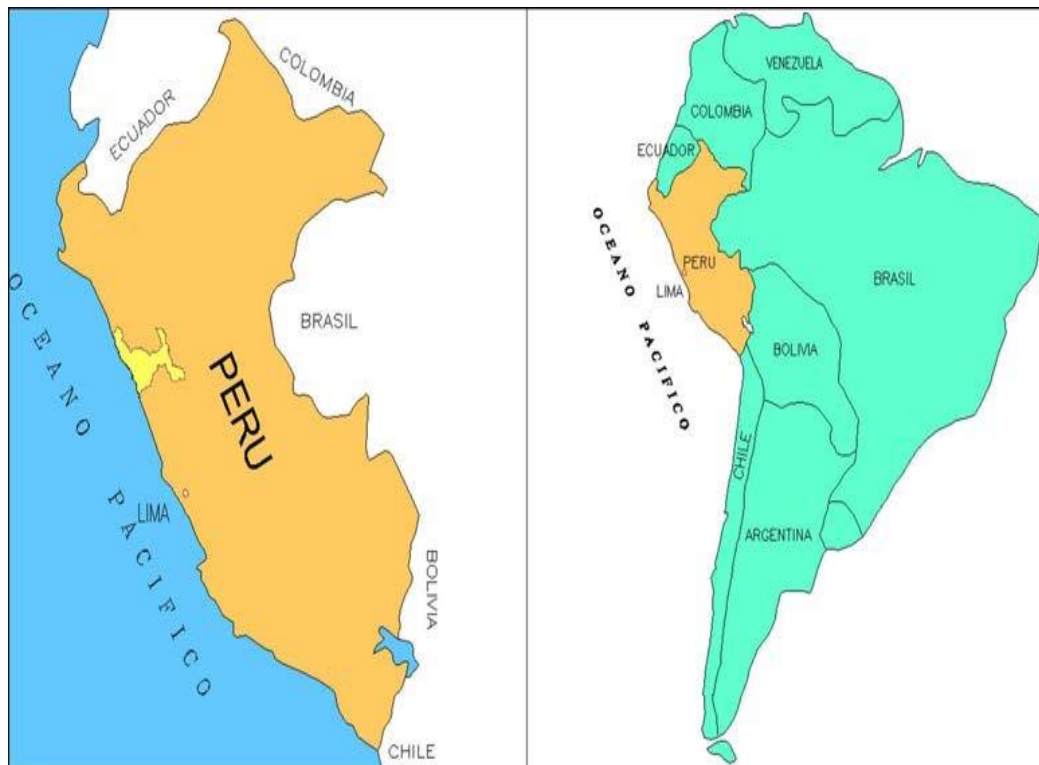


Figura N° 4.2: Mapa de la Región de La Libertad



4.1.2. Clima

Es predominantemente típico de la sierra, con dos épocas muy marcadas, una lluviosa de enero a mediados de abril y el resto del año con disminución de las lluvias, la temperatura varía entre 1°C - 18°C encontrándose las temperaturas más bajas en los meses de junio a agosto.

4.1.3. Relieve

Minera Aurífera Retamas S.A. se encuentra dentro de un importante distrito aurífero filoneano en una abrupta zona conformada por fuertes pendientes, El relieve es accidentado y abrupto, marcado por las quebradas como Porvenir Molinetes, Pomachay, Mushmush, San Vicente, Hiunchus, etc.

Los principales agentes modeladores a los eventos tectónicos son la erosión glacial y fluvial que han formado valles de fuerte pendiente (20%–35%), así como circos glaciares, creando un drenaje dendrítico en la zona. La mina tiene elevaciones hasta de 4260 m.s.n.m. (cerro Yurirca).

4.1.4. Recursos Humanos

Anteriormente la fuerza laboral provenía de la zona sur y central del Perú, pero por política de la empresa mediante el área de recursos humanos se está tomando personal obrero de los alrededores del lugar de las zonas de Llacuabamba, Tayabamba, Buldibuyo, Parcoy, Retamas, y de las ciudades de Trujillo, Cajamarca.

Hidroenergéticos

Gran parte de la provincia de Patáz, cuenta con la suficiente cantidad de agua, para satisfacer los requerimientos agrícolas y domésticos de las poblaciones aledañas. Considerando que ciertos tributarios del río Marañón, como los ríos Carrizal, Parcoy y Tayabamba, registran un caudal casi constante durante el año, parte de ese caudal se utiliza en la actividad minera.

Por caídas naturales que se muestran en su recorrido, se instaló una pequeña central hidroeléctrica de Tayabamba, propiedad de Hidrandina Sur, que actualmente abastece a MARSA, logrando un ahorro de 30,000 \$/mes, estando en

evaluación por las constantes fallas.

Actualmente la fuerza motriz es a base de compresoras suministradas con petróleo, con un consumo promedio de 80,000 galones / mes.

4.1.5. Reseña histórica

Minera Aurífera Retamas S.A. está situada al sureste del departamento de La Libertad. El yacimiento mineralógico constituye una parte de lo que los geólogos y científicos denominan el Batolito de Pataz, éste se forma hace aproximadamente 300 millones de años atrás. El científico italiano Antonio Raymondi en el año 1860 fue el que descubrió las inmensas riquezas mineras del departamento La Libertad y especialmente del cerro llamado el Gigante situado en la zona de Parcoy.

Los antiguos mineros, si bien trabajaron pequeñas vetas superficiales, éstos dejaron al descubierto las posibilidades de que algún empresario podría arriesgar alguna inversión para extraer esta riqueza. En el año 1980 el Dr. Andrés Marsano Porras decidió invertir en exploraciones del cerro Gigante y encontrar el oro del que hablaba el científico Raymondi. Es así como empieza MARSA a trabajar el primer túnel denominado corte negro realizando una explotación de forma artesanal conforme lo hacían los antiguos mineros.

En el año 1980 los ingenieros geólogos de la Empresa Bisa-Ingenieros, descubren pequeñas vetas, es cuando el Dr. Marsano arriesga invertir en una planta pequeña de 50 TM/día, ésta se inaugura el 14 de Julio del año 1983 desde entonces los retos cada vez son mayores y como en toda mina lo más importante es tener reservas probadas de mineral, en este que hacer diario, los geólogos descubren una gran veta y la llaman Esperanza a 4080 m.s.n.m., lo que conocemos como Nv. 4080-Huacrachuco. Posteriormente a medida que profundiza el yacimiento, van abriéndose los niveles Intermedio, Española, Españolita, Cabana. hasta llegar a R2 que es el nivel más bajo – 2950.

Por los años 1990 y 1995 amplían la capacidad de tratamiento de la Planta a 1 150 TM/día. A partir de 2005 se incrementa su capacidad instalada a 1 800 TM/día. Tras la desaparición de don Andrés Marsano en 1999, la posta del desarrollo de la empresa, ha sido tomada por sus hijos y a sus 30 años es una empresa moderna, eficiente y respetuosa de su entorno, que da trabajo a más de 3 500 personas.

4.2 . GEOLOGÍA

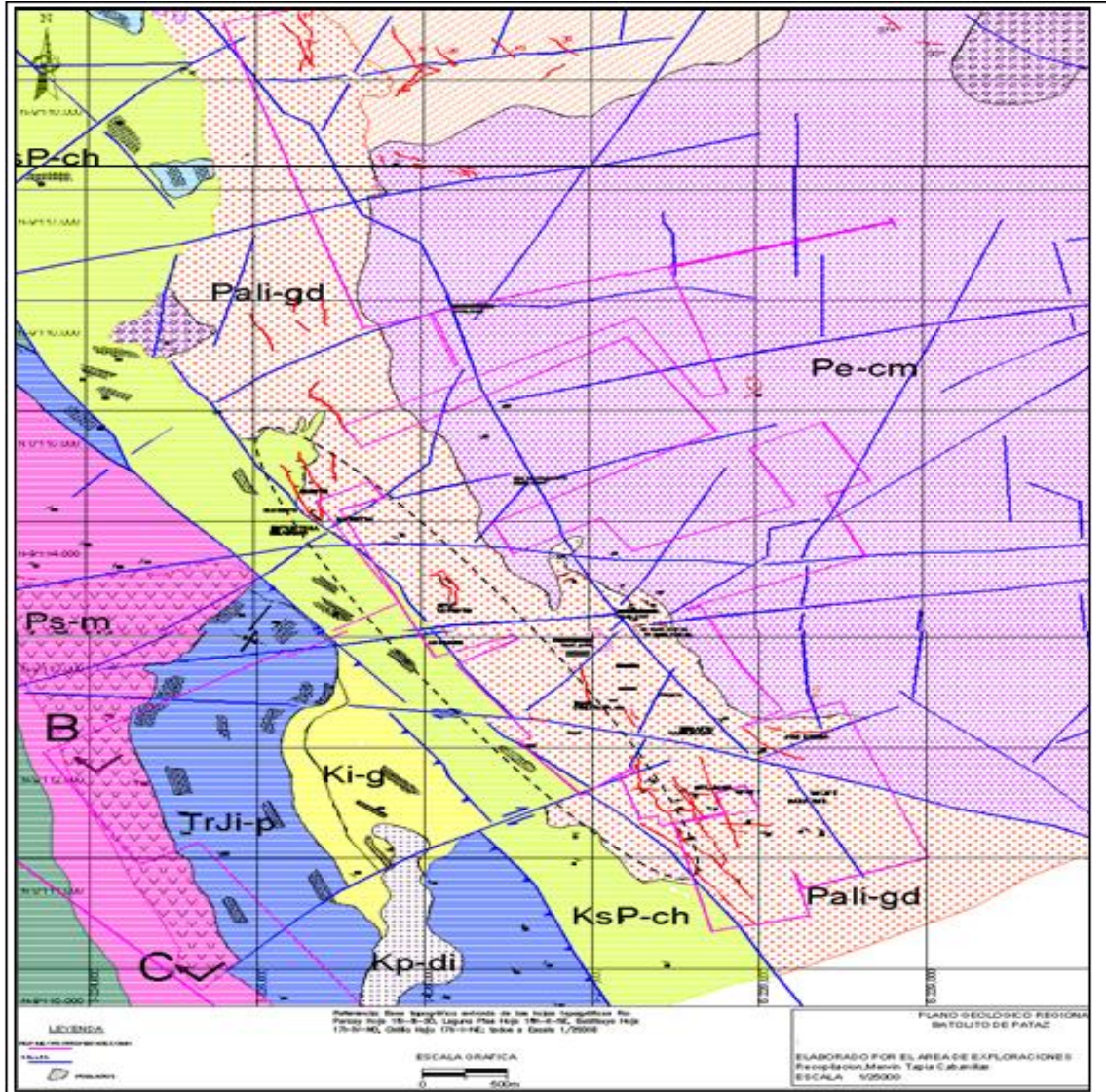
4.2.1. Geología Regional

Las características geológicas desarrolladas en la región están ligadas a la evaluación estratigráfica y estructural de la cordillera los andes en su segmento oriental del sector norte del Perú conformado por superposición de tres ciclos: el Precámbrico, Hercínico y Andino. Áreas glaciadas, altiplano y valle constituyen la morfología. (Ver Plano N° 4.1).

En el Precámbrico se constituye base estratigráfica denominado como “Complejo de Marañón” se compone principalmente de esquistos, filitas y secuencias variadas de rocas metas volcánicas de tobas e ignimbritas, esta secuencia que supera los 2 000 m de espesor, son mejor y mayor apreciadas en los márgenes del río Marañón.

En el Paleozoico, sobre el complejo de marañón se ubican rocas volcánicas conocidas bajo el nombre de meta volcánicas a fines del ciclo precámbrico y sobre ella se desarrolló el ciclo Hercínico con una secuencia de turbidíticas de colores oscuros, sobre cientos de metros la que es reconocida como la Formación Contaya del Ordovícico, especialmente se encuentran ubicadas en bordadura externa del Batolito de Pataz (al norte preferentemente en el flanco Oeste y al Sur en los dos flancos) o como secuencias colgadas (desde enclaves a xenolitos) al interior de esta.

Plano N° 1: Geología Regional



LEYENDA							
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITO-ESTR.	LITOLOGIA	DESCRIPCION	ROCAS INTRUSIVAS	
CUENZAL	PALEOGENO	Holoceno	Deposito Cuaternario		Gravas, arenas	<p>P. P. gneis</p> <p>P. A. - Anfibolitas</p> <p>P. Q. Cuarzo</p> <p>ANFIBOLITAS</p> <p>Diabasa, Diorita</p> <p>Granodiorita</p> <p>Diabasa</p> <p>P. gneis - Estofado</p> <p>Granite</p> <p>Diabasa-Granodiorita</p>	
		Paleoceno					
MESOZOICO	CRETACEO	Superior	Fm. Chota	KaP-ch	Areniscas, Arcillas, conglomerados de color rojo.		
		Inferior	Fm. Cansueñas	10-cf	Margas areníferas, calizas y lutitas.		
			Gpo. Goyllarisquiza	10-g	Cuarzos, Areniscas, arcillas		
JURASICO	Inferior	Grupo Pucara	TuJ-p	Calizas de color gris.			
PALEOZOICO	PERMICO	Superior	Grupo Mito	Per-m	Areniscas, calcarenitas, conglomerados rojos, areniscas volcánicas compuestas de tufos y aglomerados de tufos, andesitas.		
		Carbonífero	Superior	Volcánicos Lavasen	Op-lav		Andesitas
			Inferior	Grupo Argjo	Cl-a		Areniscas, lutitas, arcillas, conglomerados
PRE-CAMBRIICO			Complejo Marañon		Filices, Metabásicos (Andesitas, diábas, Rodacitas).		

Fuente: Departamento de Geología

A inicios del Carbonífero empieza una sedimentación continental conocida como Grupo Ambo la que se compone de lutitas, areniscas y algunos horizontes de conglomerados formando secuencias superiores a los 300 m, de mayor expansión en el sector occidental del valle del Marañón. A fines del Paleozoico se depositan areniscas y conglomerados de coloración rojiza a las que se designa las molasas del Grupo Mitu.

En el Mesozoico, la sedimentación del ciclo Andino comienza con las calizas y dolomitas del grupo de Pucará del Triásico-Jurásico, sobre yacen en el grupo Mitu u otras formaciones anteriores en discordancia angular con una potencia mayor a los 500 m, la formación Goyllarisquizga del Cretáceo inferior se caracteriza por areniscas con intercalaciones de material pelítico con una potencia entre 100 y 300 m.

Poderosa se emplaza en la cordillera oriental, al este del río Marañón; con tres sectores mineralizados de oro, sector norte La Lima, sector central Papagayo y sector sur El Tingo.

Desde el punto de vista estratigráfico la edad de las rocas está comprendido entre el Precámbrico al Cenozoico; litológicamente las rocas que predominan son las intrusitas del batolito de Pataz (carbonífero), el cual presenta un alto grado de meteorización, en especial cuando predomina minerales de Plagioclasa y ortosas, que se alteran rápidamente, originando suelos arenoso de grano grueso. Seguidamente, en proporción están las rocas metamórficas como esquistos y filitas que presentan marcada esquistosidad, que le confiere un alto grado de

inestabilidad, más aun los planos presenta una marcada inclinación en el sentido de la pendiente del terreno; se le asigna una edad precámbrica. Se tiene rocas volcánicas con estructuras en almohadillas con niveles piroclásticos, que sobre yacen a las filitas y su edad estaría comprendida en el Cámbrico. La presencia de pizarras, areniscas y lutitas indican rocas pertenecientes al paleozoico inferior. Rocas pertenecientes al Paleozoico superior están representadas por la secuencia de lutáceas y areniscas del carbonífero, también se tiene una secuencia continental de capas rojas de edad pérmica. Una secuencia de calizas y dolositas es atribuida al Triásico Superior-Jurásico. El Mesozoico está representado por una secuencia continental compuesta por areniscas y calizas. El Cenozoico está representado por rocas continental correspondiente a areniscas y limonitas rojas.

El ensamblaje de las vetas constituye una asociación típica mesotermal de cuarzo- piritita-oro. La mineralización se debe al relleno hidrotermal de fisuras originado principalmente en las rocas metamórficas, ubicándose por lo general muy cercana al contacto con el batolito granodiorítico aunque se puede encontrar también dentro del cuerpo intrusivo mismo. El yacimiento explotado por CMPSA es del tipo filoniano.

4.2.2. Estratigrafía

En la región de Patáz se han estudiado durante mucho tiempo las unidades estratigráficas por distintos autores, este trabajo presenta el análisis y reconocimiento detallado de campo por los Geólogos de

C.M.H.S.A. y los estudios de Wilson y Reyes (1964). (Ver Lámina N° 4.1).

4.2.2.1. Precámbrico

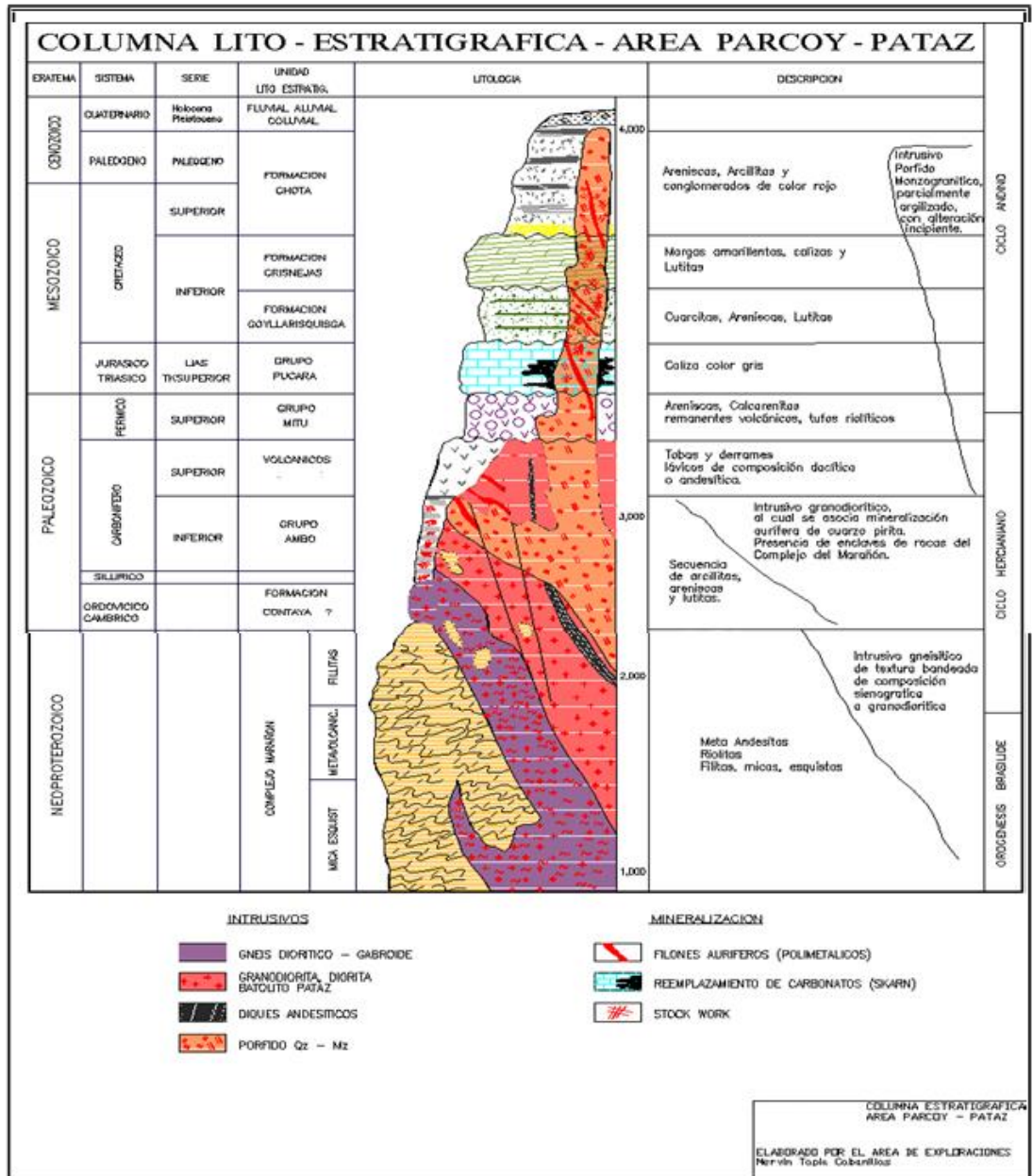
El Complejo del Marañón (Pe-cm)

Está presente a lo largo del Valle del Río Marañón así como en la margen derecha del Río Llacuabamba – Parcoy. Es una secuencia polimetamórfica que presenta diferentes estilos estructurales caracterizado por polifases de fuerte deformación, está formado por 3 unidades descritas en el orden decreciente en edades.

- Mica esquistos, que yacen en el fondo del Complejo
- Meta volcánicos
- Filitas de naturaleza turbidita (Wilson y Reyes 1964).

Todo este paquete metamórfico regional alcanza 1 Km. de espesor en promedio, la edad asignada a este complejo se puede determinar con los análisis desarrollados por K\Ar en 600 Ma. atribuyéndose al Pre – Cambriano para la principal deformación regional;(Haeberlin Y., et al. 2000, Late Paleozoic orogenic gold deposit in the Central Andes, SouthAmerica) correlaciona al Complejo del Marañón con las formaciones.

Lámina N° 4.1: Columna Estratigráfica



Fuente: Departamento de Geología

metamórficas en las Sierras Pampeanas de Argentina donde las series basales fueron metamorfizadas durante la Orogenia Pampean. Asimismo, distintos análisis comparativos podrían determinar que el Complejo del Marañón constituye un “Greenstone belt” por las características petrológicas y de metamorfismo regional con unidades inferiores de material ultramáfico provenientes de zonas de obducción durante la separación del continente Pangea (Paredes J. 2000, la mineralización de oro mesotermal en el greenstone belt de los andes Nor Orientales del Perú).

4.2.2.2. Paleozoico Superior

Grupo Ambo (Ci-a)

De edad Mississipiano (Carbonífero inferior), esta formación se produjo durante un periodo de distensión de la fase final de la tectónica Eohercínica generando fallamientos normales con subsidencias las que fueron rellenadas con material clástico en ambientes fluviales y deltaicos.

Litológicamente está constituido por areniscas, lutitas y conglomerados pertenecientes al Carbonífero inferior, aflora en la parte sur de la Mina de Parcoy (zona Mishito) con apariencia de “roof pendant” o “techo colgante” sobre yaciendo al intrusivo granodiorítico. Este evento tectónico de distensión genera grandes fallamientos de carácter regional los cuales serán los conductos de emplazamiento de Batolito de Patáz. La distensión y la subsidencia

al final del periodo generó un volcanismo efusivo que se prolonga hasta el Pensylvaniano.

Volcánicos (CsP-v)

Presenta amplia distribución en las partes altas del área de estudio, al Este del Batolito se ven los afloramientos de los piroclastos y derrames volcánicos de composición riolítico a andesítico, de edad Carbonífero-Pérmico.

