

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**Evaluación geomecánica para proponer el método de minado en
la Mina Azulcocha 2022**

**Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERO DE MINAS**

**Presentado por:
Bach. Rasori Emerson Ordoñez Mejia**

**Asesor:
Msc. Ing. José Agustín Esparta Sanchez**

AYACUCHO - PERÚ

2023

AGRADECIMIENTO

A través de estas líneas, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento por su inestimable guía, apoyo y dedicación durante el proceso de desarrollo de mi tesis.

Su experiencia y conocimiento en operaciones mina han sido fundamentales para mi crecimiento académico y profesional. Desde el inicio de este proyecto, su orientación y consejos han sido invaluable para orientarme en la dirección correcta, ayudándome a definir el enfoque y la metodología más adecuada.

Además, agradezco profundamente su paciencia y disponibilidad para responder a mis preguntas, discutir ideas y brindarme valiosos comentarios sobre mi trabajo. Sus sugerencias y observaciones críticas han contribuido significativamente a mejorar la calidad y el rigor de mi investigación.

No puedo dejar de mencionar la confianza que depositó en mí, permitiéndome llevar a cabo este proyecto y dándome la oportunidad de explorar nuevos horizontes en mi campo de estudio. Gracias a su estímulo constante, he logrado superar obstáculos y enfrentar desafíos con determinación y perseverancia.

Por último, pero no menos importante, quisiera expresar mi gratitud por su actitud comprensiva y su apoyo emocional a lo largo de todo este proceso. Sus palabras de aliento y motivación me han impulsado a seguir adelante incluso en momentos de duda y agotamiento.

DEDICATORIA

A ti esposa e hija mia, ustedes han sido mi constante fuente de inspiración y apoyo, dedico esta tesis con profundo agradecimiento y amor.

Tus palabras de aliento y aliento inquebrantable han sido la fuerza impulsora detrás de mi búsqueda del conocimiento y mi perseverancia durante este arduo proceso. Tu confianza en mí y en mis habilidades me ha dado el coraje necesario para enfrentar los desafíos y superar los obstáculos que surgieron en el camino.

Tu amor incondicional y tu paciencia infinita me han brindado el equilibrio emocional necesario para sobrellevar los momentos de estrés y las horas dedicadas a la investigación y escritura. Tu presencia ha sido un faro de luz en los días oscuros y una celebración en los días de logros.

Esta tesis no habría sido posible sin tu constante apoyo logístico y práctico. Agradezco sinceramente tus palabras de sabiduría, tus revisiones y correcciones meticulosas, que han mejorado la calidad de mi trabajo.

A través de esta dedicatoria, quiero expresar mi más profundo agradecimiento y reconocimiento a tu contribución en mi vida académica y personal. Este logro es también tuyo, y compartir este hito con alguien tan especial para mí es un verdadero privilegio.

Por último, deseo transmitirme mi amor eterno y gratitud por ser mi mayor motivación y fuente de felicidad. Tu amor y apoyo han sido el combustible que me ha impulsado a alcanzar mis metas y aspiraciones.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
ASESOR	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE.....	v
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	2
1.1. Planteamiento y formulación del problema	2
1.1.1. Realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación en importancia.....	4
Justificación teórica.....	4
Justificación práctica.....	4
Justificación metodológica.....	4
Importancia.....	5
1.5. Hipótesis y descripción de variables	5
1.5.1. Hipótesis	5
1.5.2. Identificación de variables.....	5
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Generalidades.....	7

2.1.1.	Ubicación.....	7
2.1.2.	Accesibilidad	8
2.1.3.	Clima y vegetación	9
2.1.4.	Geología.....	9
	Geología regional	9
	Geología estructural	13
	Geología local	15
2.2.	Antecedentes de la investigación	18
2.3.	Bases teóricas	18
2.3.1.	Mecánica de rocas.	18
2.3.2.	La mecánica de rocas en la ingeniería de minas.....	19
2.3.3.	Geomecánica	20
2.3.4.	Criterios geomecánicos.....	21
2.3.5.	Caracterización geomecánica de los macizos rocosos	22
2.3.6.	Meteorización de las rocas	24
2.3.7.	Resistencia de las rocas	24
2.3.8.	Propiedades físico mecánicas del macizo rocoso	25
2.3.9.	Clasificación RQD – Deere	27
2.3.10.	Clasificación de Bieniawski (RMR).....	29
2.4.	Definición de términos básicos	30
CAPITULO III.....		31
METODOLOGÍA.....		31
3.1.	Método y alcance de la investigación	31
3.2.	Tipo de investigación	32
3.3.	Nivel de la investigación	32
3.4.	Método de investigación	32
3.5.	Diseño de la investigación.....	33
3.6.	Población y muestra	33
3.6.1.	Población	33
3.6.2.	Muestra	34
3.6.3.	Muestreo	34
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
3.7.1.	Técnicas de recolección de datos.....	34