Grupo Mitu (Ps-m)

En el Pérmico superior se produce una intensa erosión de las áreas levantadas durante la Fase Tardihercínica, produciéndose el relleno de zonas negativas con secuencias de molasas rojas las cuales fueron transportados por agentes fluviales Este grupo se presenta como remanentes volcánicos compuestos principalmente por tufos y aglomerados riolíticos de edad Pérmico superior.

Aflora en la zona de Pilacones, Pampa Espino (Potacas), el color predominante es el rojo ladrillo. Este fracturamiento y vulcanismo caracteriza un régimen de distensión en todo el planeta a fines del Paleozoico y comienzos del Mesozoico.

4.2.2.3. Triásico – Jurásico

Grupo Pucará (TrJi-p)

Producto de una sedimentación marina, está conformada por secuencias de calizas grises y carbonosas, con presencia de

nódulos de chert, calizas intercaladas con lutitas, dolomitas, margas y areniscas calcáreas. Está conformado por 3 formaciones:

- **Formación Chambará (Tr-ch)**

Es la secuencia inferior del Grupo Pucará, está conformada de calizas de color gris a gris oscura intercalada con calizas bituminosas, y calizas dolomíticas.

- **Formación Aramachay y Condorsinga (Ji-ar-c)**

Estas secuencias se caracterizan por la presencia de niveles de Chert en la parte superior de las formaciones. En la zona de Patáz estas formaciones han sido motivo de intensas exploraciones en la búsqueda de Pórfidos o cuerpos de reemplazamientos obteniendo resultados satisfactorios en una primera etapa, sobre todo en la zona de Chilia, está claro que es un blanco anómalo aún por explorar.

4.2.2.4. Cretáceo

Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

Cretáceo en el Perú está bien desarrollado, muestra secuencias completas en el norte y centro del territorio, sin embargo, en la zona de estudio los afloramientos no están bien reconocidos en todas sus formaciones, sus ejes de plegamiento se enrumban en un sistema común al sistema Andino. Se constituye de 4 formaciones diferenciadas en su litología y secuencia deposicional, Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

Formación Crisnejas (Ki – cr)

Litológicamente consiste de una secuencia de calizas, areniscas calcáreas y margas. El contacto inferior y superior están en discordancia erosional a las areniscas del Grupo Goyllarisquizga y sedimentos clásticos de la Formación Chota respectivamente. Se le asigna una edad de Albiano medio, aflora ampliamente en la zona Pampa Espino, en el cerro Piletas, al NE y SW de la zona de estudio.

Formación Chota (KsP – ch)

Está formado por una serie de cobertura de ambiente continental que aflora en el sector Este de la zona de estudio, como capas rojas compuestas por conglomerados, areniscas, lutitas y limolitas de color rojo intenso, yace en discordancia erosional a la Formación Crisnejas. Se le asigna una edad de Albiano medio, aflora ampliamente en la zona Pampa Espino, en el cerro Piletas, al NE y SW de la zona de estudio.

4.2.2.5. Depósitos Cuaternarios (Qr – al)

Los depósitos acumulados en el Cuaternario son principalmente eluviales-coluviales y aluviales. Los depósitos eluviales y coluviales que están presentes en la zona, son productos de la descomposición de las rocas in-situ (principalmente las rocas de la Formación Chota). Los depósitos aluviales están localizados en las quebradas y faldas de los cerros.

4.2.3. Geología Estructural

Según el cuadro tectónico descrito por Wilson y Reyes (1967), para la zona existen tres unidades tectónicas: un área de pliegues, un área imbrincada y una zona de bloques fallados; siendo ésta última la que correspondería a nuestra área de estudio. El área de bloques fallados se caracteriza por haber sufrido movimientos predominantemente verticales a lo largo de fallas, que tienen rumbo aproximado NE - SE. (Ver Figura 4.3).

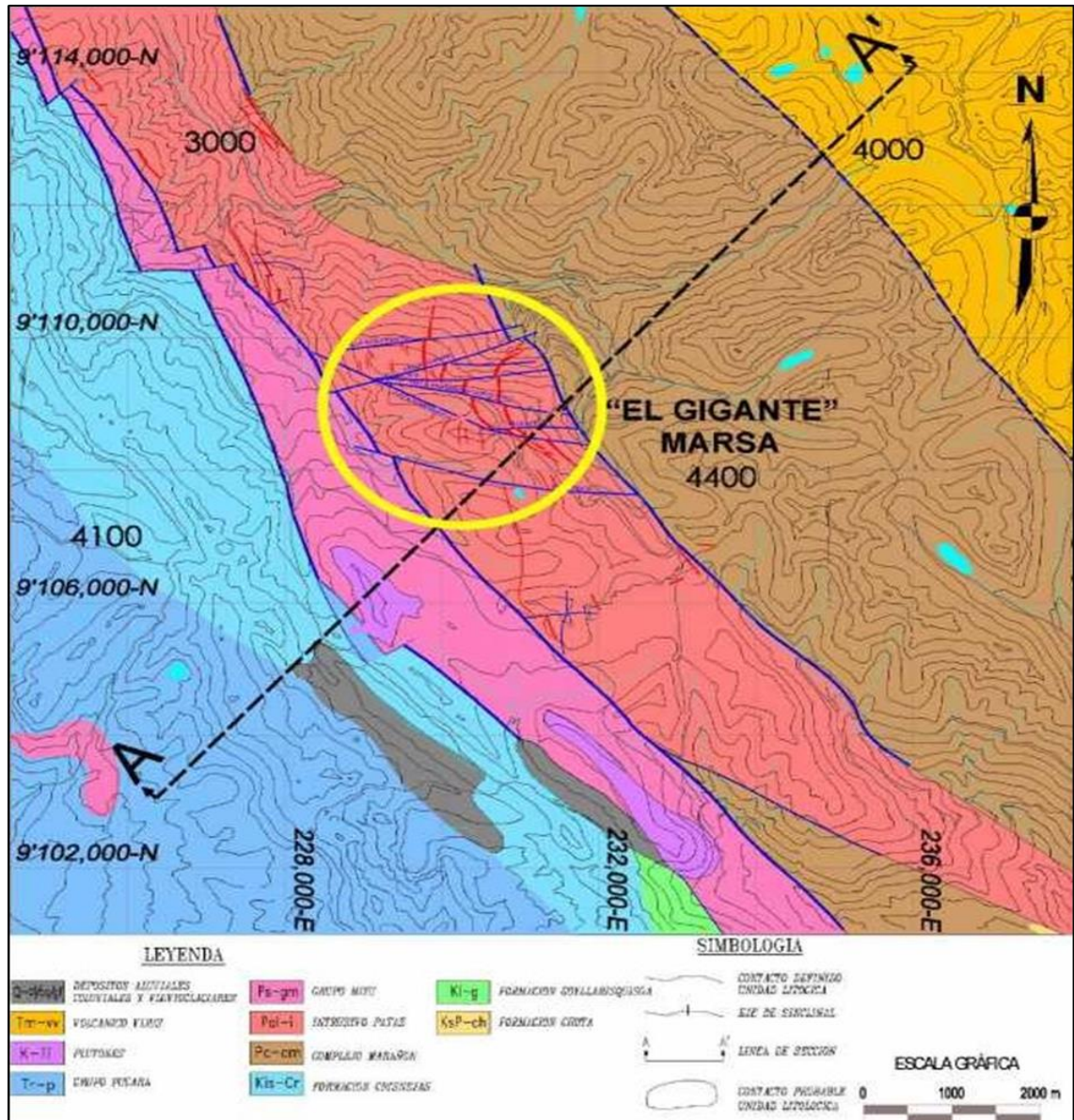
Uno de los ejes principales de fallamiento, correspondería al valle del Marañón, donde es común hallar rocas del Complejo Marañón en contacto – fallado con las formaciones mesozoicas. Los desplazamientos verticales producidos por las fallas son generalmente muy considerables. Estos han originado un desnivel de hasta 2,000mt.

La estructura general de los bloques muestra un predominio de pliegues anchos y abiertos en los sedimentos del Paleozoico Superior y Mesozoico, a pesar de que las fallas regionales produjeron cierto desplazamiento horizontal; sus movimientos principales fueron verticales.

4.2.4. Mineralización

La mina Retamas, se halla en la provincia metalogenética de Lima-Huaylillas en la cordillera oriental.

Figura 4.3: Geología Estructural



Fuente: Departamento de Geología.

Son vetas hidrotermales de posible alcance mesotermal (2000-3000C), es probable que en el Precámbrico y Paleozoico haya

mineralización singenética (cuarzo con oro concordante a los estratos del complejo del Marañón), parte de lo cual habría sido absorbido por el batolito adicionando el flujo de mineralización.

Mineralógicamente se tiene cuarzo lechoso, cuarzo gris, pirita, arsenopirita, galena, en menor proporción esfalerita, chalcopirita, pirrotita, tetraedrita. El oro libre en el cuarzo lechoso, como eléctrum con la plata, en la pirita y arsenopirita y en menor proporción con los otros minerales. En la zona lixiviada (afloramiento) la ley de oro decrece, en la zona oxidada la ley aumenta.

Se observa seritización mesotermal, caolinización, propilitización (epitermal superior) como alteración hipógena que varía de centímetros a 3 m.

La textura de las vetas en masiva, bandeada y con rellenos de varios periodos de reactivación, que indican una gran presión en profundidad durante la mineralización.

Su secuencia paragenética es como se indica: cuarzo inicial continuando su deposición durante la metalización del oro, seritización, caolinización, propilitización, pirita, arsenopirita, oro-eléctrum, pirrotita, chalcopirita, esfalerita, galena, minerales oxidados.

Las vetas tienen un rumbo N-S y tiene longitudes de más de 1 000 m, cuyo ancho varía de 0,5 a 1,0 m. respectivamente.

4.2.5. Controles de Mineralización

a. Controles Estructurales

En cuanto a las guías fisiográficas, diremos que las estructuras mineralizadas de la zona algo conspicua en sus afloramientos. Generalmente ofrecen una depresión en el terreno, a manera de trincheras, haciendo variar en muchos sitios la topografía local. Esto se debe principalmente a que el relleno de la estructura posee una dureza diferente a la roca de caja, y en este caso el relleno es más suave que el intrusivo alterado.

b. Controles Litológicos

El control litológico está dado por las rocas intrusivas que son las más favorables para la formación de estructuras bien definidas. Así tenemos que los mejores yacimientos se encuentran en las partes críticas de los Batolitos de Patáz y Parcoy, mientras que hacia los bordes y en el contacto con dichos batolitos (con las filitas), los yacimientos ofrecen valores más bajos en Oro. Esto se puede observar en el borde SE del Batolito de Parcoy. Más al sur, ya en Tayabamba, la roca de la caja predominante es la filita. Aquí los valores de Oro son bastante bajos, en cambio se incrementan las leyes de Cobre.

c. Control Mineralógico

En cuanto al control mineralógico se puede afirmar que la pirita es el mineral más importante de la zona. Esta contiene gran porcentaje de Oro.

El cuarzo en su variedad lechosa es muy frecuente como mineral de

ganga, pero no siempre contiene minerales de Mena, especialmente cuando la estructura es potente (2.0 - 5.0 metros); en cambio las vetas angostas parecen contener buenos valores. También existen en la zona diques de cuarzo de 6 a 10 metros de potencias, y estos contienen disseminaciones o estructuras más angostas con minerales metálicos de Oro y Cobre.

El control estructural de la región y de los filones de la región determina que la mayoría de ellos están relacionados a fuerzas compresivas provenientes del lado E y S que han originado fracturas de cizallamiento; dentro de las cuales se encuentra la mayoría de las vetas, especialmente las de Parcoy y El Gigante que tienen orientaciones NS - SE.

Un grupo más reducido de vetas con orientación cercana a E y S, corresponden a fracturas del tipo tensional. En conclusión se puede afirmar que en la región son más favorables a la mineralización las fracturas de cizallamiento.

4.2.6. Reservas

Entre los criterios de cubicación se considera: La toma de muestras, Categorías de mineral, Nomenclatura de blocks, Delimitación de blocks, Cálculo de áreas, Cálculo de volumen, Cálculo el peso específico, Cálculo de tonelaje, ley del block, Determinación de la dilución, Ancho de minado, Área minada, Volumen minado, Tonelaje minado, Ley de minado, Ley

económica o rentable.

Inventario de reservas minerales:

SECCIÓN	TMS	POTENCIA (m)	(gr. Au/TM)
Gigante	1,164	1.05	10.61
Huacrachuco	9,221	0.96	17.32
Porv. Intermedio	15,569	1.07	15.32
Por. Medio	4,038	0.78	14.79
Nivel Cinco	17,812	0.94	14.87
Las Torres	8,041	0.69	11.98
La Española	45,017	0.93	16.95
La Españolita	92,391	0.75	16.63
Cabana	81,969	0.74	19.29
Virtud	18,775	0.80	21.04
San Vicente Alto	12,237	1.12	16.14
San Vicente	45,402	0.87	15.91
Las Chilcas	187,35	0.84	21.49
Total	538,98	0.83	18.6

4.3 MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

4.3.1. CORTE Y RELLENO ASCENDENTE

El método de explotación es Corte y Relleno Ascendente Convencional en vetas Sub-horizontales (buzamiento de 30° en promedio), se utiliza máquinas perforadoras Atlas Copco y palas neumáticas Eimco 12B y 21B en el caso de laboreo de sección 2.10m. x 2.40m (7' x 8'). La extracción del mineral es realizada por 2 winches de arrastre colocados en serie, uno seguido de otro cada 40 metros. Los winches eléctricos son de 15 hp, con rastra de 32", brazo armado y cable de ½", se extrae el mineral en línea recta hasta la Galería principal.

4.3.1.1. Condiciones del block a explotar

La caja techo y el mineral son medianamente competentes (cuando la valoración del RMR sea mayor a 40). Potencia del yacimiento mayor a 40 cm y buzamiento de 30°.

4.3.1.2. Labores de desarrollo y preparación

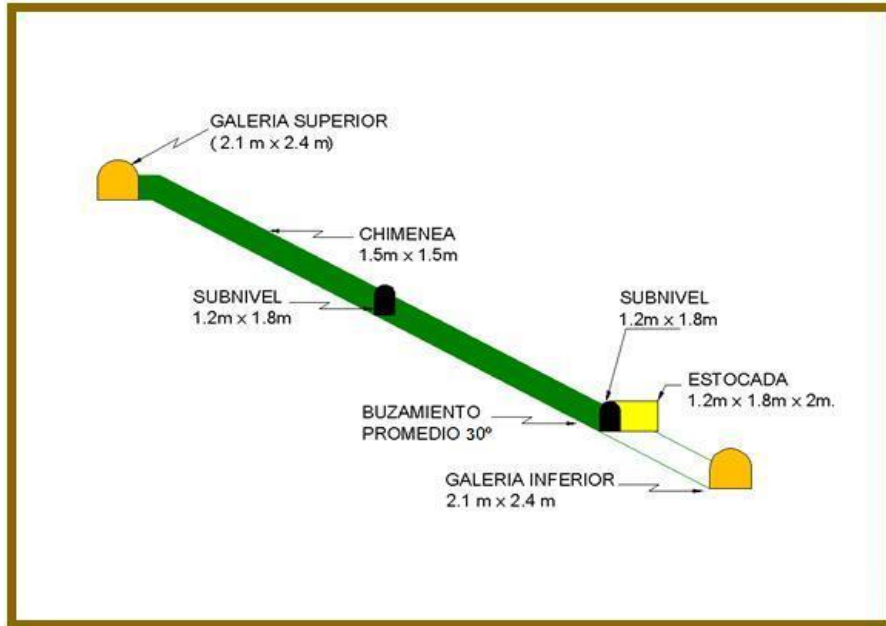
El laboreo lineal consiste en ejecutar una Galería en Exploración o Desarrollo de acceso y vías para el transporte del mineral de Sección 2.1 m de ancho por 2.4 m de altura. Se desarrolla Chimeneas de Exploración o Desarrollo cada 40 m., que son luego echaderos de mineral de 2.4 m. de ancho x 1.8 m. de altura (buzón-camino), con una longitud de 3 a 4 metros. Seguido de una sección de 1.5 m por 1.5 m (Ver figuras N° 4.4 y 4.5).

En la chimenea se instala una parrilla de 1.2 m. de largo x 1.2 m de ancho (Ver Fig. 5.1. y 5.2.). En la Chimenea realizar una Cámara para el winche de 1.2m de ancho x 1.8m. Altura x 2m de largo, ubicada en la caja techo y a la altura del subnivel base, y en dirección de las chimeneas.

Subnivel base de sección 1.2 m de ancho x 1.8 m de altura, a una distancia de 5.0 m. de la Galería. Se prepara el subnivel intermedio de sección 1.2 m de ancho x 1.8 m de altura y a 20 metros alejado del subnivel base.

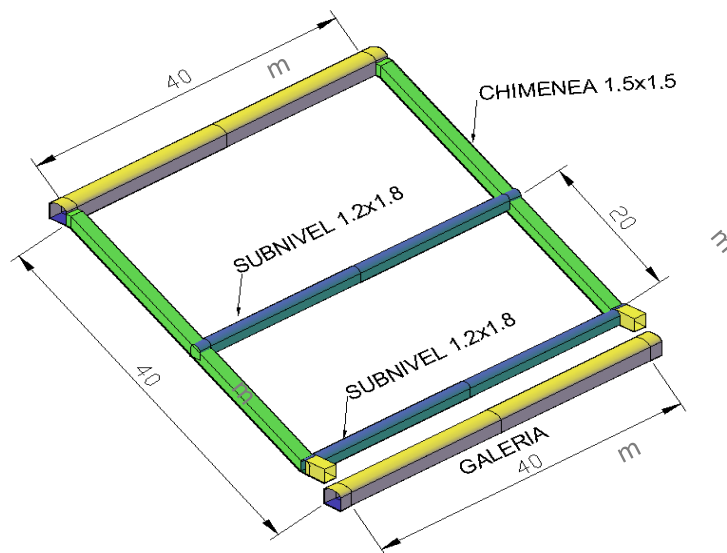
Desarrollar las cámaras (chimeneas) de Preparación a 20 m. de las chimeneas de desarrollo en dirección del buzamiento (ascendente), de sección 2.4 m de ancho x 1.50 m de altura como máximo (dependiendo de la potencia de veta) y 1.5 m de largo.

Figura N° 4.4: Vista Transversal del esquema de Corte y relleno Ascendente



Fuente: Departamento de Planeamiento

Figura 4.5: Vista del Laboreo de Preparación y Desarrollo del C&R



Fuente: Departamento de Planeamiento

Los paneles o bloques a explotar son de 20 m x 20 m.

4.3.1.3. Minado

El avance será ascendente en dirección del buzamiento de la veta, para vetas regulares, y la longitud de taladro es de 5 pies (Ver Fig. 4.6).

El avance será en breasting en dirección del rumbo de la veta, para vetas muy irregulares o tipo rosario, y la longitud de taladro será de 5 pies.

El equipo de limpieza está conformado por winches de 10 Hp ó 15 Hp, y rastras de 24" y 32" respectivamente. El sostenimiento se realiza con puntales de madera de 6', 8' y 10' en combinación con Jackpot espaciados entre 1.2 a 1.5 m. Cuando el fracturamiento del techo es intenso, se instala cuadro de madera como soporte y guarda cabeza. Como sostenimiento natural se diseñan pilares laterales: Pilar menor 3 x 4 m y Pilar mayor 3 x 6 m.

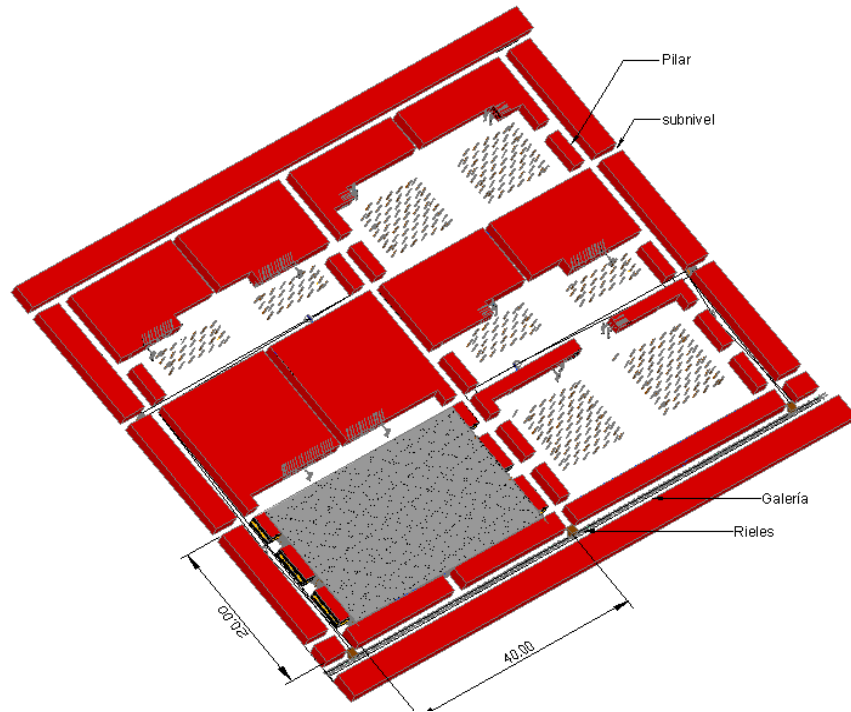
Finalizada la explotación se rellena los espacios vacíos con el RH (Ver figuras N° 4.6 y N° 4.7).

4.3.1.4. Servicios generales y auxiliares

Las válvulas principales de agua y aire deben estar ubicadas en el ingreso de la galería principal de acceso al block.

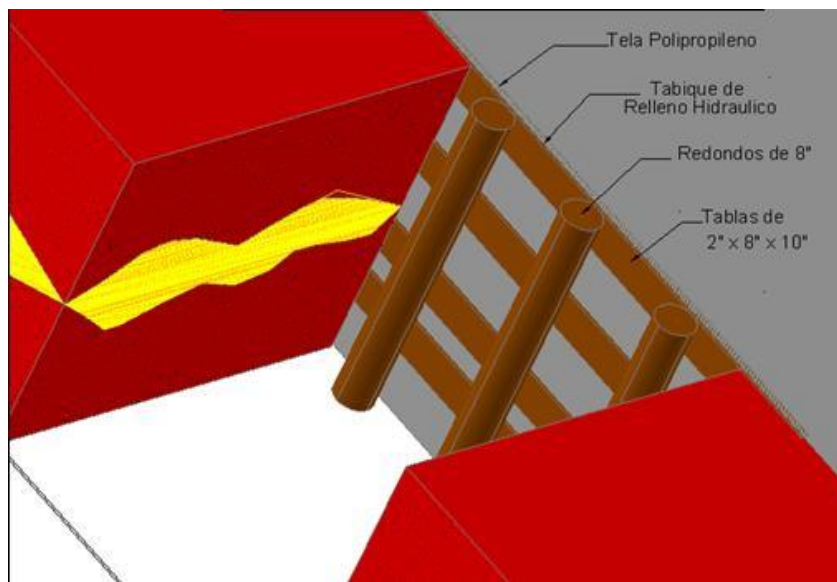
Las tuberías de servicios irán al lado opuesto de los cables eléctricos.

Figura N° 4.6: Explotación Cíclica del método C&RA



Fuente: Departamento de Planeamiento

Figura N° 4.7: Disposición del R.H.en Tajeos de C&RA



Fuente: Departamento de Planeamiento

El relleno que se utiliza es Hidráulico (RH) 100% Relave, con una densidad promedio de 1800 gr/lit. se deposita mediante tuberías de acero de 4" que bajan por una Raise Climber Vertical de 150.0 m. de longitud y cada 50 m se coloca un rompe presión para controlar la velocidad. Llegando al nivel 3125 se conecta con una tubería de polietileno (HDPE) de 4" y el drenaflex de 3" para drenaje de agua cuando está en relleno, su relación de empuje es 1V/5H es decir por cada 100 m. de vertical puede empujar hasta 500m. en horizontal.

La ventilación es natural, su ingreso es por la Rampa Principal de donde se accesa al nivel 3075, sube por las chimeneas de Exploración o Desarrollo ventilando los tajos y saliendo por el nivel 3125 hacia la Raise Climber de servicios y llegando al circuito cerrado de Chilcas-San Vicente y superficie con un extractor de 150,000CFM.

4.3.2. Cámaras y Pilares

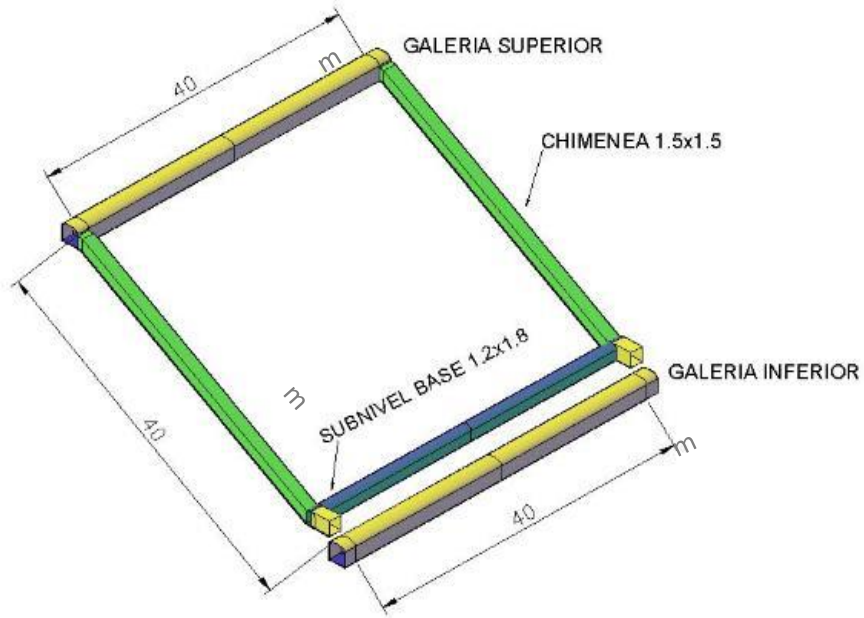
4.3.2.1. Parámetros geomecánicos

- Aplicar el estándar de evaluación geomecánica determinando el tipo de sostenimiento y la densidad del mismo.
- Caja techo semi duro (cuando la valoración del RMR sea menor igual a 40.
- Potencia de veta mayor a 40 cm.

4.3.2.2. Diseño e ingeniería

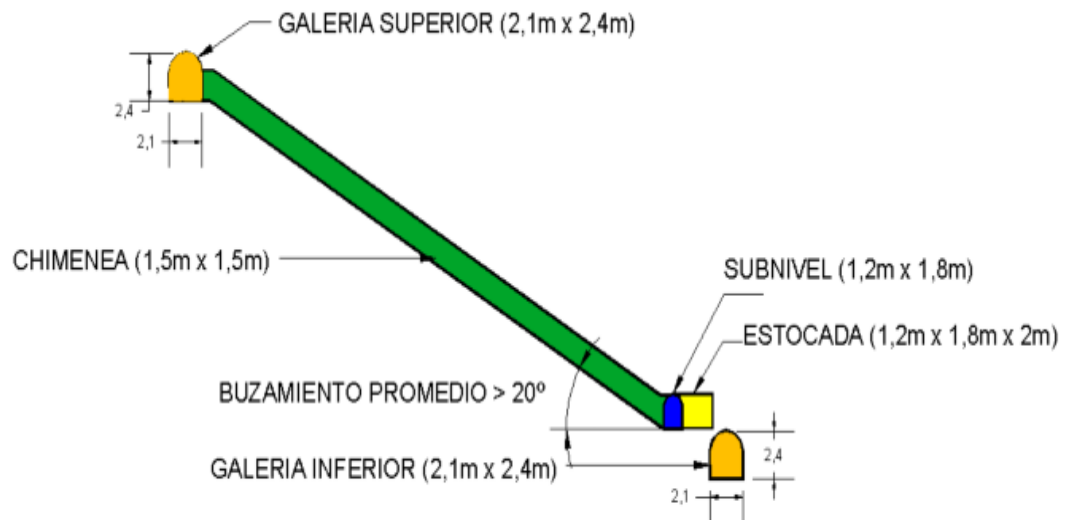
- Galería de acceso y vías para el transporte del mineral con sección 2.10 m de ancho, 2.40 m de altura.
- Cuando los blocks son demasiados grandes se construye by pass para la extracción.
- El Block debe estar limitado por un subnivel base y dos chimeneas laterales, ver figuras (N° 4.8 y N° 4.9).
- El puente entre la galería y el subnivel tendrá 3 m.
- Apertura de buzón-camino (doble compartimiento) con sección de 2.40 m de ancho, 1.50 m de altura, con una longitud de 3 a 4 m.
- Instalar parrilla de 1.2 m de largo x 1.2 m de ancho, utilizando el estándar de parrilla en echaderos.
- Desarrollar cámara para el winche de 2 m de ancho, 1.80 m de altura y 2 m de largo, ubicada en la caja techo y a la altura del subnivel base, y en dirección de las chimeneas.
- Instalar winche de 7.5 HP, 10HP ó 15HP con rastras de 24", 32" ó 36" respectivamente.
- Desarrollar subnivel base de sección 1.20 m de ancho x 1.80 m de altura, ver figura N° 3
- Desarrollar chimeneas de ventilación y de servicios de 1.50 m de ancho x 1.50 m de altura, desarrollar desde el subnivel base hasta el nivel superior. (Ver figura N° 4.10).

Figura N° 4.8: Vista Isométrica



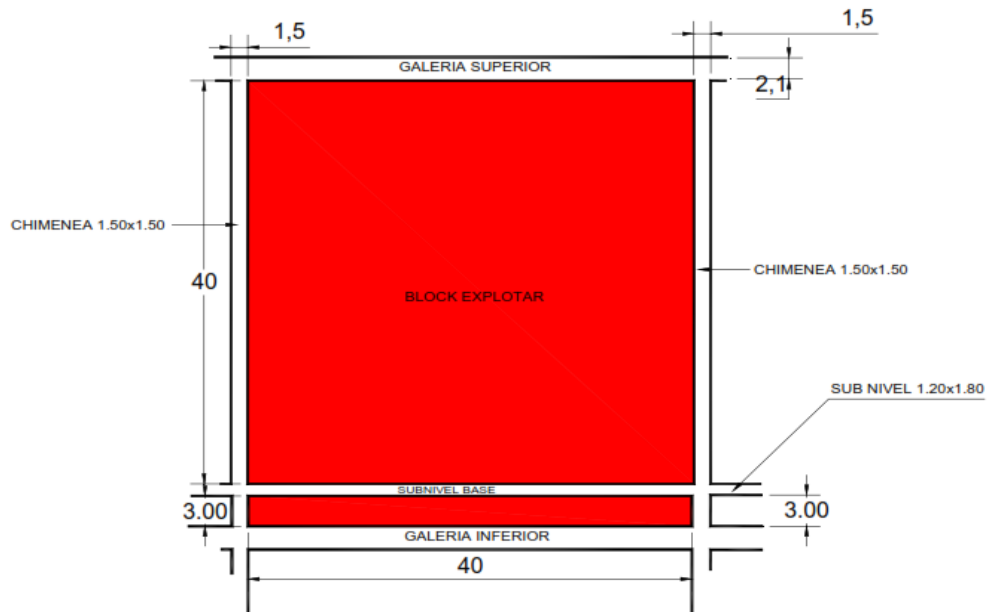
Fuente: Departamento de Planeamiento

Figura N° 4.9: Vista Transversal



Fuente: Departamento de Planeamiento

Figura N° 4.10: Bloqueo de Tajo

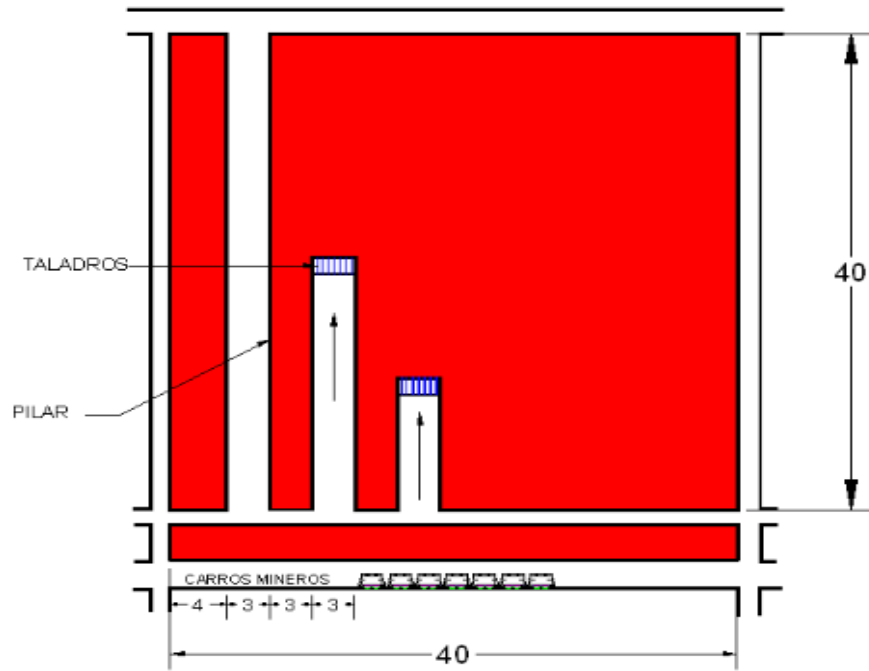


Fuente: Departamento de Planeamiento

4.3.2.3. Operación

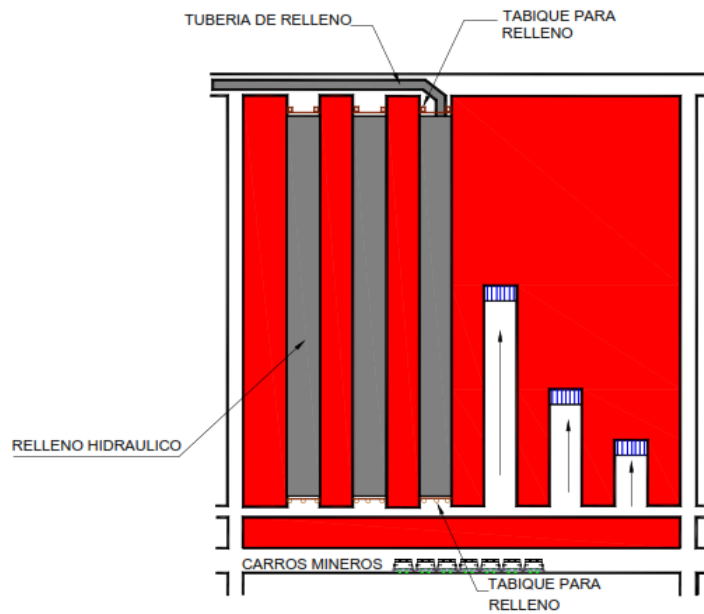
- Desarrollar las cámaras en dirección del buzamiento (ascendente), de sección 3 m de ancho x 2.40 m de altura como máximo. (ver figura N° 4.11).
- Distancia mínima entre sostenimiento con cuadros: 1.20 m
- Longitud de taladro: 5'
- Las cámaras concluidas serán rellenados previo barrido.
- Recuperación de los pilares centrales, cuando el relleno está percolado (seco). (Ver figura N° 4.12. y N° 13).
- Una vez recuperado los pilares centrales del tajo rellenar completamente previo barrido y lavado.

Figura N° 4.11: Avance de Cámaras



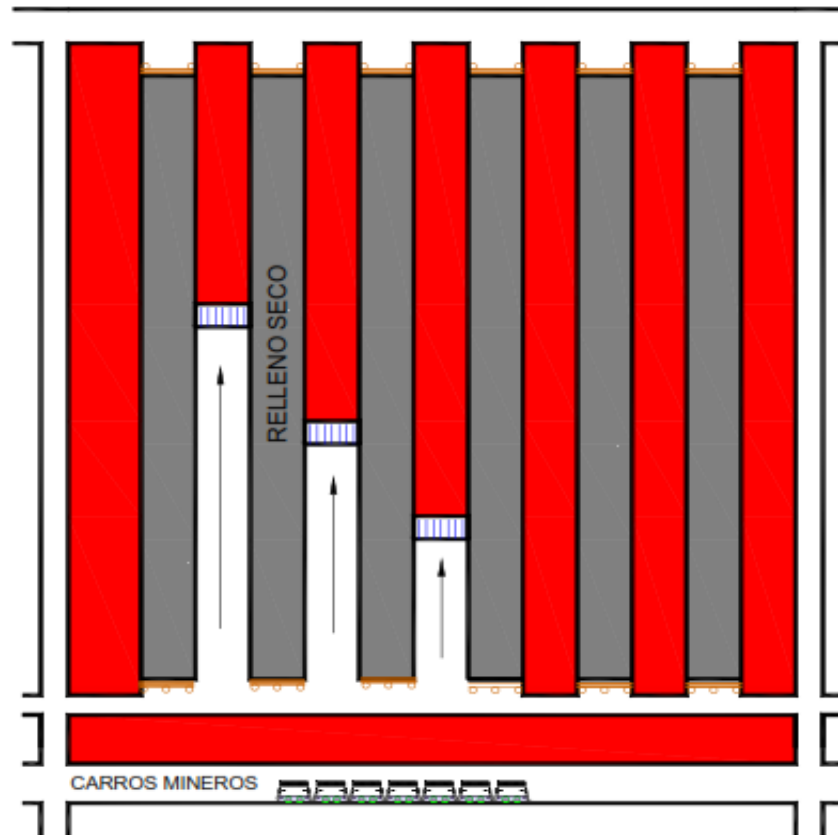
Fuente: Departamento de Planeamiento

Figura N° 4.12: Cámaras rellenas y Cámaras en Avance



Fuente: Departamento de Planeamiento

Figura N° 4.13: Recuperación de Pilares Alternos



Fuente: Departamento de Planeamiento

4.3.2.4. Servicios

- Las válvulas principales de agua y aire deben estar ubicados en el ingreso de la galería principal de acceso al block.
- Las tuberías de servicios irán al lado opuesto de los cables eléctricos.

4.3.3. Long Wall Mining

Para cumplir con el abastecimiento de mineral a la planta, cuya capacidad es de 1 800 TM/día; la veta Valeria aporta en la actualidad un 30% del total de la producción y se estima que en un futuro próximo se incremente a más del 60% y al ser esta una zona que recién inicia se propone la aplicación del método de explotación por Long Wall. (Ver figuras N° 4.14 y 4.15).

4.3.3.1. Preparación del block (40 m x 80 m)

Galería

Se abren dos galerías (nivel inferior y superior) para definir el panel de 80 metros de frente ambas son desarrolladas en con sección 2,10 m x 2,40 m labores que avanzan a lo largo de la estructura mineralizada, y luego sirve para el transporte del mineral (galería inferior) y transporte de materiales (galería superior) y ambas para ventilación.

Chimeneas en mineral

Se prepara las chimeneas con dirección al buzamiento y en veta de forma ascendente con sección 1,50 m x 1,50 m (una de desarrollo y otra de exploración), distantes entre ellas 40 m. luego se ejecuta la chimenea intermedia con sección de 2,40 m x 1,50 m para dividir el block en dos partes y servirá de cara libre, a partir de éste iniciar la rotura en dirección del rumbo y con salida hacia el subnivel.

Subniveles

Se desarrolla cuatro subniveles de sección 1,20 m x 1,80 m, el primer subnivel base se desarrolla encima de la galería inferior dejando un puente de 4 m y una corrida de 20 m.

By-Pass

Labor horizontal con sección 2,10 m x 2,40 m, que se desarrolla paralela a la veta, y que luego servirá para acceso al siguiente corredor de mineral, ya que la galería inferior se perderá al recuperar los puentes.

Chimeneas de operación

Son chimeneas que salen del By-pass y que llegan al subnivel intermedio para dar más eficiencia a la explotación de los bloques de mineral encima de este subnivel.

4.3.3.2. Operación del block (40 m x 80 m)

- A partir del subnivel base se genera la cara libre (tipo chimenea) en dirección del buzamiento con sección 2.4 m (8') x 1.5 m (5') para dividir el block en dos partes y a partir de éste iniciar la rotura en dirección del rumbo y con salida hacia el subnivel.

- El avance será en dirección del rumbo de la veta, con taladro de 5' a 6'.
- La limpieza será con winches de 15 HP, y rastras de 36".
- Sostener con puntales de madera de 7" Ø a 8" Ø con cabezal Jack pot (platos pretensados) para darle velocidad al minado. La distancia entre los puntales será de 1.5 m x 1.5 m e irán alineados para permitir la limpieza con el rastrillo.
- Cuando se requiera instalar Wood Crib (anillos de madera) para sostener la caja techo, mientras dure la explotación de todo el block.
- Cuando la presión de la caja techo supera la capacidad de soporte de los puntales se procederá al relleno correspondiente.
- Dejar pilares laterales de 3 m de ancho por 20 m de largo, paralelo a las chimeneas.
- Finalizada la explotación del block **se procederá a rellenar.**

CAPITULO V

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

5.1.1. Registro de Datos

En el presente trabajo se detalla y determina las propiedades físico-mecánicas de las rocas, y el monitoreo de la masa rocosa de las operaciones del mismo, ejecutada de acuerdo a los estándares conocidos a nivel mundial, para este caso referido a la caracterización geomecánicas, se aplica los estándares de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas – ISRM. Es decir, para la caracterización de la masa rocosa del área de estudio, se registraron datos a partir del mapeo geotécnico de campo, que se

llevó a cabo utilizando el “método directo por celdas de detalle”. Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes.

Estos parámetros son: tipo de roca, tipo de sistemas de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización, y presencia de agua. Adicionalmente se registraron, datos sobre la resistencia de la roca y la densidad de fracturas. Donde cada celda de detalle constituye una estación de mediación (En), en total se realizaron mapeos en 600 celdas o estaciones de medición.

5.1.2. Características de la Masa Rocosa

En la zona de estudio las estructuras mineralizadas se encuentran generalmente dentro del intrusivo, siendo la roca encajonante en su mayoría, tonalíticas porfiríticas a tonalíticas simples o microdioritas indicando un control favorable para la mineralización, disminuyendo hacia las rocas más ácidas como cuarzo monzonitas, granitos. De acuerdo a la alteración en gran parte han existido modificaciones físico – químicas de las rocas antes mencionadas, degradando sus características geomecánicas, durante la excavación de un macizo rocoso; de esa manera, la primera característica a ser analizada es el tipo litológico presente en la roca, y su estado de meteorización,

condición que determina si el macizo es resistente o de resistencia mecánica baja.

Mineralógicamente está compuesta por cuarzo blanco lechoso y gris fracturado en mayor proporción, bandas de pirita, marmatita, en menor proporción arsenopirita, galena. La concentración de estos minerales varía en los diferentes niveles. Las alteraciones de la roca encajonante son: Silicificación, sericitización, cloritización, caolinización. Su potencia varía de 0.9 m. a 1.30 m.

5.1.3. Discontinuidades

El estudio referido al análisis estructural de la veta Valeria, está basado en las orientaciones de las discontinuidades evaluadas mediante técnicas estereográficas, las mismas que son útiles para tener conocimiento del debilitamiento estructuralmente controlado y la verificación de la estabilidad de los paquetes rocosos de geometría tabular en relación a la dirección de minado. Para establecer las características de la distribución de discontinuidades tanto mayores como menores, el procesamiento de los datos de orientación se realiza mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando el programa de computo DIPS.

Un resumen de estos resultados se presenta en los Cuadros 4.1 y 4.2, el primero relacionado a las estructuras menores

(sistema de diaclasamiento) y el segundo relacionado a las estructuras mayores (sistema de fallas), Dichos resultados, fueron analizados estadísticamente mediante técnicas estereográficas (Ver Figura N° 4.1 a N° 4.21). Para el análisis estadístico de polos se ha utilizado la distribución de Fisher. Cabe resaltar que el agrupamiento realizado para estructuras menores se realizó para los diferentes dominios estructurales asociados a las diferentes vetas en el yacimiento de MARSA: veta AA, BB, CABANA, CACHACO y DANIELA.

Cuadro N° 5.1: Sistema de Discontinuidades Estructuras menores (sistema de diaclasas).