3.7.2.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos.....	35
3.7.3.	Procesamientos de datos.....	35
3.8.	Desarrollo de la investigación.....	36
3.8.1.	Descripcion del modelo geomecanico.....	36
3.8.2.	Caracterizacion del maciso rocoso.....	39
3.8.3.	Evaluacion de las propiedades de comportamiento del terreno en la mina Azulcocha. 40	
3.8.4.	Clasificación geomecánica de la masa rocosa en la mina Azulcocha.....	41
3.8.5.1.	Metodo de minado.....	41
CAPITULO IV.....		59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		59
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	59
4.1.1.	Caracterizacion del maciso rocoso.....	59
4.1.2.	Aspectos litológicos.....	60
4.1.3.	Distribución de discontinuidades.....	61
4.2.	Evaluacion de las propiedades de comportamiento del terreno en la mina Azulcocha.	64
4.2.1.	Características Físicas y Mecánicas de la roca intacta y macizo rocoso.....	65
4.2.2.	Resistencia de las discontinuidades.....	65
4.2.3.	Condiciones especiales de la masa rocosa.....	66
4.2.4.	Condiciones del agua subterránea.....	66
4.2.5.	Esfuerzos.....	67
4.3.	Clasificación geomecánica de la masa rocosa en la mina Azulcocha.....	68
4.3.1.	Zonificación geomecánica de la masa rocosa.....	70
4.3.2.	Evaluación geomecánica del macizo rocoso.....	72
4.3.3.	Donimios estructurales.....	72
4.4.	Metodo de explotación propuesto.....	73
4.4.1.	Dilucion.....	75
4.4.2.	Configuracion del método de minado.....	75
4.4.3.	Incorporacion de relleno al método de minado.....	76
4.4.4.	Evaluacion de las condiciones de estabilidad.....	76
CONCLUSIONES.....		78
RECOMENDACIONES.....		81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		82

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	83
Anexo 2: Analisis y resumen de resultados	84
Anexo 3: Ensayos de mecánica de rocas	89
Anexo 4: Clasificación geomecánica del macizo rocoso.....	100
Anexo 5: Analisis estructural.....	105
Anexo 6: Resultados del método grafico de estabilidad de Mathews	111
Anexo 7: Resultados del método de estabilidad de Pilares.....	115

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Correccion por índice de rebote del martillo	25
Tabla 2: Clasificación de las rocas según el índice RQD de Deere.....	28
Tabla 3: Métodos de minado subterráneo en orden de costos	43
Tabla 4: Características geométricas para el método de minada SCL.....	53
Tabla 3: Relacion de los ensayos de resistencia a la compresión simple	59
Tabla 4: Propiedades de la roca intacta	60
Tabla 5: Propiedades del macizo rocoso.....	60
Tabla 6: Propiedades del macizo rocoso.....	66
Tabla 9: Calculo de esfuerzo vertical y horizontal	68
Tabla 10: Criterios de clasificación de la masa rocosa.....	69
Tabla 11: Zonificación Geomecánica del Yacimiento Azulcocha	71
Tabla 12: Numero de estaciones de mapeo geomecanico	72
Tabla 13: Clasificacion geomecánica por sectores de diseño.....	73
Tabla 14: % de la dilución en función de la recuperación.....	75
Tabla 15: Metodo de explotación por banqueo y relleno	75
Tabla 16: Propiedades in situ de compositos de rellenos	76
Tabla 17: Requerimiento de cemento en peso por m3 de relleno.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Compañía Minera Azulcocha.	8
Figura 2: Plano geológico regional.....	10
Figura 3: Esquema de clasificación de las rocas simplificado	23
Figura 4: Factores geológicos del macizo rocoso.....	26
Figura 3: Proyección de falla predominante en roca arenisca.	38
Figura 4: Proyección de falla predominante en zona de mineral	38
Figura 5: Proyección de falla predominante en roca caliza.....	39
Figura 8: Esquema de ubicación y dimensiones del método Sublevel Caving para Mina Azulcocha	54
Figura 9: Secuencia de minado en el Subnivel. Sección Este de la estructura.....	56
Figura 10: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el primer nivel. Los colores rojos indican falla en el macizo. Sección Este de la estructura.	57
Figura 11: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el segundo nivel. Las cajas comienzan a colapsar. Sección Este de la estructura.	57
Figura 12: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el tercer nivel. Las cajas continúan colapsando. Sección Este de la estructura.....	58
Figura 13: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el cuarto nivel. Las cajas comienzan a colapsar, afectando la parte baja. Sección al Este.....	58
Figura 14: Sistemas de fracturas en caja piso (dominio DM-IVB)	62
Figura 15: Sistemas de fracturas en Mineral (dominio DM-IVB).....	62
Figura 16: Sistemas de fracturas en Caja Techo (dominio DM-V).....	63