Dirección de Buzamiento / Buzamiento

Dominio Estructural	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Veta AA	157/76	260/69	22/80	
Veta BB	278/71	239/60	43/85	239/69
Veta CABANA	160/81	255/78	198/79	57/29
Veta CACHACO	265/81	245/64	201/74	235/25
Veta DANIELA	156/86	242/61	68/18	207/68
Veta ESPERANZA	74/83	257/57		
Veta SHAKIRA	28/53	209/82	102/16	
Veta VALERIA	152/79	242/86	87/6	
COMPOSITO	156/78	257/77	71/16	203/73

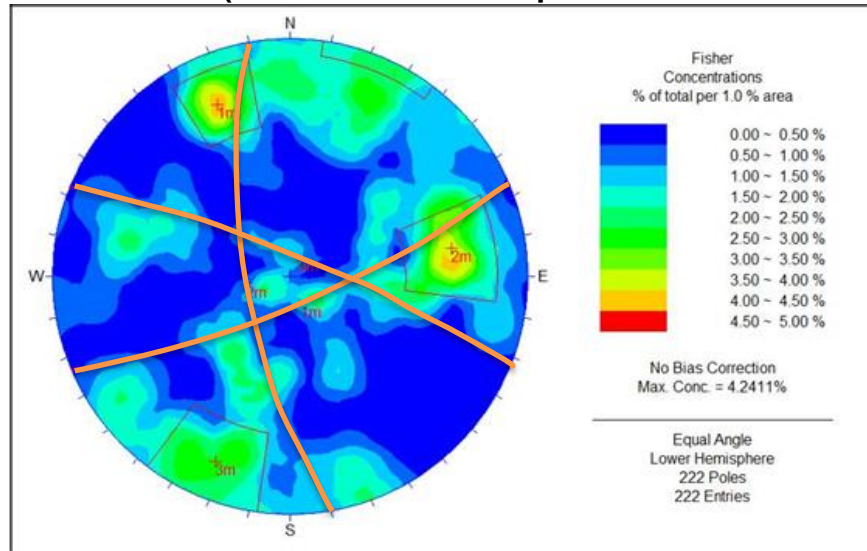
Fuente: Departamento de Geomecánica

Cuadro N.º 5.2: Sistema de Discontinuidades Estructuras Mayores (Compósito de Fallas)

Descripción	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Dirección de Buz./Buz	71/23	248/79	113/73
Rumbo / Buzamiento	N19°W / 23°NE	N22°W / 79° SW	N23°E / 73°SE

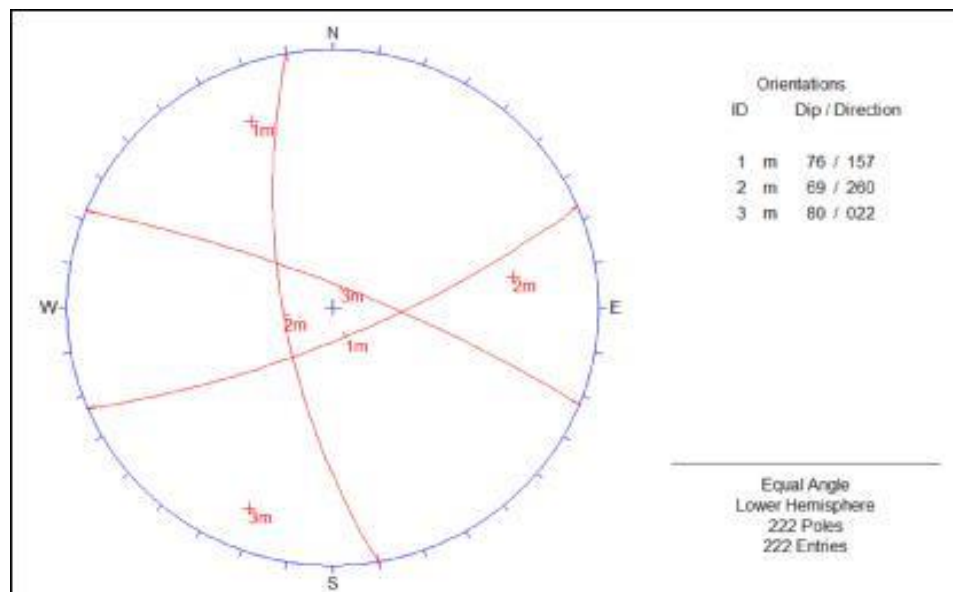
Salida DIP's 5.1

Figura N.º 5.1: Contorneo estadístico de la concentración de polos del compósito de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta AA (2% del área de la superficie del hemisferio).



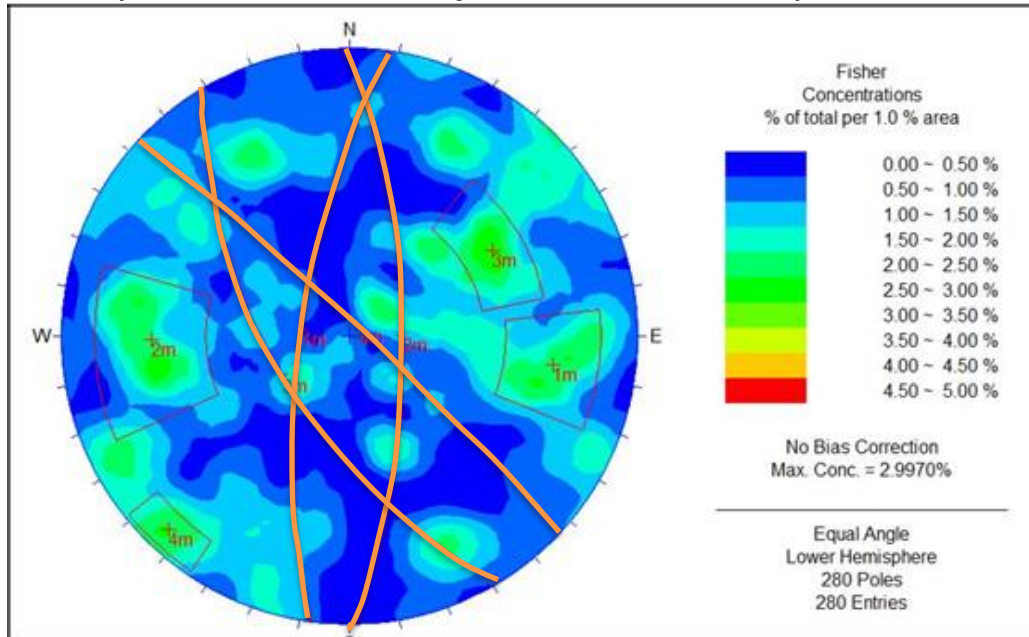
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N.º 5.2: Representación de los planos principales del compósito de estructuras menores, asociados al dominio estructural de la veta AA.



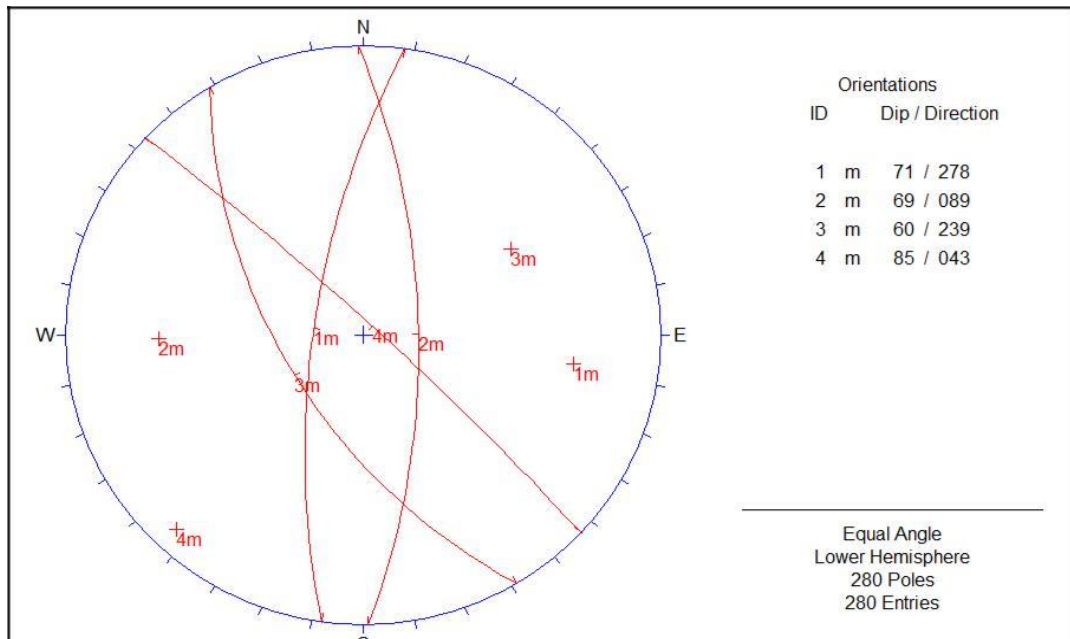
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N° 5.3: Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta BB (2.5% del área de la superficie del hemisferio).



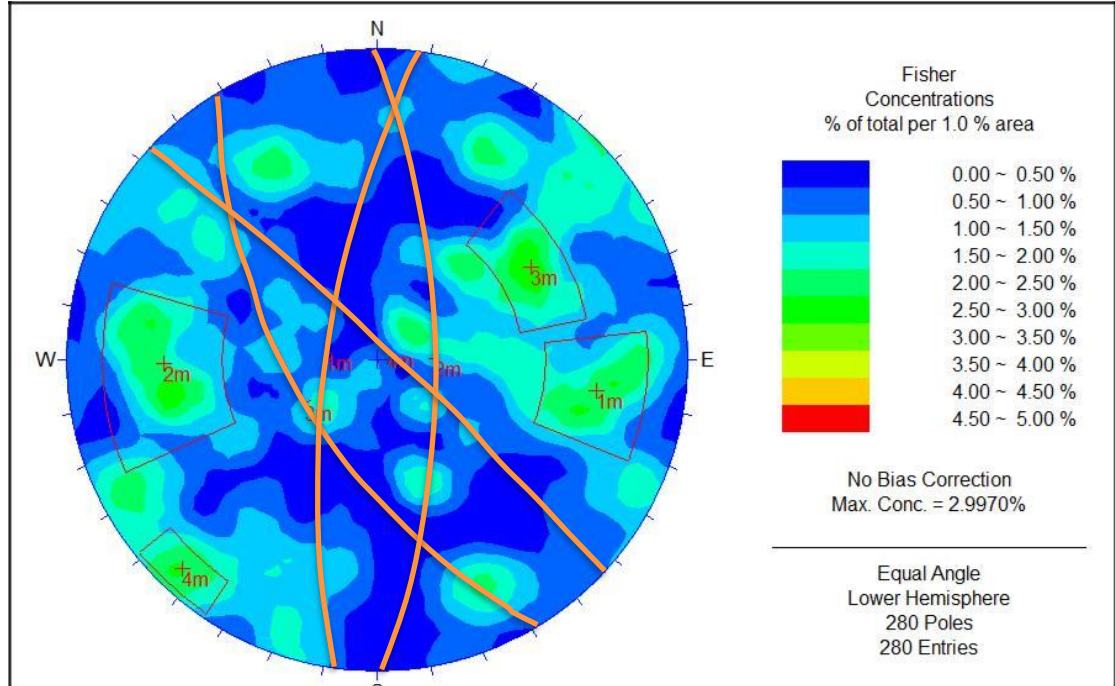
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N° 5.4: Representación de los planos principales del compuesto de estructuras menores, asociados al dominio estructural de la veta BB.



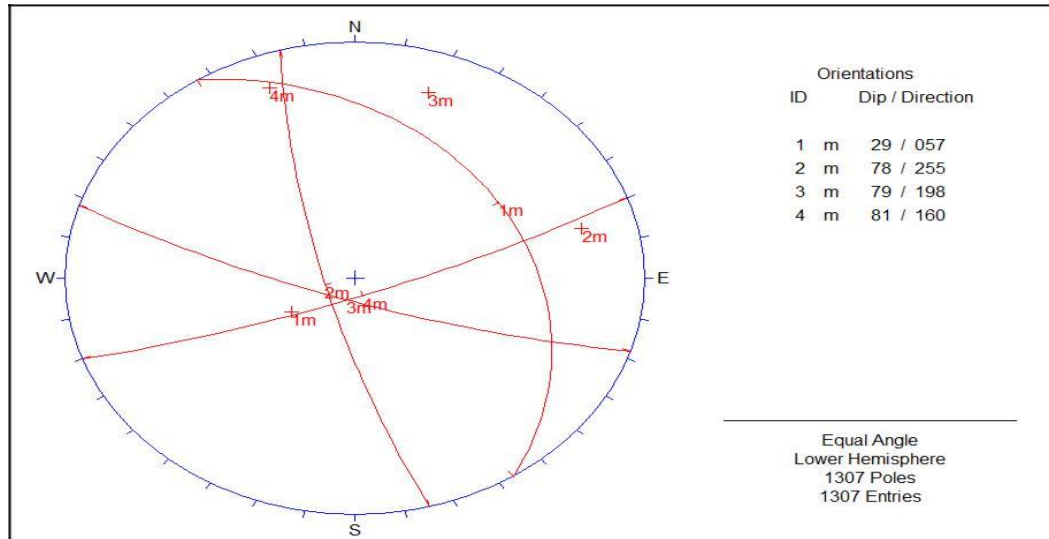
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N° 5.5: Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta CABANA (1.5% del área de la superficie del hemisferio).



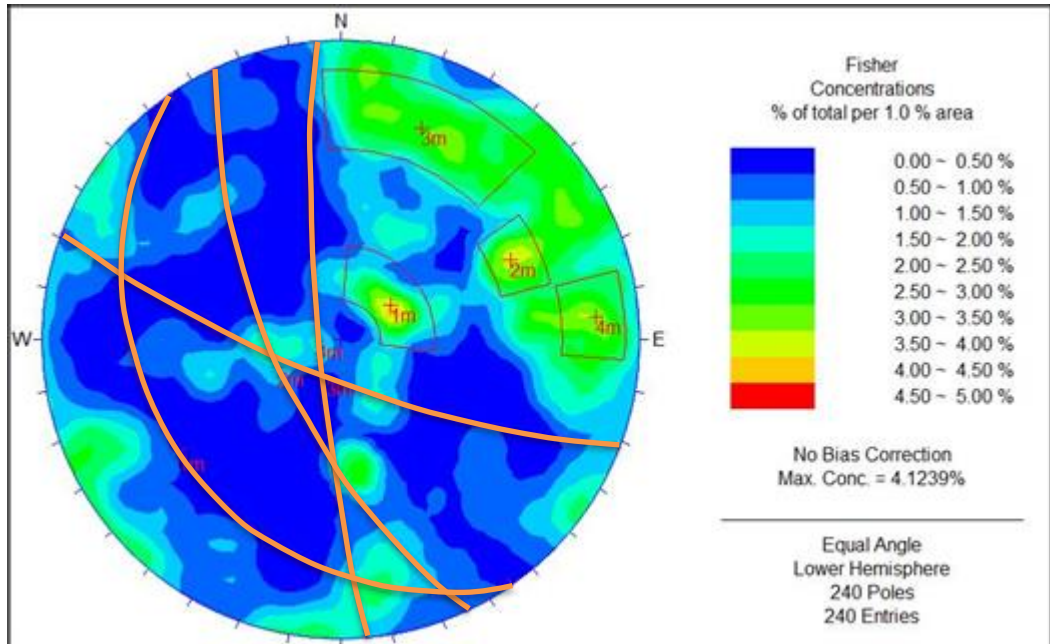
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N° 5.6: Representación de los planos principales del compuesto de estructuras menores, asociados al dominio estructural de la veta CABANA.



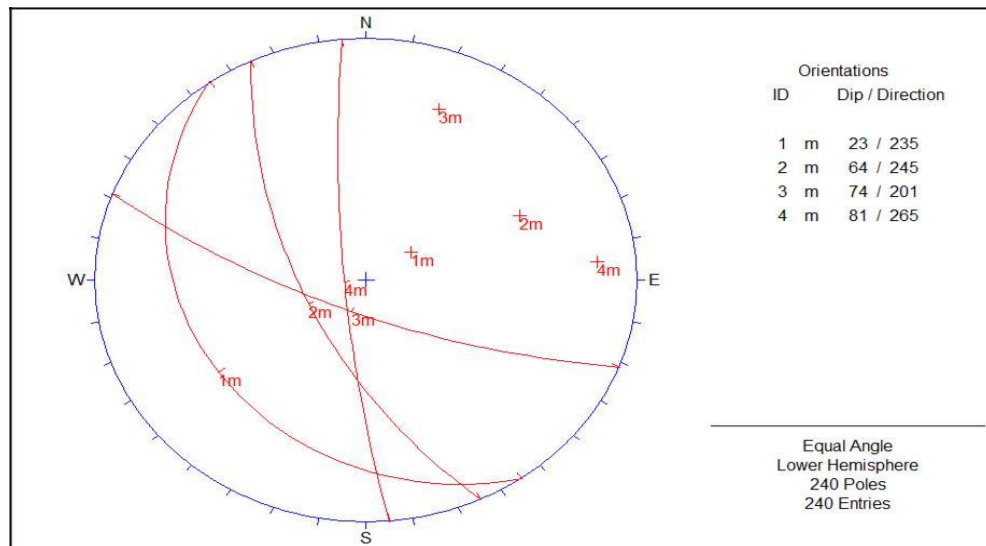
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N° 5.7: Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta CACHACO (3.0% del área de la superficie del hemisferio).



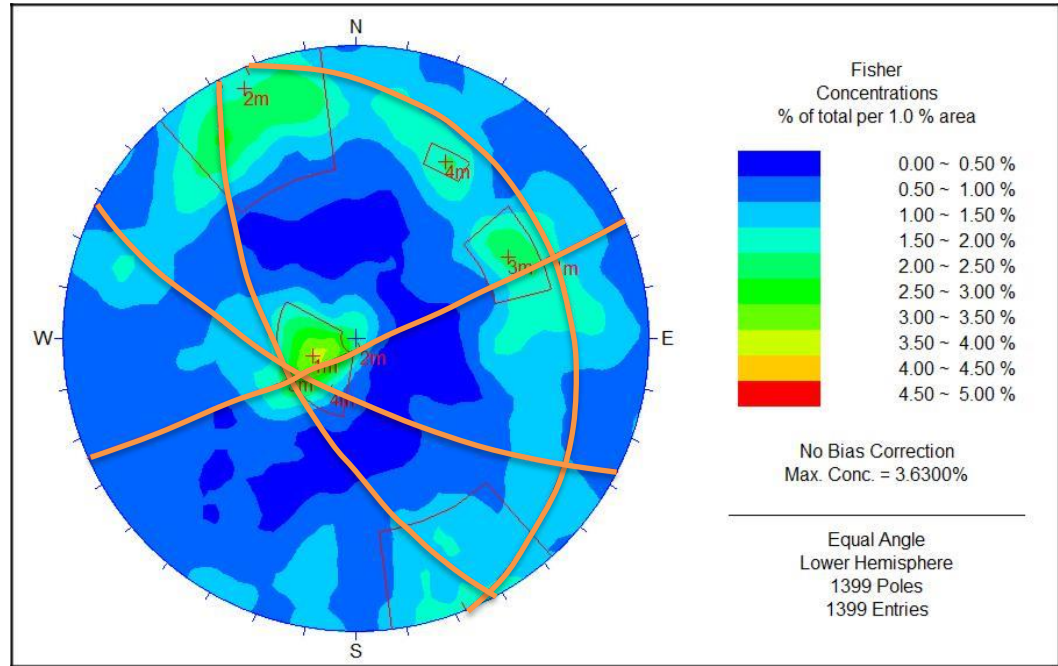
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N° 5.8: Representación de los planos principales del compuesto de estructuras menores, asociados al dominio estructural de la veta CACHACO.



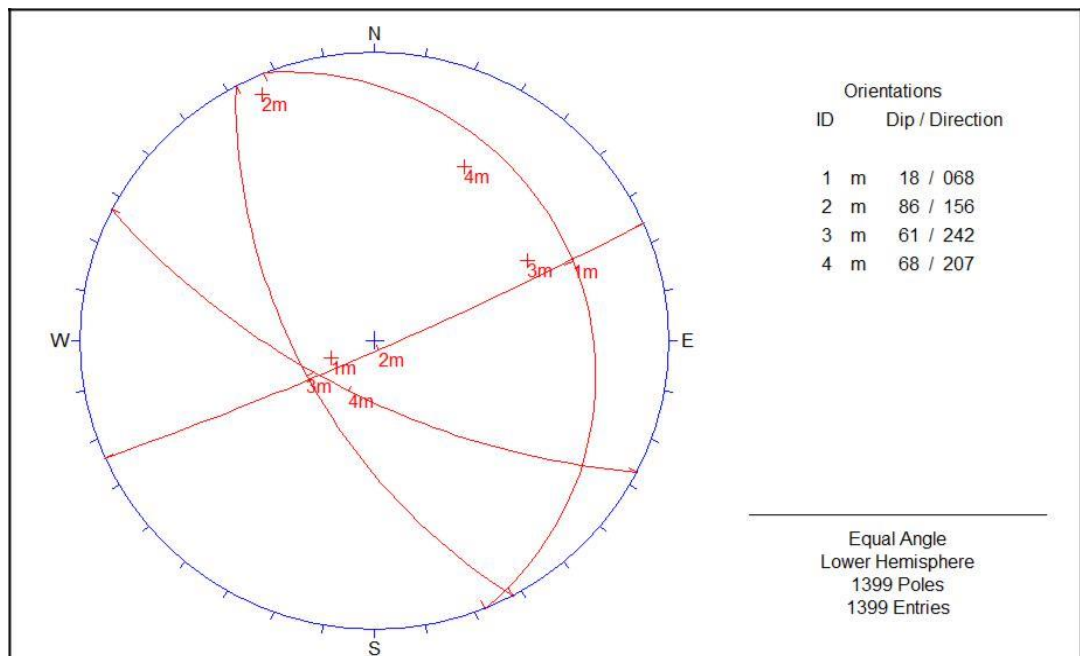
Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N° 5.9: Contorneo estadístico de la concentración de polos del compuesto de estructuras menores asociadas al dominio estructural Veta DANIELA (2.50 - 3.0% del área de la superficie del hemisferio).



Fuente: Departamento de Geomecánica

Figura N.º 5.10: Representación de los planos principales del compuesto de estructuras menores, asociados al dominio estructural de la veta DANIELA.

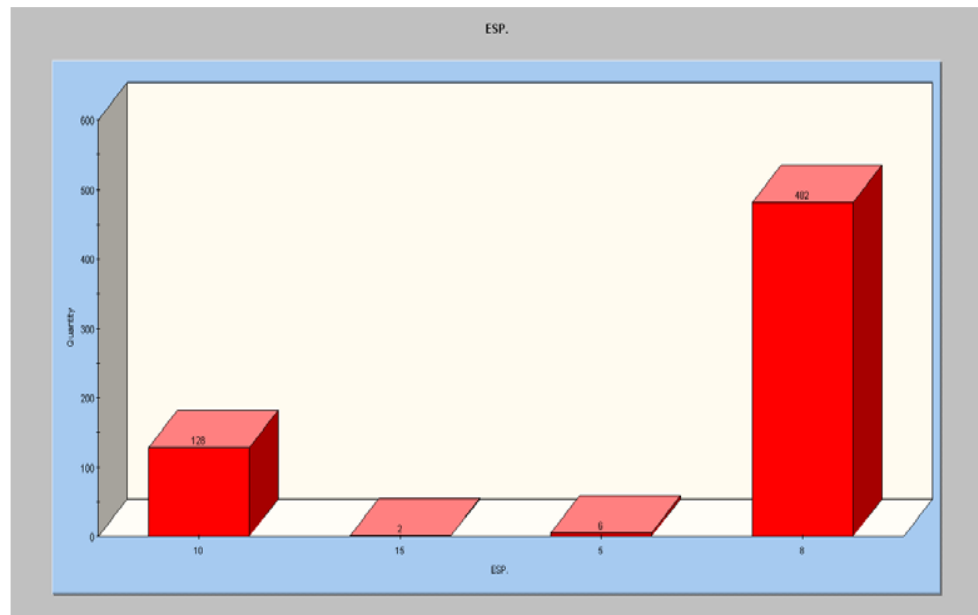


5.1.4. Características Estructurales

Las características estructurales de la masa rocosa son analizadas por medio de técnicas estadísticas de la información registradas en el laboreo minero mediante la técnica del mapeo geomecánico, compatibilizando los mismos con las observaciones in-situ. Según esto, las siguientes son las principales características estructurales de las discontinuidades identificadas como sistema de estructuras.