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	83
Anexo 2: Analisis y resumen de resultados	84
Anexo 3: Ensayos de mecánica de rocas	89
Anexo 4: Clasificación geomecánica del macizo rocoso.....	100
Anexo 5: Analisis estructural.....	105
Anexo 6: Resultados del método grafico de estabilidad de Mathews	111
Anexo 7: Resultados del método de estabilidad de Pilares.....	115

RESUMEN

Esta investigación denominada “EVALUACION GEOMECANICA PARA PROPONER EL METODO DE MINADO EN LA MINA AZULCOCHA - 2022”. Tiene como objeto realizar una evaluación geomecánica de la masa rocosa involucrada con el Cuerpo de la Mina Azulcocha, para determinar el método de minado subterráneos que podrían aplicarse a este yacimiento.

Según el objetivo planteado, se presentan los resultados de las investigaciones geomecánicas, sobre los factores principales de control de la estabilidad y estimar los parámetros geomecánicos básicos. Asimismo, se presentan los resultados de la evaluación de las condiciones de estabilidad de las excavaciones que estarían involucradas con el minado. Finalmente, como resultado de todos los trabajos desarrollados se presentan los resultados de la selección del método de minado y se dan los parámetros del método de minado con mayores probabilidad de aplicación. Concluyéndose a través de esta evaluación, se ha encontrado en el Cuerpo de la Mina Azulcocha condiciones geomecánicas muy desfavorables de la masa rocosa. Según el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), la roca del cuerpo mineralizado y de las cajas techo inmediato es de calidad Muy Mala (Clase V), de la caja techo intermedia, de calidad Mala (Clase IVAB) , y de la caja piso inmediata, de calidad Mala (Clase IVAB), la caja piso intermedia de calidad Regular B (Clase III AB) y la caja piso alejada es de buena calidad (ClaseII), la estructura mineralizada posee una calidad Mala (Clase IVAB). Estas condiciones geomecánicas, harán que sea dificultoso la explotación de la mina, con cualquier método de minado que se adopte.

Palabras clave: Clasificación geomecánica; propiedades del macizo rocoso; método de minado

INTRODUCCIÓN

Azulcocha Mining SA es una empresa dedicada a la explotación de recursos minerales en la mina Azulcocha, ubicada en la Región Junín, provincia de La Oroya. Los principales elementos de explotación son el zinc, plata y plomo. Este proyecto fue anteriormente explotado con el nombre de Mina Gran Bretaña y que debido a problemas políticos de la zona por los años 80 fue abandonada. Azulcocha Mining SA ha retomado la explotación del yacimiento, debido a lo cual ha contratado los servicios de J. Ramírez para que realice la evaluación geomecánica con el fin de definir el método o métodos de minado que podrían ser aplicados en este yacimiento, caracterizado por presentar masas rocosas de muy mala calidad. Como se sabe el buen éxito de una mina depende del nivel de información geológica y geomecánica con que se cuenta, y de la aplicabilidad que se le de a esta información, debido a lo descrito anteriormente es que se debe contar con esta data en todo momento y utilizarla para ser aplicada en la elección del método de explotación a aplicar, el tipo de soporte a instalar, las aberturas máximas a tener, etc. La evaluación geomecánica llevada a cabo, significó la elaboración de una caracterización de la masa rocosa del yacimiento del nivel -40 al nivel cero, la determinación del comportamiento mecánico de la roca, la clasificación geomecánica de la masa rocosa, la zonificación geomecánica del cuerpo mineralizado y de su entorno, la evaluación de las condiciones naturales del yacimiento y la evaluación de las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, en base a la información que se ha tenido disponible en esta etapa del proyecto. Esta evaluación condujo a la definición del método de minado. El presente, constituye el informe de los resultados del trabajo efectuado, el mismo que se pone a consideración de la Gerencia de Azulcocha Mining SA.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Realidad problemática

Para llevar a cabo una operación minera de manera eficiente y eficaz es necesario ejecutar los planes desarrollados en los estudios previos, dichos estudios toman en consideración la mejor alternativa para el tipo de yacimiento en cuestión. Se diseñan y plantean el método minado, dimensionamiento de los tajeos, dimensionamiento de equipos, tipo de sostenimiento, diseño de relleno, proceso de recuperación metalúrgica, entre otros.

La minería es una actividad extractiva cuyo desarrollo constituye soporte para gran parte de la industria manufacturera y es una importante fuente de crecimiento económico para los países en vías de desarrollo. El Perú es uno de los principales productores de metales a nivel mundial, prueba de ello es que ocupa un buen lugar como productor de oro a nivel mundial y uno de los primeros en Latinoamérica.

Fruto del análisis de la importancia que tienen ciertos factores que condicionan la actividad minera, surge la necesidad de desarrollar la ingeniería geotécnica a nivel de minas, en este aspecto en la Empresa Azulcocha Mining SA, tiene la necesidad de determinar el método o métodos de minado subterráneos que podrían aplicarse a este yacimiento, en base a la información que se ha tenido disponible a partir del mapeo geotécnico de las labores actuales de preparación, realizada como parte de la exploración del yacimiento. Asimismo, se pretende establecer las condiciones de estabilidad de las excavaciones que estarían involucradas con el minado, y así determinar los parámetros del método de minado con mayores probabilidad de aplicación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo la evaluación geomecánica influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- ❖ ¿De qué manera la evaluación de las condiciones naturales del yacimiento o ambiente geomecánico influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?
- ❖ ¿Cómo la caracterización geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?
- ❖ ¿En qué medida la determinación de las propiedades de comportamiento del terreno influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?
- ❖ ¿Cómo la clasificación geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar la evaluación geomecánica para proponer el método de minado en la mina Azulcocha 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Conocer de qué manera la evaluación de las condiciones naturales del yacimiento o ambiente geomecánico influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.

- ❖ Establecer como la caracterización geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del metodo de minado en la mina Azulcocha 2022.
- ❖ Determinar en que medida la determinación de las propiedades de comportamiento del terreno influye en la propuesta del metodo de minado en la mina Azulcocha 2022.
- ❖ Evaluar como la clasificación geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del metodo de minado en la mina Azulcocha 2022.

1.4. Justificación en importancia

Justificación teórica

Este estudio se justifica en que, no solo contribuirá a la ingeniería geotécnica, sino también a la prevención de accidentes e incidentes y la toma de decisiones por parte de la alta dirección y ayudará a fundamentar el tema en mención, además generará una corriente de conocimientos para futuros estudios y materia de consulta de otros investigadores.

Justificación práctica

Este proyecto de investigación posee una justificación práctica debido a que en su desarrollo se fortalecero temas ligados a la mecánica de rocas y por ende al desarrollo de actividades de explotación en la mina .

Justificación metodológica

Este estudio tiene como justificación metodológica, porque busca resolver los objetivos que se plantearon; para lo cual, se realizará una supervisión operativa in situ para conocer los componentes geomecanicos de la mina. Para ello se realizará ficha de registro en la que se registró y procesamiento de la información.

Importancia

La importancia de esta investigación radica en que contribuirá a dar continuidad a la explotación minera. Asimismo, servirá como fuente de referencia para otras investigaciones semejantes.

1.5. Hipótesis y descripción de variables

1.5.1. Hipótesis

1.5.1.1. Hipótesis general

La evaluación geomecánica influye significativamente en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.

1.5.1.2. Hipótesis específicas

- ❖ La evaluación de las condiciones naturales del yacimiento o ambiente geomecánico influye de manera positiva en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.
- ❖ La caracterización geomecánica de la masa rocosa influye significativamente en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.
- ❖ La determinación de las propiedades de comportamiento del terreno influye en gran medida en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.
- ❖ La clasificación geomecánica de la masa rocosa influye positivamente en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.

1.5.2. Identificación de variables

1.5.2.1. Variable dependiente

- ❖ Método de minado

Indicadores

- Selección del metodo de minado
- Parametros estimados del metodo de minado

1.5.2.2. Variable independiente

- Evaluacion geomecanica

Indicadores

- condiciones naturales del yacimiento
- caracterización geomecánica de la masa rocosa
- propiedades de comportamiento del terreno
- clasificación geomecánica de la masa rocosa

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

2.1.1. Ubicación

Políticamente la Mina Azulcocha se ubica en los Andes centrales del Perú, en el distrito de San José de Quero, perteneciente a la provincia de Concepción, departamento de Junín. La altura sobre el nivel del mar varía de 4,200 a 4,600 msnm. Las coordenadas UTM de referencia son las siguientes:

- ❖ 8'666,500 –N
- ❖ 426,500 – E

Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas:

- ❖ Longitud W: 75° 40''
- ❖ Latitud S: 12° 35''

La UEA Azulcocha cuenta con 22 concesiones en un total de 3573.82 hectáreas. las que se encuentran en el departamento de Junín y Lima.