Diaclasas:

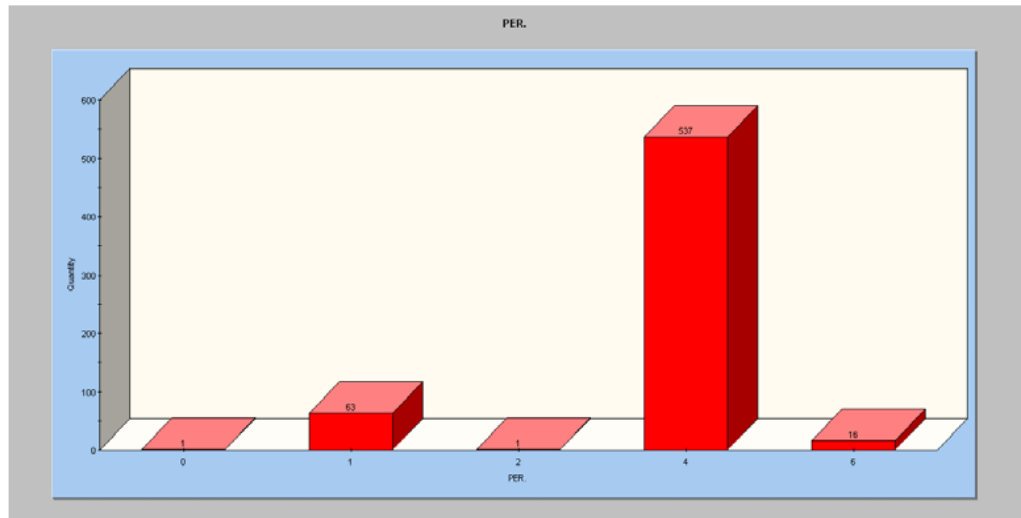
Figura N° 5.11: Análisis estadístico del Espaciamiento.



Fuente: Imagen plotada del software Dips.

Según el análisis estadístico referido al material encajonarte (caja techo), estas juntas presentan generalmente espaciamientos de 6 a 20 cm.

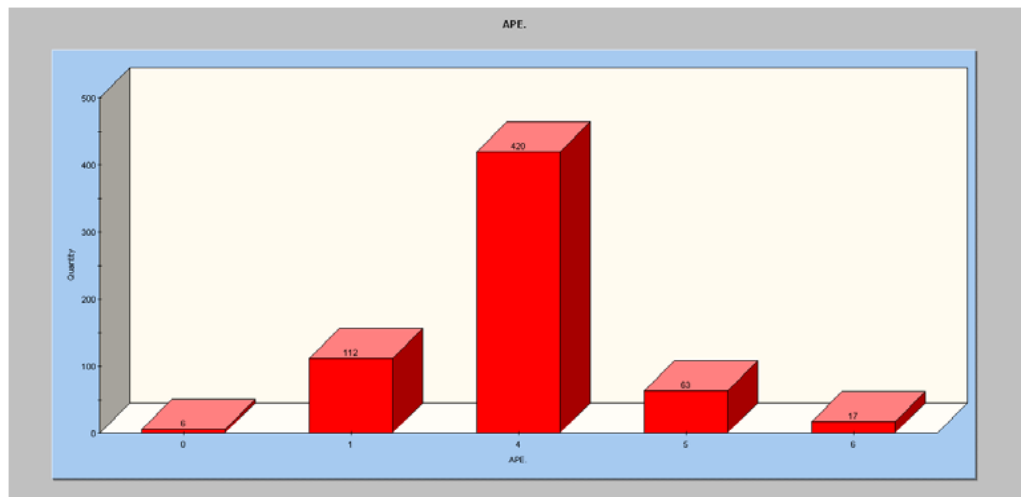
Figura N° 5.12: Análisis estadístico de la persistencia



Fuente: Imagen ploteada del software Dips.

La persistencia de las discontinuidades conforme al análisis estadístico expresa una extensión de 1 a 3.0 m.

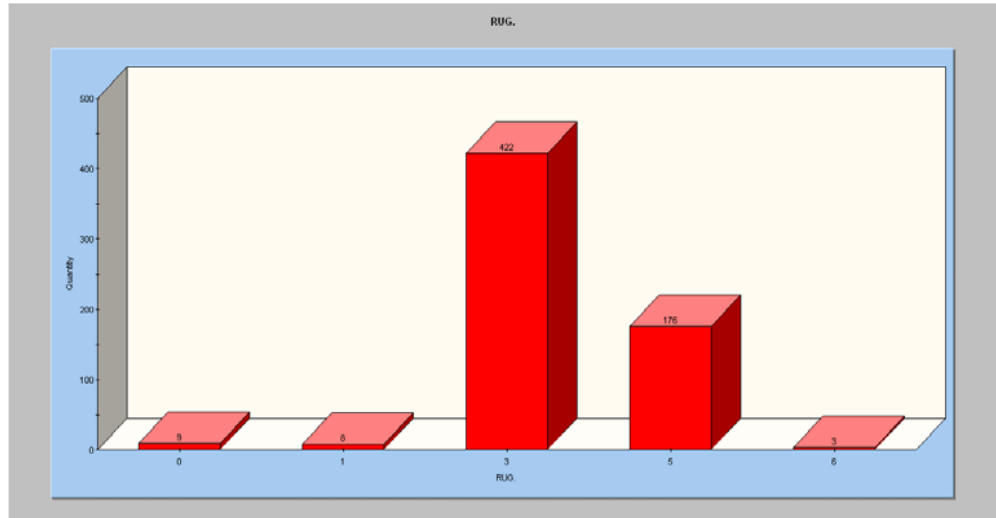
Figura N° 5.13: Análisis estadístico de la apertura



Fuente: Imagen ploteada del software Dips.

La apertura de las discontinuidades según el análisis estadístico expresa un valor de 2 mm.

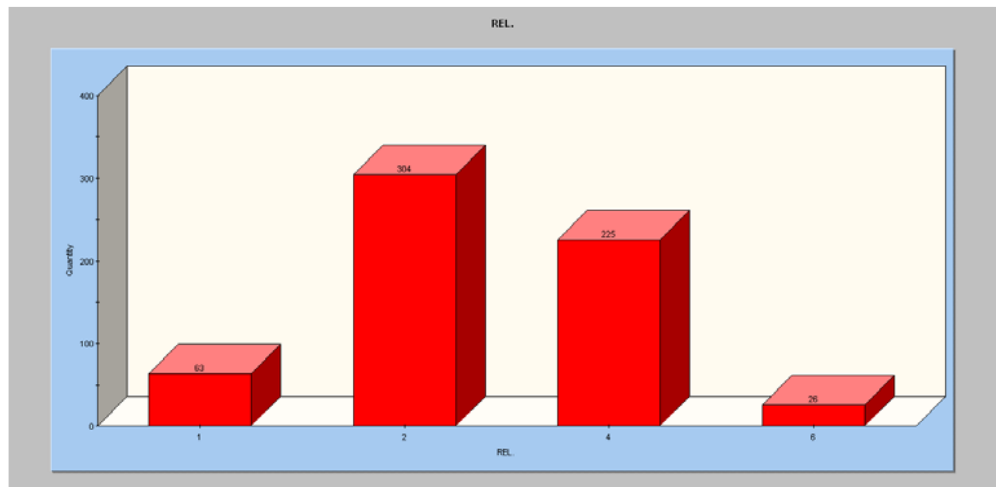
Figura N° 5.14: Análisis estadístico de la rugosidad



Fuente: Imagen plotada del software Dips.

La rugosidad de las paredes de las discontinuidades es de característica ligeramente rugosa.

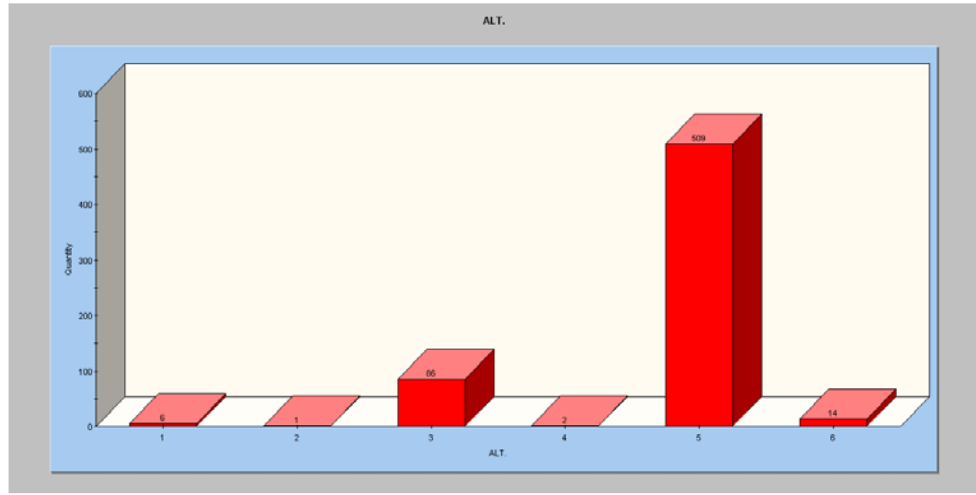
Figura N° 5.15: Análisis estadístico del relleno



Fuente: Imagen plotada del software Dips.

El relleno según análisis estadístico, es de características en forma de óxidos con espesores menores a 5 mm.

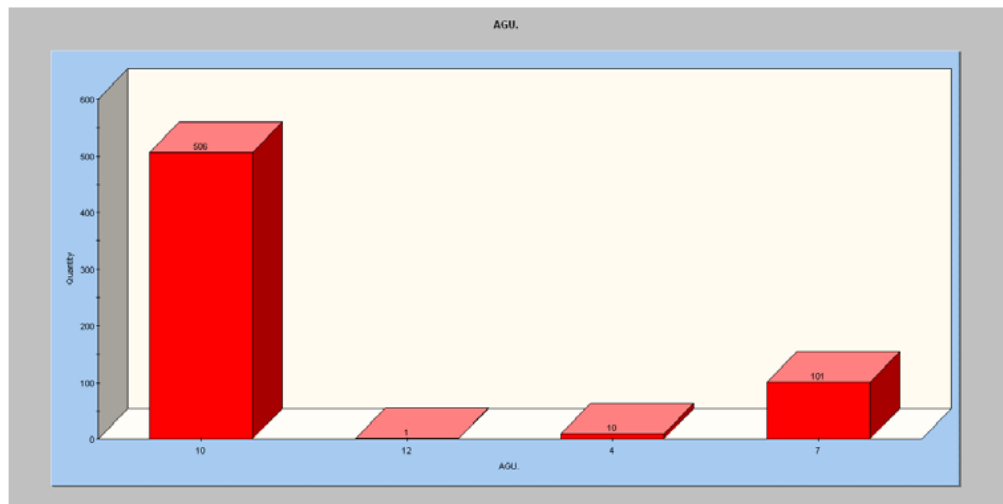
Figura N° 5.16: Análisis estadístico de la alteración



Fuente: Imagen ploteada del software Dips.

La alteración de las discontinuidades según análisis estadístico es de carácter ligera a moderada.

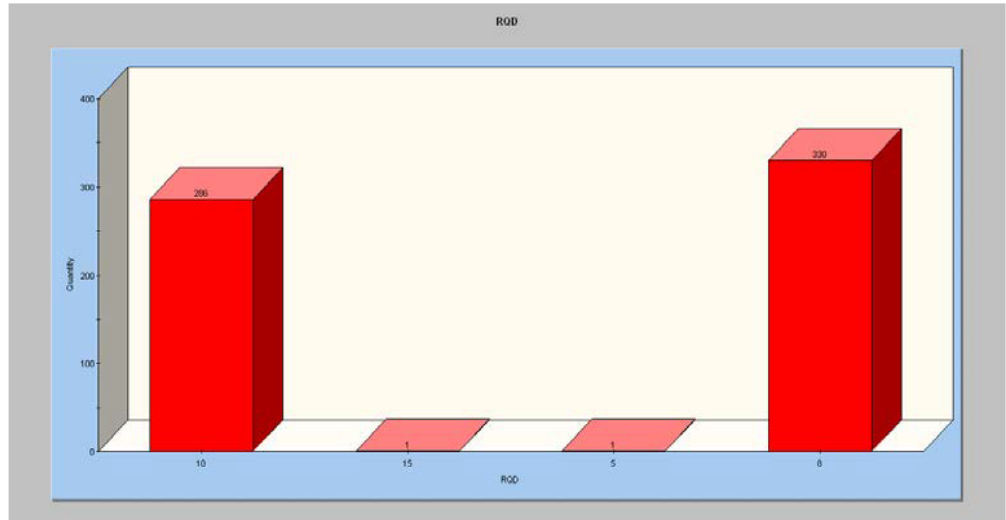
Figura N° 5.17: Análisis estadístico del agua subterránea



Fuente: Imagen ploteada del software Dips.

El parámetro en análisis, presenta condición de agua de carácter, húmeda a mojada.

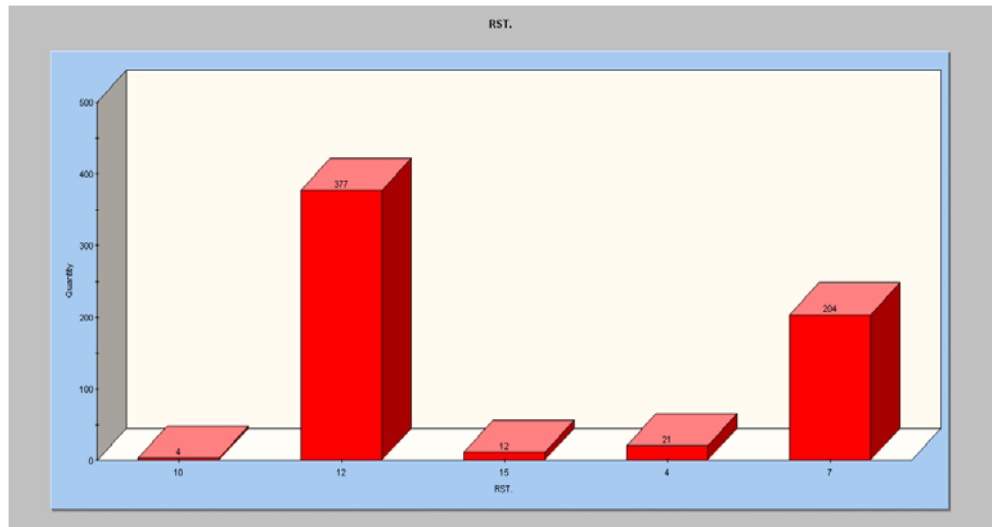
Figura N° 5.18: Análisis estadístico del RQD



Fuente: Imagen ploteada del software Dips.

El tamaño de los bloques intactos según análisis, alcanza un radio de 20 cm, cuya geometría es de formas tabulares.

Figura N° 5.19: Análisis estadístico de la roca intacta



Fuente: Imagen ploteada del software Dips.

La resistencia de los bloques rocosos intactos según el análisis mostrado en la imagen adopta valores indirectos de 50 a 100MPa y de 100 a 250MPa.

5.1.5. Clasificación Geomecánica de la Masa Rocosa

Para clasificar geomecánicamente la masa rocosa se ha usado el Sistema de Valoración de la masa rocosa, Rock Mass Rating – RMR (1989), de Z.T. Bieniawski. Los valores de resistencia compresiva fueron estimados mediante índices de campo (uso de la picota), y dichos valores fueron corroborados y ajustados con los ensayos de laboratorio llevados a cabo en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería en Diciembre del 2013. Así mismo, los valores del RQD% fueron estimados con la relación de Priest y Hudson mediante la frecuencia de discontinuidades por metro lineal. Adicionalmente se determinó el GSI (Geological Strength Index) de Hoek & Marinos 2000, en base a la correlación: $GSI=RMR89- 5$, ello con el fin de estimar las propiedades del macizo rocoso.

El criterio para clasificar la masa rocosa se presenta en el Cuadro N° 4.3. Los valores promedio del “RMR BÁSICO” de acuerdo al dominio litológico se consignan en el Cuadro N° 4.4, no se consideran ajustes por orientación de discontinuidades. El registro y resultados de la data están consignados de acuerdo a

los diferentes dominios litológicos más representativos que alojan la mineralización: Diorita, Granito, Granodiorita, Microdiorita y Tonalita.

Cuadro N.º 5.3: Rangos de Clasificación RMR y colores establecidos en MARSA.

TIPO DE ROCA	RMR BIENIAWSKI	CLASIFICACION DE LA ROCA	
II	II-A	71 - 80	BUENA "A"
	II-B	61 - 70	BUENA "B"
III	III-A	51 - 60	REGULAR "A"
	III-B	41 - 50	REGULAR "B"
IV	IV-A	31 - 40	MALA "A"
	IV-B	21 - 30	MALA "B"
V	V-A	0 - 20	MUY MALA

Fuente: Departamento de Geomecánica

Cuadro Nº 5.4: Resumen de Calidad RMR de la masa rocosa – Mina MARSA

Litología	Rango RMR	Calidad de la Masa Rocosa
<i>Diorita</i>	26 - 64	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB
<i>Granito</i>	20 – 65	IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB y VA
<i>Granodiorita</i>	26 - 61	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB
<i>Microdiorita</i>	16 - 69	IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB y VA
<i>Tonalita</i>	23 – 62	IIB, IIIA, IIIB, IVA y IVB

Fuente: Departamento de Geomecánica

De acuerdo al resumen expuesto en el Cuadro N° 5.4 se tiene: Existe un amplio rango de valores para cada dominio litológico, desde el tipo de roca Buena IIB hasta Muy mala VA. Sin embargo, es importante recalcar que las rocas intrusivas tienen valores de calidad alto; es decir sobre roca de calidad regular; por tanto, la degradación de la calidad de roca dependerá de la alteración ocasionada por el emplazamiento de la mineralización, puesto que, cuando se tienen la roca adyacente a la mineralización los valores de su calidad Geomecánica decaen drásticamente, caso contrario ocurre cuando la roca tiende a estar alejada de la zona mineralizada.

Es importante que la calidad de roca predominante es IIB, la que en el mayor de los casos debido a la dirección de las excavaciones que por cuestiones técnicas tienen que ir paralelo al sistema principal de discontinuidades sufre un ajuste a IVA.

Las fuentes de información para clasificar la masa rocosa en la mina han sido principalmente los registros de mapeo geomecánico.

5.1.6. Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosa

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas con características estructurales y

mecánicas similares, debido a que los criterios de diseño y el análisis de los resultados serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares. Por ello, es práctica común en el diseño de excavaciones subterráneas delimitar el área de estudio en zonas geomecánicas o dominios estructurales.

El criterio que ha primado en la zonificación geomecánica de la zona de estudio ha sido la calidad de la masa rocosa que aparece con mayor presencia, desde que en cada tipo de roca se presentan diferentes calidades de masas rocosas. En el Cuadro 5.5 se presentan un resumen de estos resultados.

Cuadro 5.5: Zonificación Geomecánica mina

MARSA

Dominio Estructural	Rango RMR	Promedio RMR
II – A	61 - 69	62
III – A	51 - 60	54
III – B	41 - 50	46
IV – A	31 - 40	38
IV – B	22 - 30	27
V – A	16 - 20	19

Fuente: Departamento de Geomecánica

5.1.7. Resistencia de la Roca

5.1.7.1. Resistencia de la roca intacta

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa es la

resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (σ_{ci}) o denominada también resistencia compresiva simple o uniaxial.

Los valores de σ_{ci} fueron estimados mediante los siguientes procedimientos:

- Índices de campo, ensayos de golpe con el martillo de geólogo (picota), especificadas según normas de la ISRM, dichos ensayos, fueron efectuados durante el mapeo y caracterización geomecánica de afloramientos rocosos en las labores.

- Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas: compresión triaxial, compresión simple, propiedades elásticas y tracción sobre probetas obtenidas de los testigos de los sondajes diamantinos y de bloques rocosos.

Un resumen de los resultados de los ensayos de compresión triaxial, compresión simple y propiedades elásticas se evidencian en el Cuadro N° 4.5, para las rocas asociados a los dominios estructurales definidos en los párrafos anteriores.

Cuadro N° 5.5: resultados de ensayos en laboratorio de mecánica de rocas

Litología	"mi"	σ_c (MPa)	Cohesion (MPa)	Angulo de Friccion (°)	Modulo Young (Gpa)	Poisson
<i>Diorita</i>	19.35	93.96	19.82	52.08	10.25	0.30
<i>Granito</i>	15.3	88.31	17.82	48.45	8.93	0.31
<i>Granodiorita</i>	26.23	120.19	19.68	56.03	11.87	0.30
<i>Tonalita</i>	8.06	38.27	9.07	39.14	4.97	0.32

Con los ensayos de laboratorio de mecánica de rocas (Cuadro N° 5.5) se ha obtenido, además de la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta, valores de la constante "mi" del criterio de falla de Hoek & Brown (2002 / 2007) y los parámetros de resistencia al corte de Mohr.

5.1.8. Resistencia de la Masa Rocosa

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se utilizó el criterio de falla Generalizado de Hoek & Brown (2002, 2006), con el programa ROCLAB de Rocscience Inc. (2007). Para ello, se tomaron los valores más representativos de calidad de la masa rocosa reflejados en el valor del índice GSI, resistencia compresiva uniaxial y la constante "mi" de la roca intacta, estimados en el presente estudio. Las salidas del programa utilizado se presentan en el ANEXO N° 08. El módulo de Poisson μ , corresponde a valores típicos para este tipo de rocas y el módulo de deformación E, fue determinado con el criterio de Hoek – Carranza-Torres -Corkum.

Asimismo, el minado involucra el uso de relleno Hidráulico cuyas propiedades de densidad son 1.53 g/cm³ con una compactación promedio de 94%, Módulo de deformación igual 40 MPa, el valor de la cohesión es 0.06 y el ángulo de fricción de 28.9° (Informe ZER GEOSYSTEM PERU S.A.C., Setiembre del 2013).

En el cuadro N° 5.6, se presenta un resumen de las características de resistencia y deformabilidad de la masa rocosa para los diferentes dominios estructurales.