El proyecto Azulcocha cuenta con un acuerdo entre las comunidades dentro del área donde se encuentra la UEA Azulcocha por medio de contratos de arrendamiento hasta el año 2025.

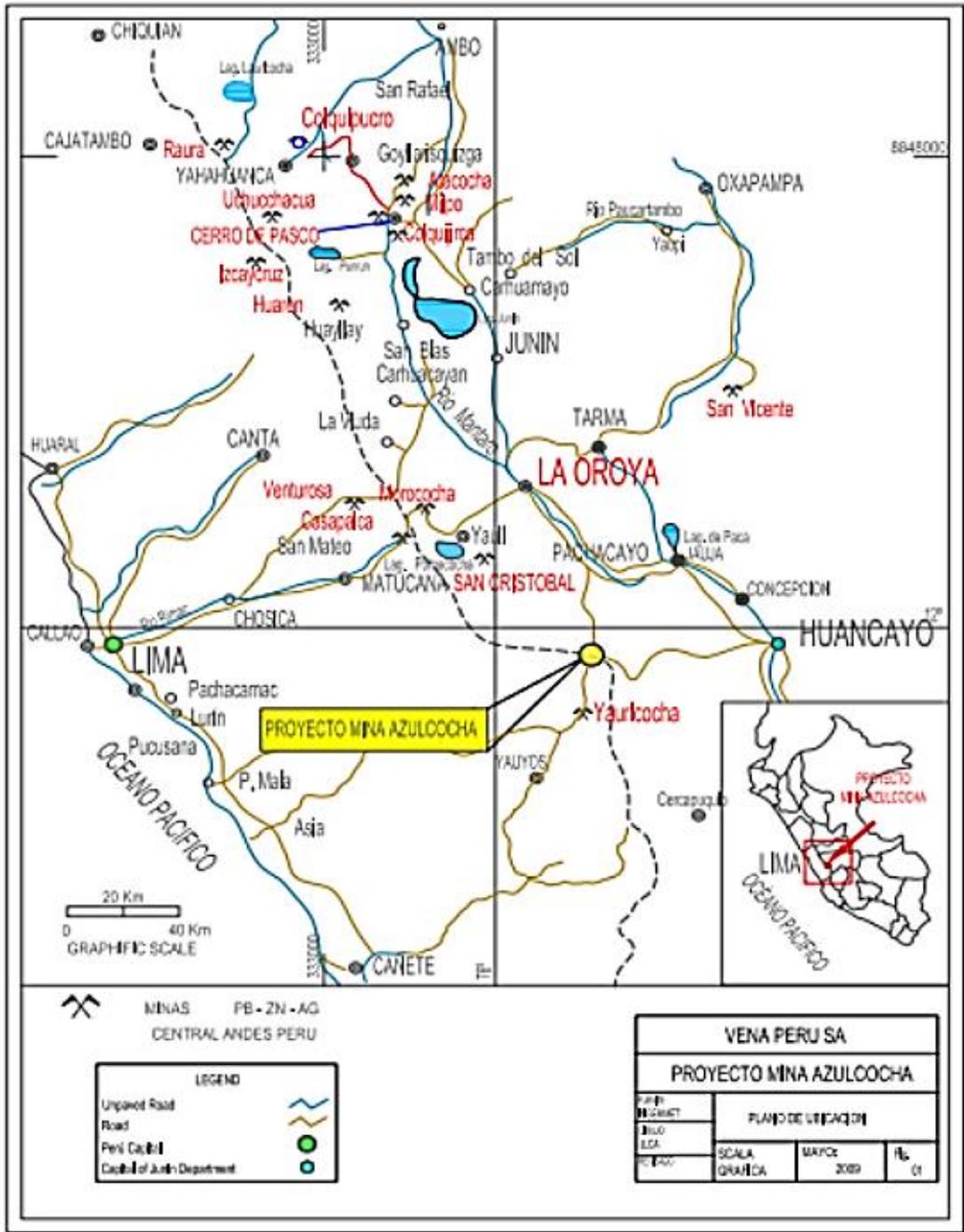


Figura 1: Ubicación de la Compañía Minera Azulcocha.

2.1.2. Accesibilidad

La accesibilidad a la Mina desde Lima es a través de una carretera asfaltada hasta la Hacienda Pachacayo con una longitud de 270 Km., para continuar hasta la Mina Azulcocha a través de una carretera afirmada de 41 Km, haciendo un total de 311 Km. Desde Huancayo se utiliza la

carretera afirmada de la mina Yauricocha. Esta ruta se desvía en Jatunhuasi haciendo una distancia total Huancayo – Azulcocha de aproximadamente 70 kilómetros. La topografía local y la morfología son caracterizadas por colinas redondeadas de caliza y valles formados de erosión glaciar. La mayoría de valles son pantanosos y contienen varios lagos de origen glaciar.

2.1.3. Clima y vegetación

El clima es netamente frígido y seco, con una estación lluviosa de octubre a marzo y otra seca con esporádicas nevadas de abril a setiembre. En la temporada seca el clima soporta temperaturas bajo cero con vientos muy fuertes. En general son poco probables las temperaturas mayores a 15° C. Mientras las temperaturas son moderadas, el sol puede ser muy fuerte con altas lecturas ultravioletas que son comunes durante el mediodía.

El terreno sobre el cual las concesiones son localizadas, la vegetación es propia de alta montaña, mayormente ichu, no hay presencia de árboles ni arbustos. Se caracteriza por la alta altitud pampa o zonas rodeadas por colinas pronunciadas, además de pequeños lagos y charcas en el área, asimismo el piso de valle es bastante empantanado. Por sobre los 4,600 m. predomina la presencia de ichu como vegetación.

2.1.4. Geología

Geología regional

La geología regional en los alrededores de la mina Azulcocha se caracteriza por la amplia distribución de rocas sedimentarias (calizas, areniscas y lutitas) del miogeosinclinal Mesozoico. Estas comprenden en edad desde el Jurásico Inferior (Formación Condorsinga del Grupo Pucará) hasta el Cretáceo Medio (Formación Jumasha) y han sido fuertemente plegadas durante la orogénesis andina.

Cinco kilómetros hacia el este de la mina, el stock Chuquipite (3.0 x 3.5 kms) de composición granodiorítica intruye los sedimentos mencionados. De igual manera, aunque poco frecuente, los sedimentos son intruídos por diques irregulares de composición andesítica, los que principalmente se encuentran al sur de la mina Azulcocha y en los trabajos subterráneo.

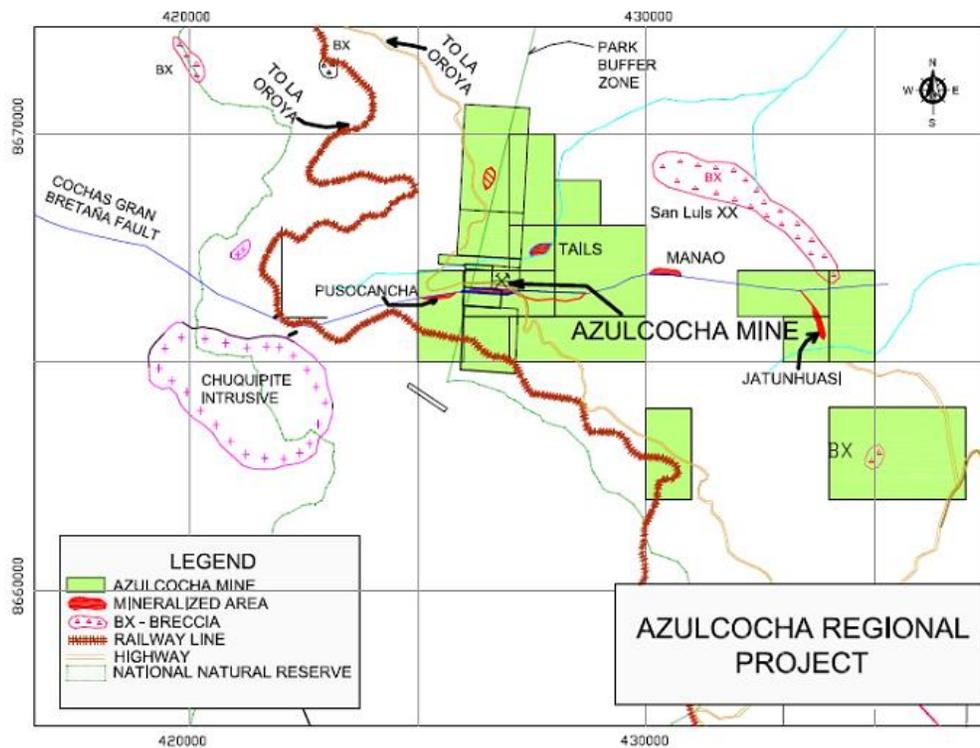


Figura 2: Plano geologico regional.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Formación Condorsinga (Grupo Pucará)