Cuadro N°5.6: Propiedades de la Resistencia de la masa rocosa

ROCA	Dominio Estructural	Promedio RMR	GSI[1]	σ_{cmr}	Peso Específico Tn/m ³	m_{mr}	s_{mr}	a_{mr}	E_{mr}	μ
				MPa					MPa	
Diorita	III – A	54	53	19.256	2.7	2.374	0.0024	0.505	9216.40	0.3
	III – B	46	46	16.160	2.7	1.737	0.0010	0.508	6159.73	0.3
	IV – A	38	38	13.117	2.7	1.215	0.0004	0.513	3886.53	0.3
	IV – B	27	29	9.492	2.7	0.744	0.0001	0.527	2063.30	0.3
Granito	III – A	54	53	16.136	2.7	1.877	0.0024	0.505	8935.01	0.31
	III – B	46	46	13.510	2.7	1.373	0.0010	0.508	5971.66	0.31
	IV – A	38	38	10.941	2.7	0.961	0.0004	0.513	3767.86	0.31
	IV – B	27	29	8.412	2.7	0.643	0.0001	0.524	2244.37	0.31
Granodiorita	III – A	54	53	28.612	2.7	3.218	0.0024	0.505	9508.02	0.30
	III – B	46	46	24.071	2.7	2.354	0.0010	0.508	6354.63	0.30
	IV – A	38	38	19.591	2.7	1.647	0.0004	0.513	4009.50	0.30
	IV – B	27	29	15.169	2.7	1.102	0.0001	0.524	2388.31	0.30
Tonalita	III – A	54	53	5.142	2.7	0.989	0.0024	0.505	5881.92	0.32
	III – B	46	46	4.268	2.7	0.723	0.0010	0.508	3931.15	0.32
	IV – A	38	38	3.429	2.7	0.506	0.0004	0.513	2489.39	0.32
	IV – B	27	29	2.612	2.7	0.339	0.0001	0.524	1477.47	0.32

Fuente: Departamento de Geomecánica

5.1.9. Esfuerzos In-situ

Se ha determinado mediante ensayos OVER CORING (Geomecánica Latina del 2015) para la medición de esfuerzos in-situ en minera aurífera retamas, que el esfuerzo principal mayor σ_1 cumple con las características de ser sub horizontal, de la relación $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, supone que el esfuerzo principal menor σ_3 es casi horizontal, asunto que ha sido verificado en todas las mediciones de overcoring del batolito de Pataz, completando el complejo tectónico, el esfuerzo σ_2 (intermedio).

Para estimar la magnitud del esfuerzo vertical se ha utilizado el criterio de carga litostática de Hoek & Brown (1978), en el cual, el esfuerzo vertical es calculado a partir del peso unitario de la roca sobre yacente y la profundidad debajo de la superficie. Para estimar el esfuerzo horizontal, es necesario conocer la constante “k”, factor de distribución de esfuerzos, dado que dicha constante indica la relación entre el esfuerzo horizontal y el esfuerzo vertical. Las mediciones de esfuerzo in situ realizadas en MARSa el valor de “k” será determinado mediante la siguiente aproximación: $k = 0.5 + (1500/z)$ y el valor del esfuerzo vertical para el criterio de carga litostática: $\sigma_V = 0.027 * 0.13 * z$; donde z es la profundidad.

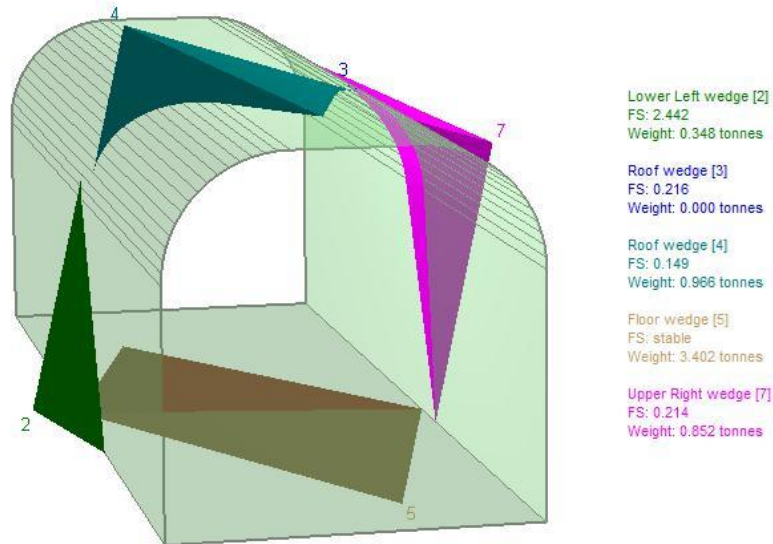
5.2. ANALISIS DE ESTABILIDAD GENERADO POR LA EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA

5.2.1. Estabilidad Estructuralmente Controlada

Cuando se trata de un macizo rocoso formado a base de bloques (generados por las intersecciones de las diaclasas), los problemas de inestabilidad surgen como consecuencia de la caída de dichos bloques ya sea del techo y hastiales, dependiendo de la geometría y tamaño de la excavación, así como de la estructura del macizo rocoso. En excavaciones a gran profundidad, los esfuerzos producirán la falla del macizo rocoso a favor de dichas superficies de discontinuidad.

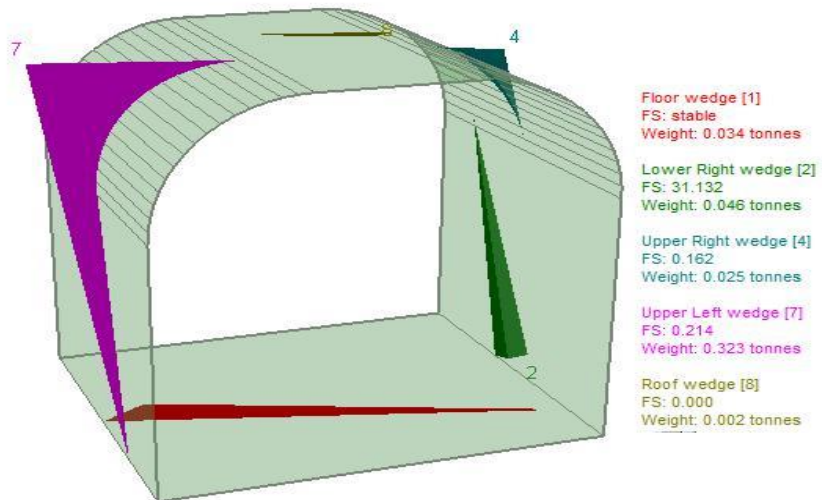
El análisis de estabilidad estructuralmente controlado se ha llevado a cabo utilizando la data desarrollada en este mismo Capítulo (Cuadros 5.1 y 5.2) y el programa UNWEDGE Versión 3.005 de Rocscience Inc. (2004). Para el análisis se ha considerado el compósito de discontinuidades y su configuración estructural de acuerdo al avance de la excavación en este caso paralelo a la mineralización (para el caso de Galerías, subniveles y by pass) y perpendicular a la mineralización (para el caso de cruceros y accesos). Cabe resaltar que deben tener tres sistemas de discontinuidades. Así, tenemos:

Figura N° 5.20: Formación de cuñas, cuando el avance de la excavación está orientado paralelo a la mineralización: Galerías, subniveles, by pass.



Fuente: Data programa UNWEDGE Versión 3.005 de Rocscience Inc.

Figura N° 5.21: Formación de cuñas, cuando el avance de la excavación está orientado perpendicular a la mineralización: Cruceos y Accesos



Fuente: Data programa UNWEDGE Versión 3.005 de Rocscience Inc.

En base al análisis estereográfico en el presente capítulo, se tiene el análisis de formación de bloques tipo cuña (Figura 5.19 y 5.20), con los siguientes resultados:

- Del compósito de discontinuidades, Cuadro 4.1, es evidente la presencia de 4 sistemas bien marcados de discontinuidades, los cuales de acuerdo a las diferentes conjugaciones posibles formarán bloques de diferentes dimensiones y formas, los cuales de acuerdo a la persistencia de las discontinuidades y tamaño de excavación se convertirán en bloques potenciales y críticos.
- Del análisis estructuralmente controlado para excavaciones paralelas a la mineralización (Figura 5.20) es posible la ocurrencia de bloques clave o bloques críticos en corona con Factores de seguridad debajo de 0.5, el tamaño y peso de dichos bloques será proporcional con el tamaño de la excavación.
- Del análisis estructuralmente controlado para excavaciones perpendiculares a la mineralización (Figura 5.1), las condiciones son más favorables al caso anterior, con una posible la ocurrencia de bloques críticos y potenciales, de menor tamaño, en corona con Factores de seguridad debajo de 0.5, el tamaño y peso de dichos bloques será proporcional con el tamaño de la excavación.
- En roca de calidad regular a buena para secciones menores a 3.0 m x 3.0m estabilización de los bloques tipo cuña será con pernos posimix de 6 pies y/o Split set de 5 pies, para macizos rocosos de mala calidad se usará malla de 4" x 4" reforzado con shotcrete.

Para la explotación propiamente el análisis de estabilidad se realizará de una perspectiva más amplia, con un análisis de estabilidad controlada por esfuerzos.

5.2.2. Estabilidad Controlada por Esfuerzos

En base a los parámetros geomecánicos básicos obtenidos en los acápites anteriores se ha de realizar el análisis de estabilidad controlada por los esfuerzos inducidos debido a las excavaciones subterráneas asociado exclusivamente al método de explotación se ha utilizado el programa PHASE2 versión 6.004 de Rocscience Inc. (2005) que analiza esfuerzos y deformaciones usando el método de elementos finitos.

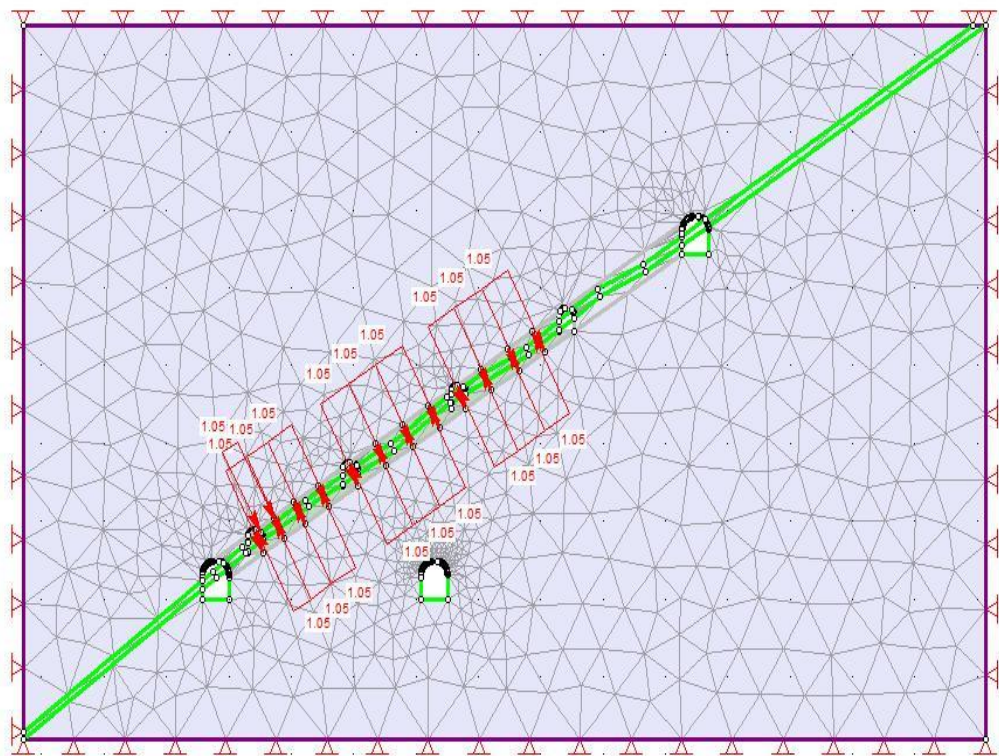
5.2.2.1. Método por corte y relleno ascendente convencional

En el caso de corte y relleno convencional se han incorporado cargas distribuidas producto de los elementos de soporte, en este caso madera. Puesto que el sostenimiento esta dado por puntales o en tramos más desfavorables cuadros.

El análisis geomecánico tiene por objetivo la influencia del minado en el puente de la galería inferior al tajo así como también el By pass. De la simulación realizada se observa que el Factor de resistencia está por encima de 1.5 (mínimo aceptable en minería, considerando condiciones

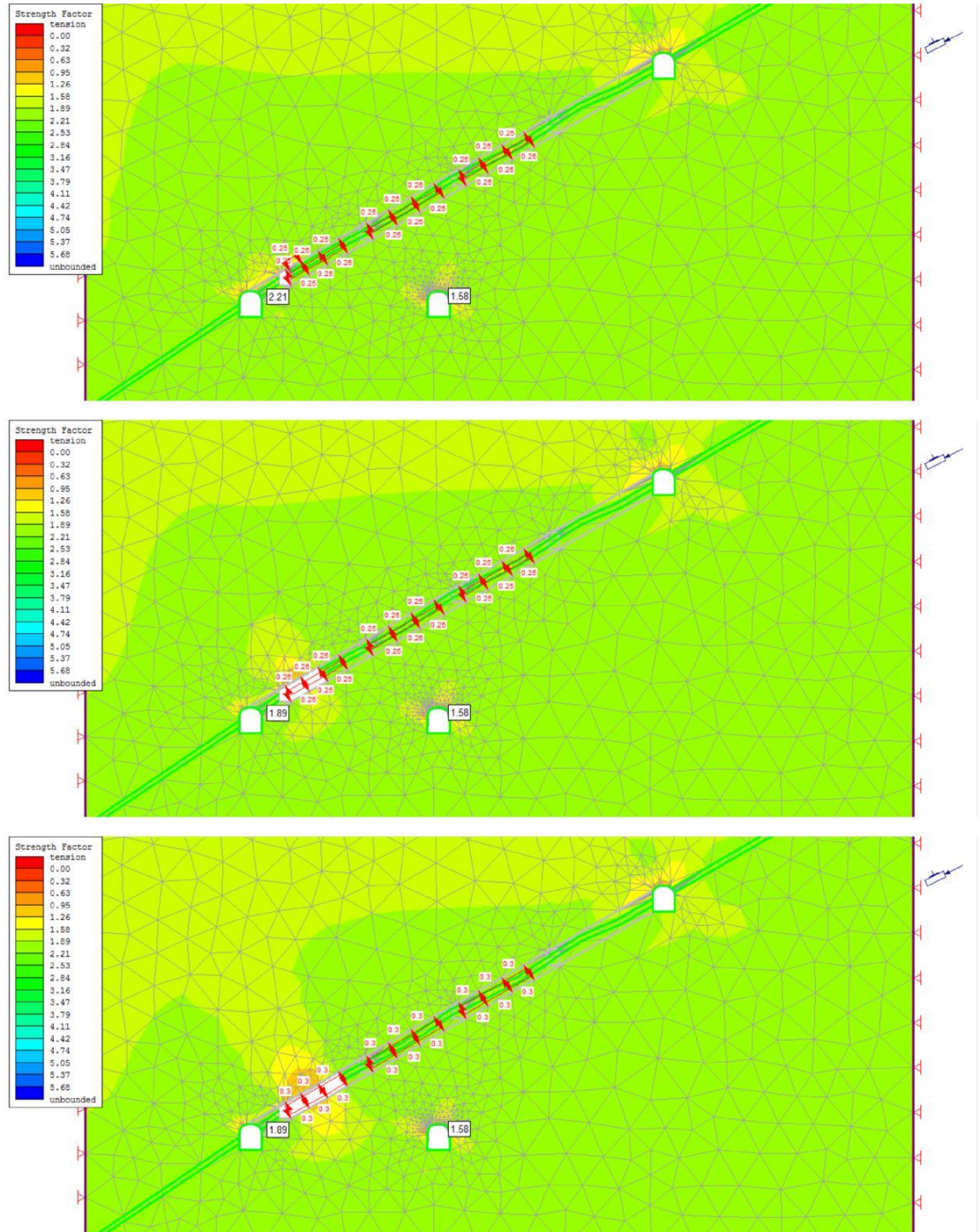
desfavorables), así mismo, la simulación corrobora la acertada respuesta mecánica de los elementos de soporte ya sea puntales o madera. Sin embargo, se evidencia influencia moderada sobre el by pass inferior, reduciéndose el factor de seguridad a 0.95.

Figura N° 5.22: Modelo de malla de elementos finitos para la simulación del minado por corte y relleno ascendente convencional.

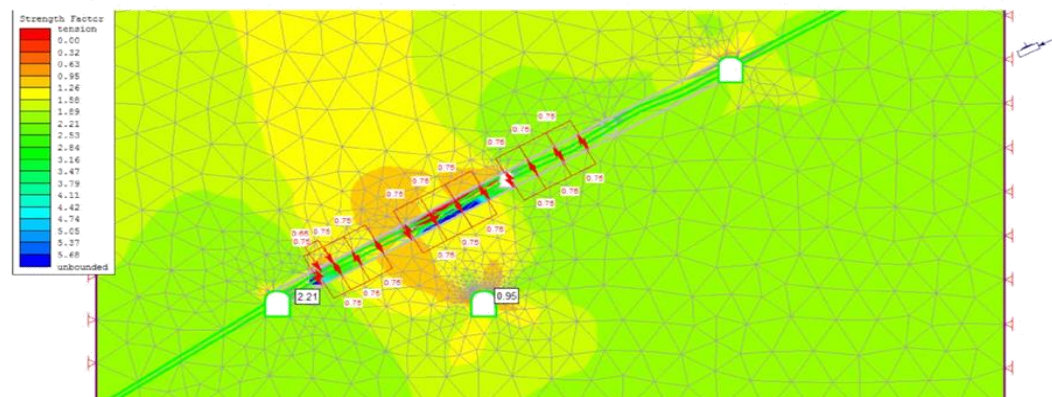
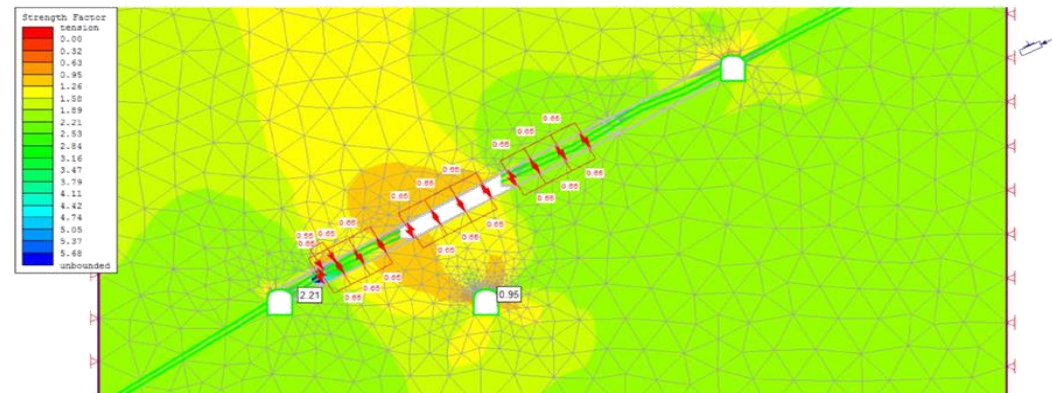
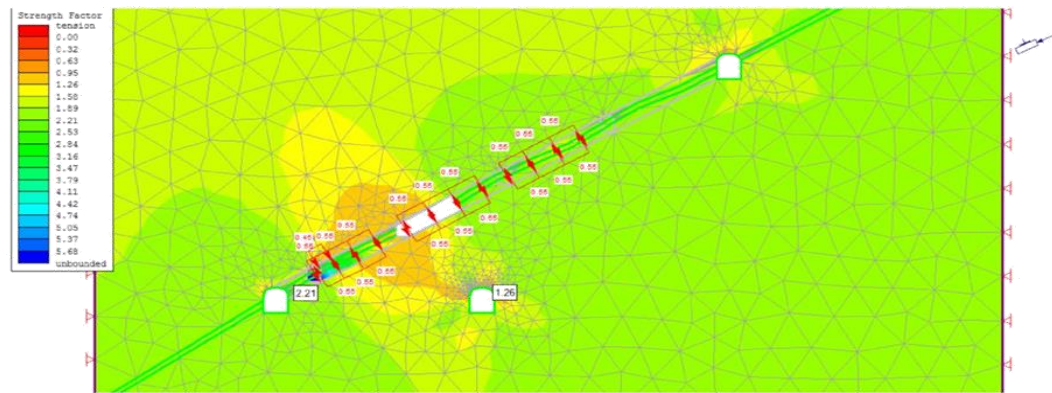
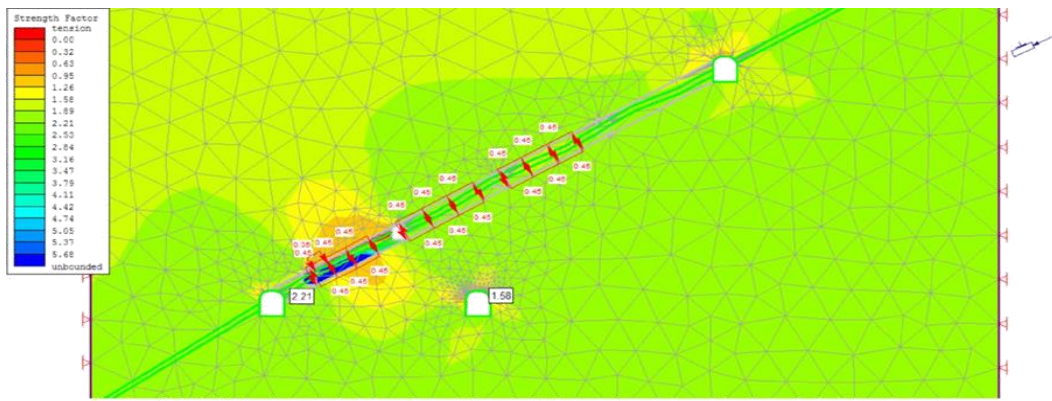


Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

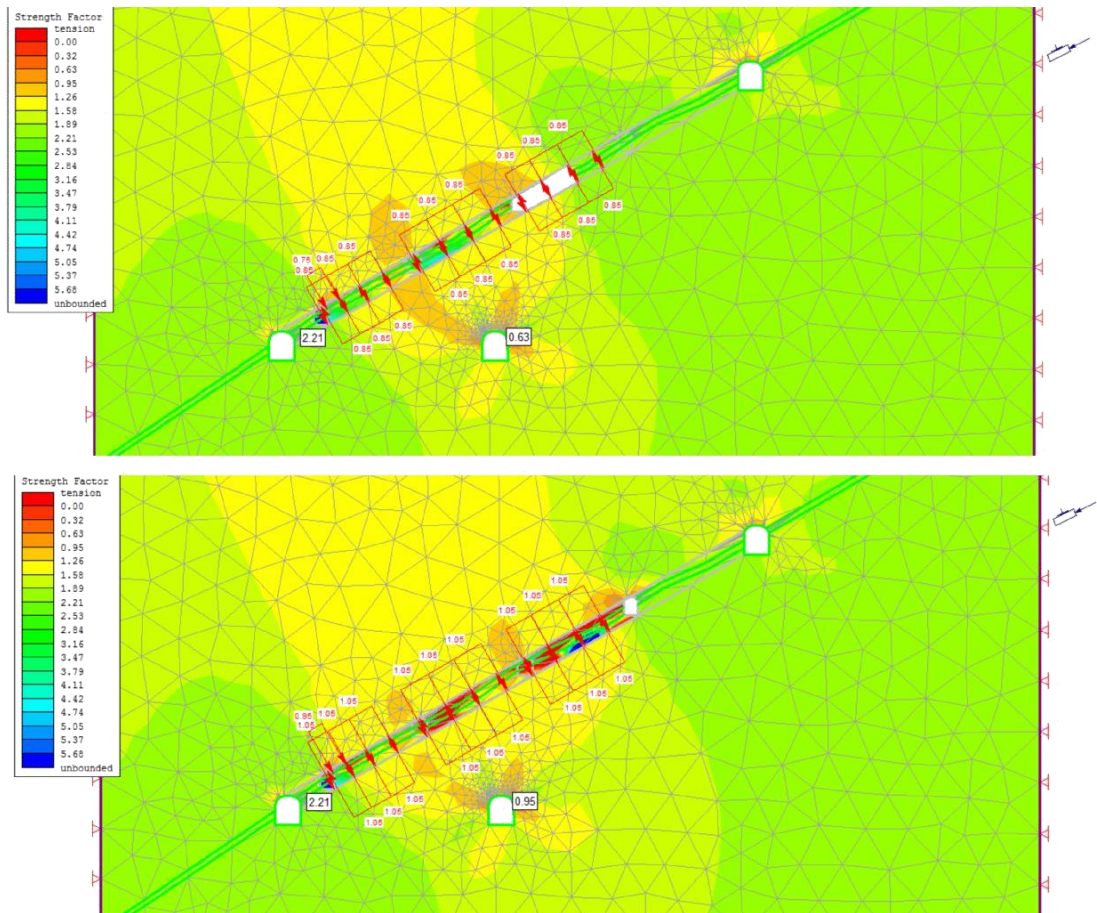
Figura N° 5.23: Distribución de factores de resistencia a medida que se desarrolla el minado por método de corte y relleno ascendente convencional.



Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.



Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

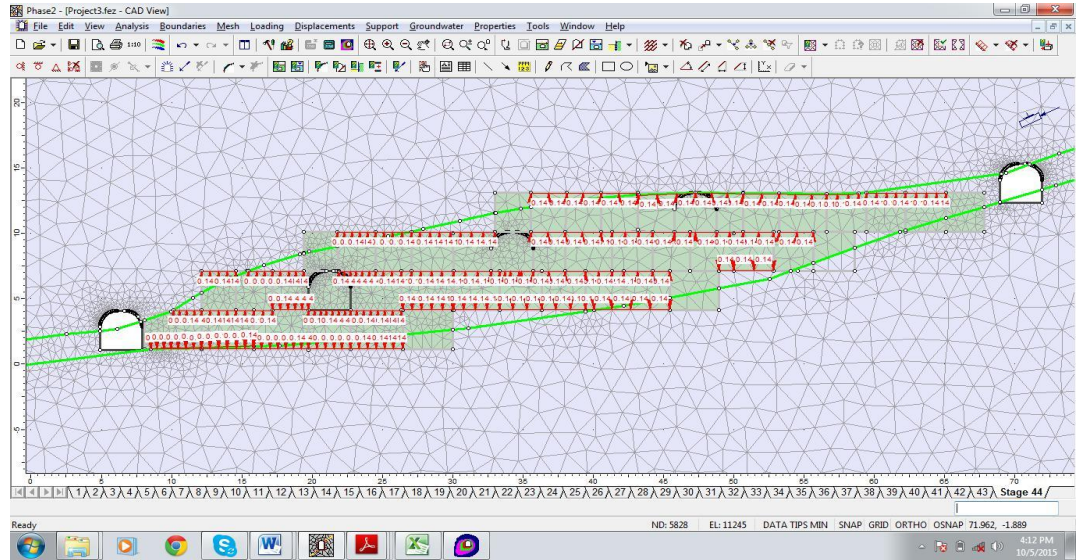


Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

5.2.2.2. Método de explotación por cámaras y pilares

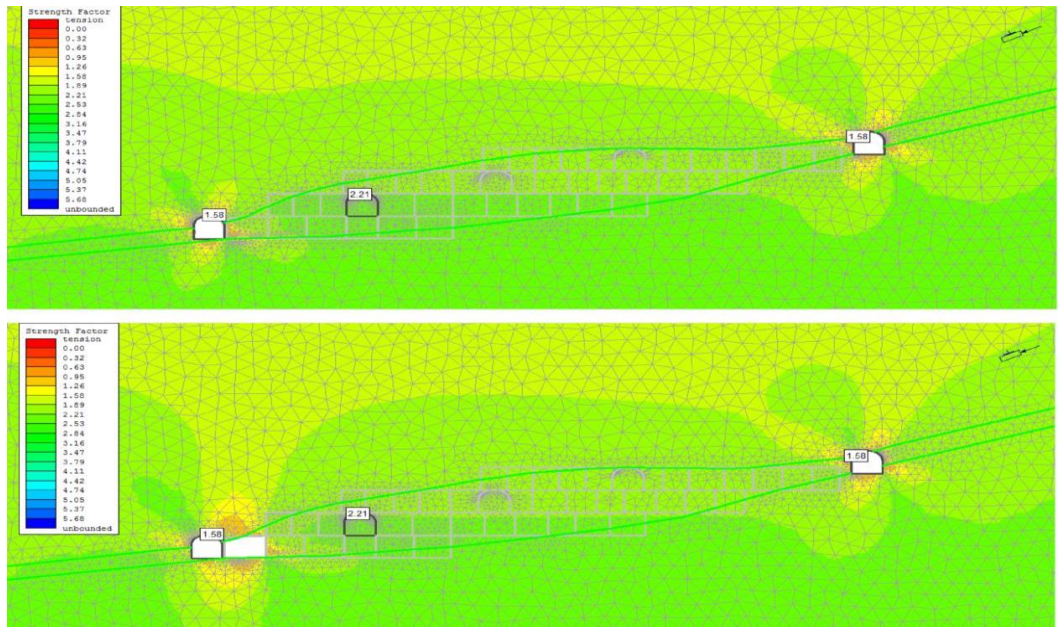
En el caso del minado semi-mecanizado por cámaras y pilares, las dimensiones del área minada actúan desfavorablemente, con factores de seguridad que varían de 1.26 a 0.95 a medida que se desarrolla el minado. El uso del sostenimiento de soporte, cuadros de madera coadyuvarían a mantener condiciones de estabilidad. Cabe resaltar, que de acuerdo a la simulación realizada el minado tiene poca significancia en la estabilidad de las galerías principales.

Figura N° 5.24: Modelo de malla de elementos finitos para la simulación del minado semi mecanizado por cámaras y pilares

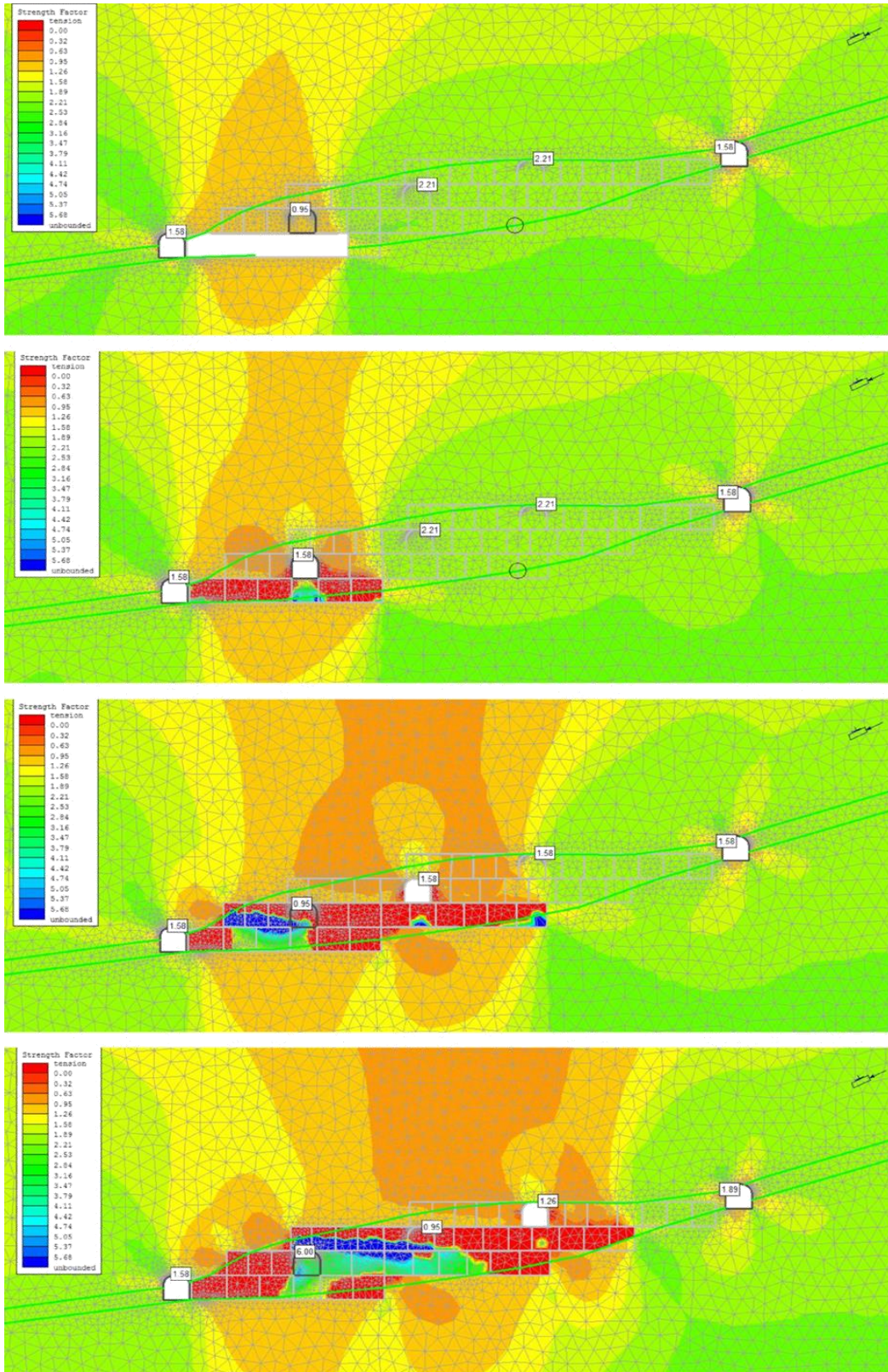


Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

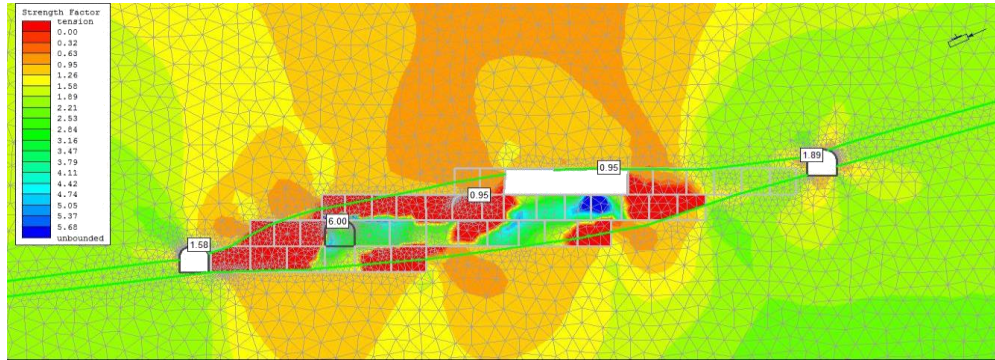
Figura N° 5.25: Distribución de factores de resistencia a medida que se desarrolla el minado por método semi mecanizado de cámaras y pilares.



Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.



Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

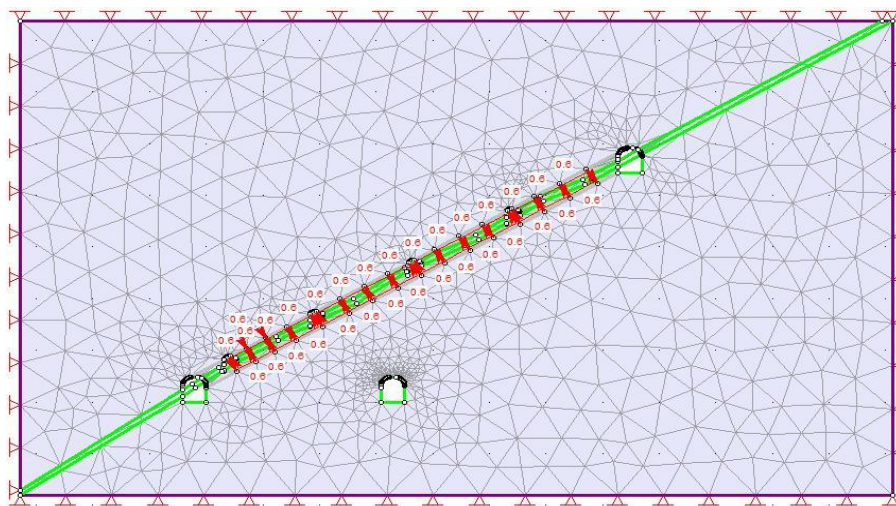


Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

5.2.2.3. Método de explotación Longwall

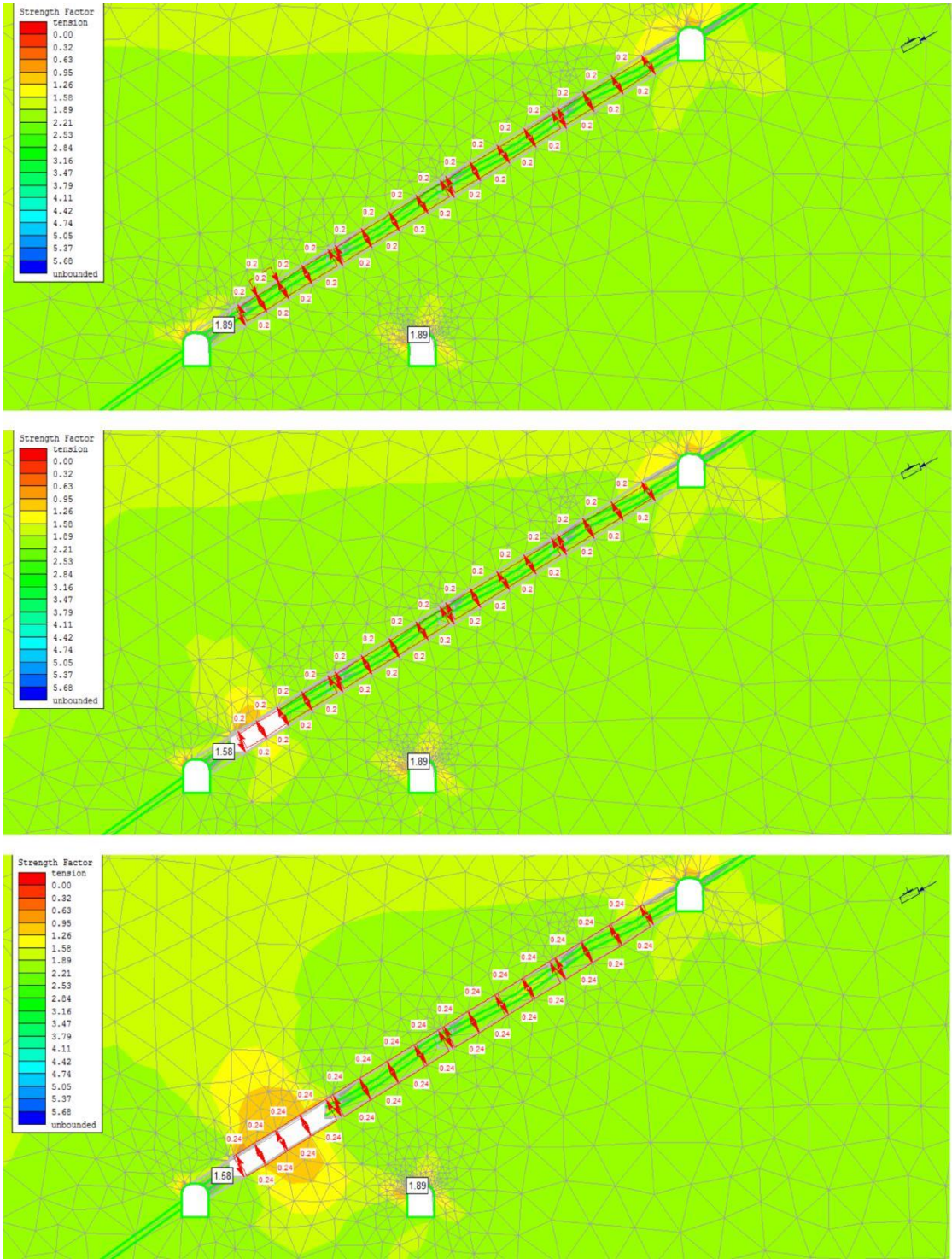
Dada las características de la explotación Long Wall, se tienen mayores áreas expuestas sin relleno, lo que podría ocasionar efectos desfavorables con la estabilidad del tajo; sin embargo que da demostrado que mediante el sostenimiento continuo con madera y relleno después de culminar el block, las condiciones de estabilidad se mantendrán con un factor de seguridad de 1.26.

Figura N° 5.26: Modelo de malla de elementos finitos para la simulación del minadom por longwall

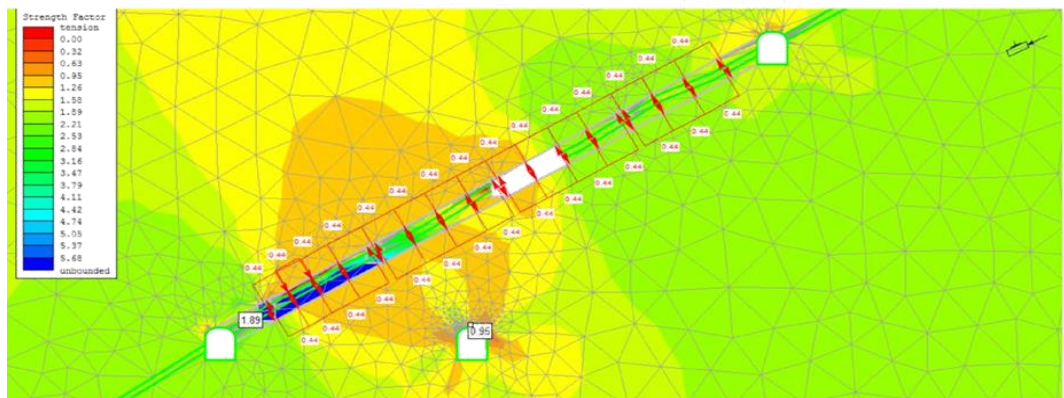
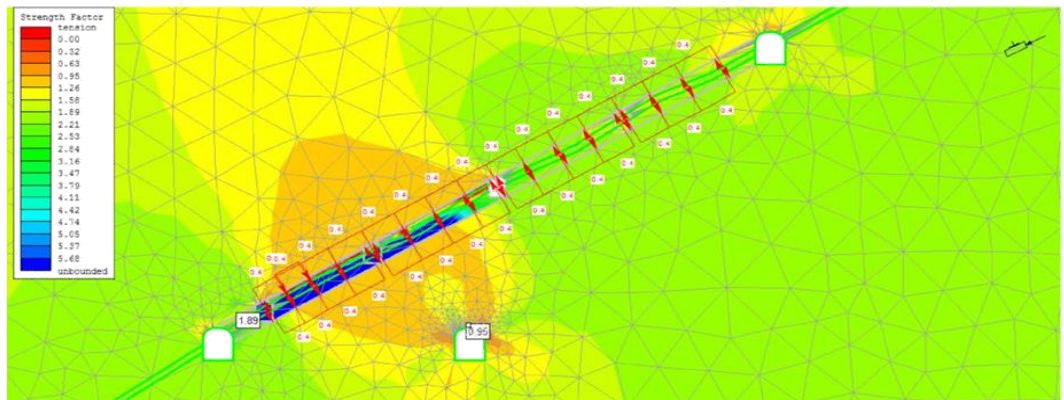
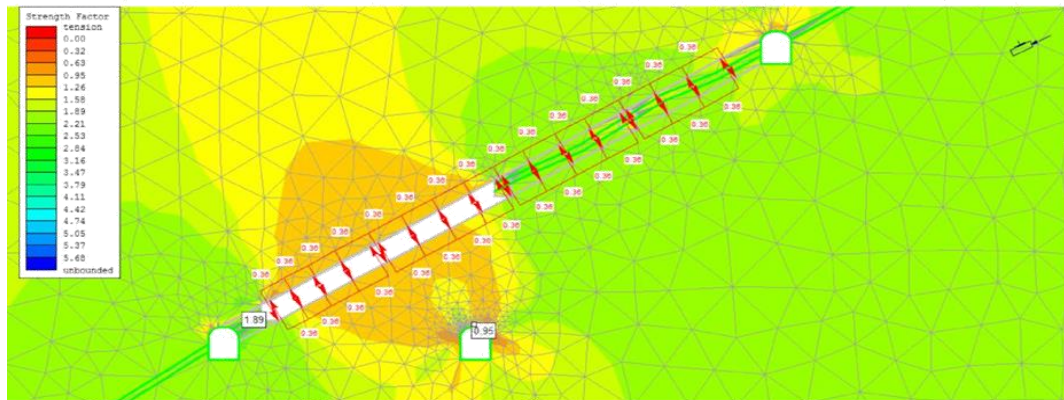
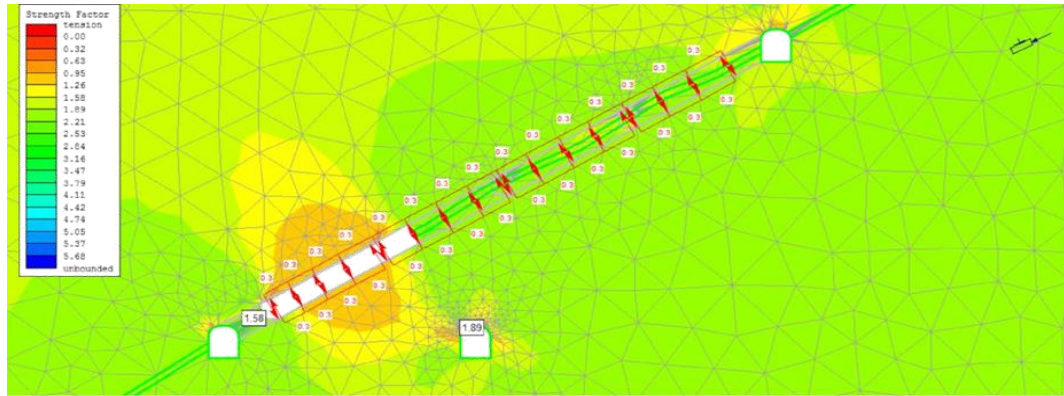


Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

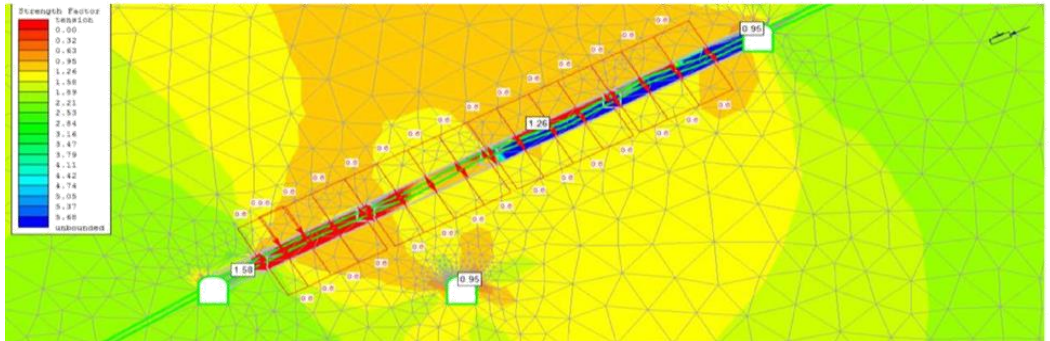
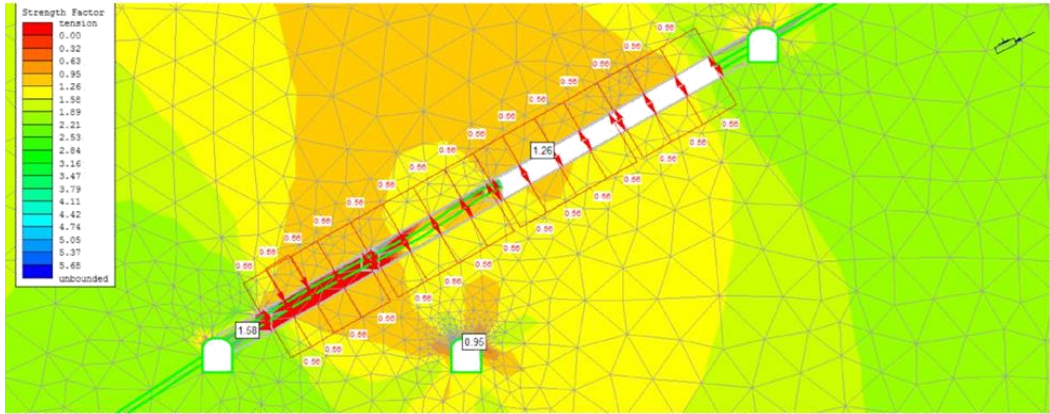
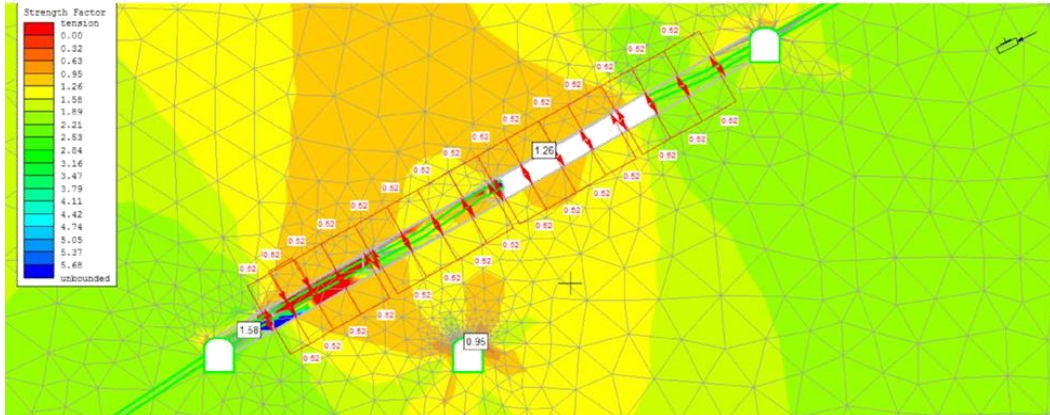
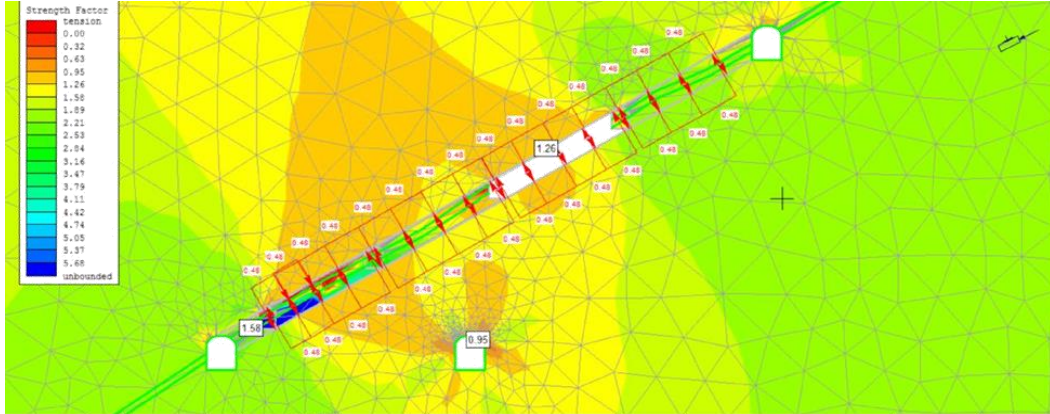
Figura N° 5.27: Distribución de factores de resistencia a medida que se desarrolla el minado por método longwall



Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.



Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.



Fuente: Data programa PHASE Versión 6.004 de Rocscience Inc.

5.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Si se determina la caracterización geomecánica de la masa rocosa, entonces se realiza el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Retamas S.A.

Entre los aspectos más relevantes del sistema de información geomecánica, relacionado a las características del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes, son los ensayos de laboratorio y los ensayos in-situ, con la finalidad de determinar las propiedades físico mecánicas de las rocas y el monitoreo de la masa rocosa de las operaciones de Minera Aurífera Retamas S.A.

En el presente estudio se detalla la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, y el monitoreo de la masa rocosa de las operaciones del mismo, ejecutada de acuerdo a los estándares conocidos a nivel mundial, para este caso referido a la caracterización geomecánicas, se aplica los estándares de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas – ISRM. Es decir, para la caracterización de la masa rocosa del área de estudio, se registraron datos a partir del mapeo geotécnico de campo, que se llevo a cabo utilizando el “método directo por celdas de detalle”. Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes.

Estos parámetros son: tipo de roca, tipo de sistemas de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno,

espesor del relleno, intemperización, y presencia de agua. Adicionalmente se registraron, datos sobre la resistencia de la roca y la densidad de fracturas. Donde cada celda de detalle constituye una estación de mediación, en total se realizaron mapeos en 600 celdas o estaciones de medición.

Asimismo, en base a los estudios arriba mencionados se determinaron las condiciones de estabilidad de las distintas excavaciones subterráneas asociado al método de minado subterráneo con las condiciones geomecánicas actuales en Minera Aurífera Retamas; considerando la estabilidad estructuralmente controlada, para el análisis se ha considerado el compósito de discontinuidades y su configuración estructural de acuerdo al avance de la excavación mediante el programa UNWEDGE Versión 3.005 de Rocscience Inc. (2004). Para el análisis de la estabilidad se consideró mediante los esfuerzos inducidos debido a las excavaciones subterráneas asociado exclusivamente al método de explotación se ha utilizado el programa PHASE2 versión 6.004 de Rocscience Inc. (2005) que analiza esfuerzos y deformaciones usando el método de elementos finitos. Los métodos analizados fueron: Método por corte y relleno ascendente convencional, método de explotación semi-mecanizado por cámaras y pilares y método de explotación Longwall.

5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la elaboración del presente estudio de tesis se utilizó información Geomecánica básica en base a mapeos de caracterización Geomecánica y estructural mediante la técnica de celda de detalle. Una vez acopiada la información suficiente, se procedió a agrupar y clasificar los datos para obtener valores geomecánicos representativos para los diferentes tipos litológicos de la zona. Para la descripción de la calidad del macizo rocoso se usó el sistema de clasificación Geomecánica RMR.

Se obtuvieron valores representativos de la orientación de los sistemas principales de discontinuidades, caracterización geomecánica de la roca intacta y discontinuidades. Con la información obtenida, usando metodologías empíricas, se obtuvieron los parámetros geomecánicos del macizo rocoso; así mismo, usando data de mediciones de esfuerzos tectónicos in-situ realizados, se obtuvieron los esfuerzos a diferentes estados tensionales.

Se analizaron las condiciones de estabilidad de las excavaciones de acuerdo a la influencia de las discontinuidades estructurales y de los esfuerzos en las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado. Se hicieron simulaciones utilizando el programa PHASE2 versión 6.004 de Rocscience Inc. En los siguientes métodos de explotación:

Método por corte y relleno ascendente convencional

El análisis geomecánico tiene por objetivo la influencia del minado en el puente de la galería inferior al tajo así como también el By pass. De la simulación realizada se observa que el Factor de resistencia está por encima de 1.5 (mínimo aceptable en minería, considerando condiciones desfavorables), así mismo, la simulación corrobora la acertada respuesta mecánica de los elementos de soporte ya sea puntales o madera. Sin embargo, se evidencia influencia moderada sobre el by pass inferior, reduciéndose el factor de seguridad a 0.95.

Método de explotación semi-mecanizado por cámaras y pilares

En el caso del minado semi-mecanizado por cámaras y pilares, las dimensiones del área minada actúan desfavorablemente, con factores de seguridad que varían de 1.26 a 0.95 a medida que se desarrolla el minado. El uso del sostenimiento de soporte, cuadros de madera coadyuvarían a mantener condiciones de estabilidad en este método de explotación. Cabe resaltar, que de acuerdo a la simulación realizada el minado tiene poca significancia en la estabilidad de las galerías principales.

Método de explotación Longwall

Dada las características de la explotación Long Wall, se tienen mayores áreas expuestas sin relleno, lo que podría ocasionar efectos desfavorables con la estabilidad del tajo; sin embargo que ha demostrado que mediante el sostenimiento continuo con madera y relleno después de culminar el block, las condiciones de estabilidad se mantendrán con un factor de seguridad de 1.26.

CONCLUSIONES

1. La mina Retamas, se halla en la provincia metalogenética de Lima-Huaylillas en la cordillera oriental. Son vetas hidrotermales de posible alcance mesotermal (2000-3000C), es probable que en el Precámbrico y Paleozoico haya mineralización singenética.
2. En cuanto al control mineralógico se puede afirmar que la pirita es el mineral más importante de la zona. Esta contiene gran porcentaje de Oro. El cuarzo en su variedad lechosa es muy frecuente como mineral de ganga, pero no siempre contiene minerales de Mena.
3. El método de explotación es Corte y Relleno Ascendente Convencional en vetas. Donde la caja techo y el mineral son medianamente competentes (cuando la valoración del RMR sea mayor a 40). La potencia del yacimiento mayor a 40 cm y buzamiento de 30°.
4. Otro método de explotación es de cámaras y pilares en vetas sub-horizontales menores de 20°. De Caja techo semi duro (cuando la valoración del RMR sea menor igual a 40 con potencia de veta mayor a 40 cm.
5. El otro método de explotación es de long Wall Mining, también se explota en vetas sub-horizontales cuya potencia promedio es de 50 cm.
6. La continua toma de datos en mapeos geomecánicos – estructurales de la mina llevada a cabo por el Departamento Geomecánica de MARSA, ha permitido una mayor aproximación durante la estimación de los diferentes parámetros geomecánicos, los cuales a su vez son la base para la elaboración de cualquier

informe técnico geomecánico.

7. En cuanto al mapeo estructural se han definido cuatro sistemas de discontinuidades principales con otros sistemas aleatorios, siendo predominante en todos los dominios estructurales, el sistema con dirección de buzamiento promedio de 257 y buzamiento 57° SW.
8. De acuerdo a la data estructural, es importante nombrar el sistema de fallamientos predominante paralelo a la orientación y buzamiento de la mineralización, así como también otro sistema paralelo pero con dirección de buzamiento opuesto, lo que influye desfavorablemente en la formación de bloques tipo cuña en corona.
9. En cuanto al sistema de clasificación Geomecánica, dentro de los diferentes dominios litológicos, se tiene un rango de valores de calidad de roca que van desde roca buena a roca muy mala. Las condiciones de roca mala se han producido por fallamientos y alteraciones dentro del halo de alteración de la mineralización.
10. En cuanto a la presencia de agua, es predominante ambientes húmedos y mojados dentro de los afloramientos rocosos en interior mina, siendo el último, de mayor implicancia en la estabilidad.
11. Del análisis de los métodos de explotación, de acuerdo a las simulaciones realizadas, los parámetros de diseño han sido dimensionados considerándolas condiciones más desfavorables del estado tensional y calidad de masa rocosa, de esa manera, se demuestra la funcionalidad de las excavaciones.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la recopilación diaria de datos Geomecánicos básicos, lo cual permitirá ajustar el modelo Geomecánico.
2. Cumplimiento de los parámetros de diseño de los métodos de explotación, para mantener condiciones de estabilidad favorables.
3. Del análisis estructuralmente controlado, es evidente la formación de bloques de diferentes dimensiones cuando el avance de la labor va en dirección paralela a las estructuras mineralizadas, no obstante, por razones técnicas estas direcciones deben ser tomadas, y el control de estos bloques de roca se ha de realizar en base al estándar de sostenimiento asociado a la calidad de roca y con la supervisión del área de Geomecánica.
4. Las inspecciones Geomecánicas diarias de las labores son necesaria para garantizar la estabilidad de las diferentes excavaciones basadas en criterios Geomecánico definidos por el Dpto. de Geomecánica de MARSA.
5. Realizar también el estudio geomecánico para la recuperación segura y racional de reservas existentes en puentes y pilares.

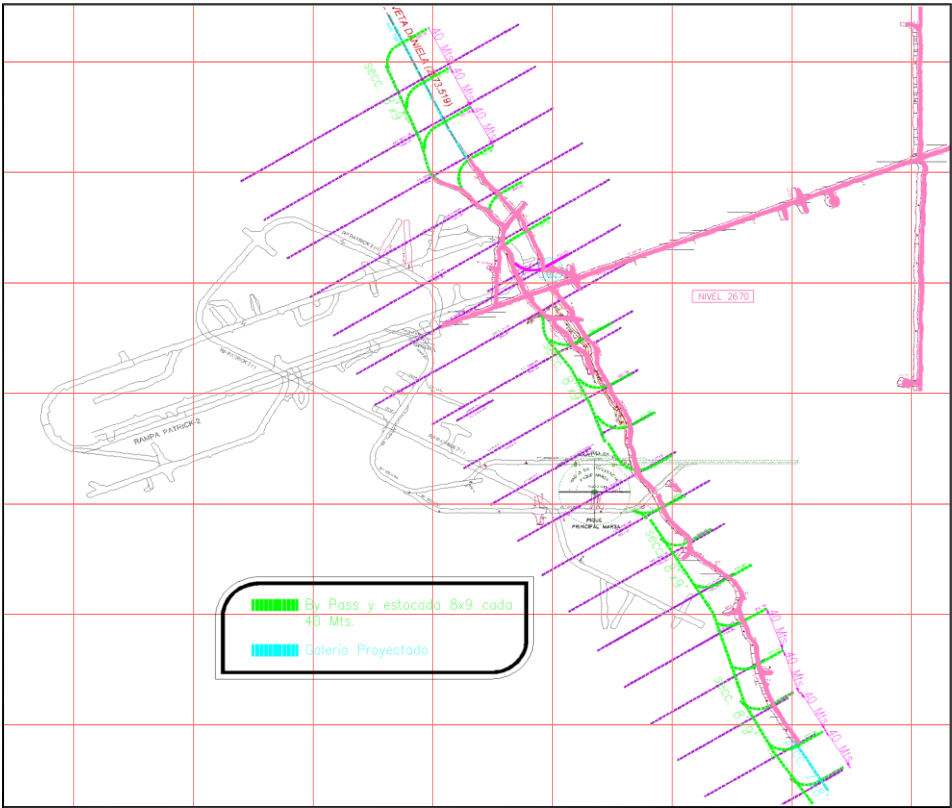
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Cabello Corman, Noe (2008), "Selección del método de explotación para la veta piedad de La Mina Catalina Huanca". Tesis de Grado.
2. Espinoza Campos, Gianmarco (2017), "Estudio geomecánico para evaluar la estabilidad local y global en Minera Bateas S.A.C.". Tesis de Grado.
3. Gago Oliver, (1996). "Selección Numérica de los Métodos de Explotación". Publicación Revista Minas y Petróleo.
4. Gavilanes J., Byron Andrade Haro, Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador – 2 004 – "Introducción a la Ingeniería de Túneles: Clasificación y Análisis Geomecánico de Macizos Rocosos".
5. Hoek E., Kaiser P., Bawden W. "Support of Underground Excavations in Hard Rock" A.A. Balkema 1995.
6. Instituto Tecnológico Geominero de España (2010) Manual de Perforación y Voladura de Rocas.
7. Ladera N, (1989), "Estado Tecnológico de las Minas Subterráneas en el Perú". Publicación Revista Minería.
8. Llanque O y Navarro V. (1999). "Explotación subterránea- Métodos y Casos Prácticos". Libro
9. Munguía P. (2008). "Recuperación de mineral diseminado mediante el método sublevel stoping cuerpos". Tesis de Grado.

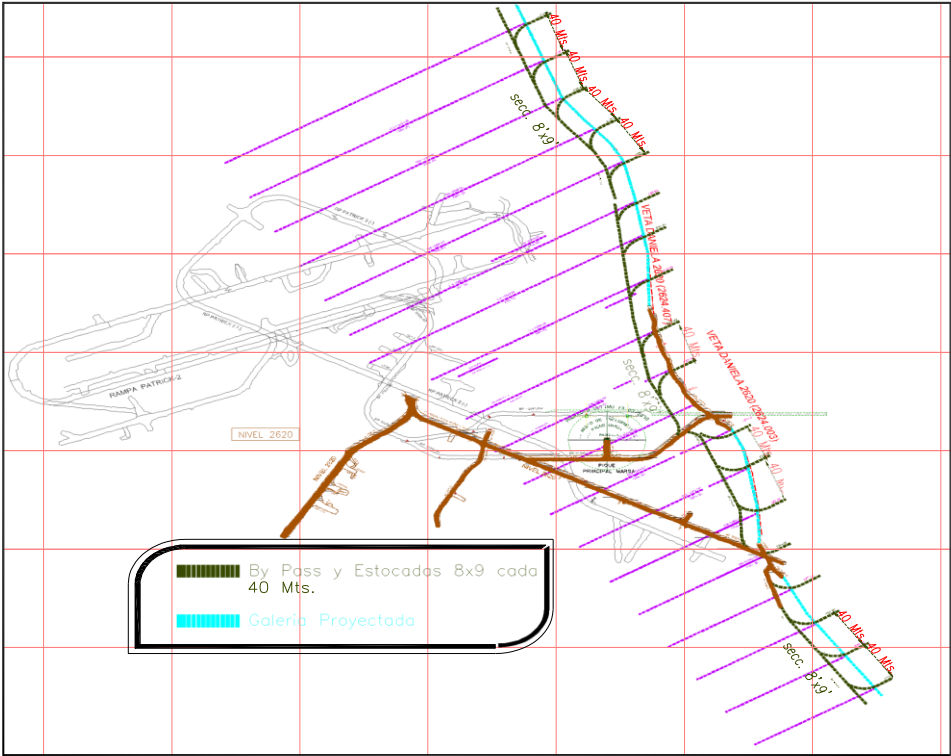
10. Palacios García Sergio 2015. "Estudio Comparativo de Metodos de Excavacion de Túneles en Suelo Mediante el Método de los Elementos Infinitos.
11. Rockscience Inc. 2009 Rock Supportl interaccion and Deformation analysis for tunnels in weak rock. Tutorial Manual.
12. Rocscience, "Rocscience – Geomechanics Software & Research" Manuales de los programas de cómputo utilizados, 1998 – 2004.
13. Weiss F. y Córdova D. "Influencia de las condiciones naturales en la selección del método de explotación en minería subterránea", Informe INGEMMET – 1991.

ANEXO

**Plano. Nv. 2670: Exploración, Desarrollo y preparación veta Daniela
Mina MARSA**



**Plano Nv. 2620: Exploración, Desarrollo y preparación veta Daniela Mina
MARSA**



MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL ESTUDIO DE TESIS: “Caracterización Geomecánica en el Análisis de Estabilidad Generados por la Explotación Subterránea Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACION	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p>Problema general ¿Cómo se determinará la caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>1. ¿Cómo realizar la caracterización geomecánica de la masa rocosa en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.?</p> <p>2. ¿Cómo se analizará la estabilidad de los tajeos generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.?</p>	<p>Objetivo general Determinar la caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>1. • Realizar la caracterización geomecánica de la masa rocosa para determinar su calidad en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.</p> <p>2. • Analizar la estabilidad de los tajeos generados por la explotación subterránea para determinar los parámetros de diseño en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.</p>	<p>A consecuencia de las actividades mineras de explotación en la mina, se observa que las condiciones de inestabilidad dan como resultado que las cajas techo y piso son bastantes incompetentes; estas características dan como consecuencia que las labores de exploración, desarrollo y explotación en estas estructuras se justifica de un estudio geomecánico en cuanto a su caracterización de la masa rocosa para realizar el análisis de estabilidad.</p>	<p>Hipótesis general Si se determina la caracterización geomecánica de la masa rocosa, entonces se realiza el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea en la Compañía Minera Retamas S.A.</p>	<p>V. Indep. : Variable Independiente: X= Caracterización geomecánica de la masa rocosa.</p> <p>V. Depend. : Análisis de la estabilidad generados por la explotación subterránea</p> <p>V. Interv.: Con la caracterización geomecánica y análisis de estabilidad durante la explotación subterránea de trabajar con mayor seguridad. mineras.</p>	<p>De la V. Indep.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia de la masa rocosa ▪ Discontinuidades de la masa rocosa ▪ Calidad de la roca ▪ Índices geomecánicos ▪ Esfuerzos insitu <p>De la V. Depend.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Compósito de discontinuidades ▪ Análisis de estabilidad estructural ▪ Data DIPS y UNWEDGE ▪ Estabilidad estructuralmente controlada ▪ Estabilidad controlada por esfuerzos ▪ Dimensionamiento de tajeos

Pasos para el modelado y análisis del método de explotación en PHASE 2