Las rocas más antiguas de la región lo constituyen una secuencia bastante homogénea de calizas grises masivas de la Formación Condorsinga (Grupo Pucará) de edad probable Jurásico Inferior. Su potencia excede los 400 metros e infrayace en forma concordante a una secuencia detrítica (areniscas con estratificación cruzada y lutitas rojas) de la

Formación Cercapuquio.

La Formación Condorsinga es el principal metalotecto de la región, encontrándose en él, el cuerpo mineralizado de la mina Azulcocha. Formación Cercapuquio La Formación Cercapuquio ha sido dividida en tres miembros: un miembro inferior detrítico constituido por areniscas gris claras feldespáticas y lutitas rojas de estratificación fina. Su potencia se estima en 300 metros y gradualmente pasa hacia arriba a calizas grises y margas amarillentas de aproximadamente 200 metros de espesor. La edad del miembro inferior detrítico (Formación Cercapuquio, sensu stricto) y la Formación Chaucha pertenecerían al jurásico Superior (Malm).

En el área de Azulcocha, el miembro Superior de la Formación Cercapuquio comprende una secuencia dendrítica lutácea – arenosa de ambiente de posición similar al miembro inferior (Marino Litoral – Continental). Este miembro constituye, desde un punto de vista sedimentario regional, la parte basal del Grupo Goyllarisquizga que sobreyace en forma concordante y transicional al miembro mencionado.

Grupos Goyllarisquizga, Machay y otros del Mesozoico

El grupo Goyllarisquizga, formado principalmente por areniscas gris claras, lutitas arenosas en forma subordinada, así como microconglomerados y mantos ocasionales de carbón, infrayace a las calizas y margas del Grupo Machay del Cretáceo medio (Albiano Inferior y medio). El contacto es transicional y representa un cambio de facies gradacional de un ambiente Continental – Marino Litoral (Goyllarisquizga) a uno de facies sub-litoral (Formación Chulec). La potencia estimada del Grupo Goyllarisquizga en el área de Azulcocha es de 600 metros y del Grupo Machay 350 metros. Completando la secuencia mesozoica y en forma transicional sobre las calizas Chulec – Pariatambo, se dispone en forma incompleta la Formación Jumasha (+ 200 mts) del Albiano superior – Turoniano. Esta formación generalmente ocupa los núcleos sinclinales tanto al sur como al noroeste de la mina Azulcocha, y consiste predominantemente de calizas masivas gris claras, interestratificadas con margas de color marrón claro a amarillentas.

Formación Casapalca (Capas Rojas)

Hacia el Norte y Este de Azulcocha (Área de la mina Jatunhuasi – Mn), las capas rojas de la Formación Casapalca (Terciario Inferior) afloran en contacto por falla con la secuencia mesozoica descrita. Esta consiste de lutitas rojas, areniscas y conglomeradas ocasionalmente interestratificados con lentes de yeso y calizas de tipo lacustre. Su potencia no ha sido estimada pero sobrepasa los 300 metros en la carretera Azulcocha – Pachacayo.

ROCAS INTRUSIVAS

Stock Chuquipite

El stock Chuquipite, de forma circular, incompleto en su borde Suroeste, aflora 6 kilómetros al Oeste de la mina Azulcocha. Sus dimensiones aproximadas son 3.0 KmX3.5 Km. El contacto del stock con los sedimentos está parcialmente mineralizado y contiene varios prospectos que se mencionan en el presente informe. La textura y composición mineralógica del stock Chuquipite corresponde a una granodiorita con facies de borde tipo pórfido granítico. En espécimen de mano, la granodiorita presenta textura holocristalina, equigranular a porfirítica de grano medio (2-4 mm) de color gris claro a rosa pálido, con escasas evidencias de alteración hidrotermal.

Como ocurrencia mineralógica se ha observado un mineral blanco sucio de brillo opaco en el intrusivo alterado, formando agregados cristalinos irregulares rodeados de calcita. Este mineral es blando (2) y de hábito fibroso tabular y parece ser un seudomorfo después de actinolita asbestiforme. La presencia de este mineral sugiere una alteración hidrotermal tardía a lo largo del intrusivo. Así mismo, se ha observado trazas de sericita en delgadas vetillas (1-3 mm) y como reemplazamiento parcial de fenocristales de ortosa por que se cree el mineral fibroso tabular puede ser un tipo de arcilla.

Emplazamiento del Stock

Desde el punto de vista estructural, el stock Chuquipite se encuentra en el block móvil sur de una falla inversa, de rumbo Este-oeste a Sur-Este, de carácter regional. El contacto Norte del stock (E-O) es casi recto y marca la proyección Oeste de una falla subsidiaria de la principal, también conocida como falla Conchas-Gran Bretaña. Su extensión de acuerdo a estudios regionales por la Misión Francesa ORSTOM es de 120 kms. El stock Chuquipite se emplazó en extremo final Oeste de la falla subsidiaria, pero muy próximo al cambio de rumbo de la estructura principal.

Diques Andesíticos

En la zona de Azulcocha, los trabajos de minería subterránea han logrado determinar la presencia de varios diques alterados (1-30 metros de ancho) de probable composición andesítica.

Geología estructural

Plegamientos

Los ejes de plegamientos regionales N45° - 60°0, hacen en Azulcocha una fuerte inflexión hacia el Oeste hasta alcanzar en las proximidades del stock Chuquipite un rumbo S65°0 – S80°0. Los esfuerzos intrusivos, típicos de una inyección forzada, son evidentes en las cercanías de la Laguna Cantagallo, Leoncocha y Huichaca.

En estos lugares, los estratos de las formaciones Cercapuquio, Goyllarisquizga y Machay han sido arqueados hasta adquirir rumbos paralelos al contacto intrusivo y prácticamente circundarlo. Los buzamientos de los estratos son suaves y se apartan del intrusivo (en cantagallo 30°E, en Leoncocha 65°S y en Huichaca 36°SO), indicando que el contacto del stock buza en esas direcciones.

Falla “Cochas-Gran Bretaña”

Los procesos orogénicos, que han dado lugar al plegamiento andino muestran en la zona de Hda. Cochas Jatunhuasi su mejor expresión en una falla de rumbo lateral-derecha de alto ángulo y de carácter regional. Conocida como la Falla Conchas – Gran Bretaña, ha sido mapeada por la Misión Francesa ORSTOM a lo largo de 120 kilómetros. Su rumbo regional es variable; en sus extremos Norte y Sur N40°W y en la parte central N60°W a E-W. El Rumbo, la falla es inversa, de buzamiento moderado (30° - 45° SE) y sinuosa en la zona stock Chuquipite-mina Azulcocha. El análisis de planos y secciones geológicas de la mina sugiere un esfuerzo comprensivo intermitente que ha dado lugar al emplazamiento de diques andesíticos a lo largo de fallas subsidiarias de rumbo y buzamiento similar, deposición del cuerpo mineralizado Azulcocha, y fallamiento posterior. Hacia el Oeste de la mina, Falla Cochas-Gran Bretaña se bifurca dando lugar a un ramal sur (S60°W) subsidiario, el cual se proyecta en el rumbo hasta alcanzar el contacto norte del stock Chuquipite. Esta falla, considerada secundaria en estudios anteriores, desempeñó un rol importante en la preparación estructural de la zona mineralizada del cuerpo Azulcocha.

En efecto, su intersección con la falla principal (N80°E) por las variaciones locales de rumbo y buzamiento corresponde a una zona inclinada 30° al Este (Plunge), la cual coincide con el eje del cuerpo mineralizado.

MINERALIZACIÓN

La mineralización en la región de Azulcocha y alrededores consiste principalmente de las asociaciones paragenéticas típicas de baja y alta temperaturas.

Mineralización de Baja Temperatura del Cuerpo Azulcocha

En el cuerpo Azulcocha la esfalerita está asociada a oropimente, rejalgar, rodocrosita, baritina y pirita como minerales de ganga formando un cuerpo masivo e irregular de hasta 40 mts de ancho y 150-200 mts de largo. Este ensamble, de baja temperatura, parece haberse depositado

por reemplazamiento en fisuras y zonas de brechas que se desarrollaron durante una fase previa de preparación estructural.

Mineralización de Alta Temperatura (Contacto Intrusivo Chuquipite)

La mineralización de alta temperatura bordea al intrusivo Chuquipite como una aureola discontinua e irregular de contacto matamórfico. El ensamble de minerales esta vez, consiste de cantidades variables de esfalerita, calcopirita y trazas de galena en agregados masivos de granates, actinolita / tremolita, hematita especular / magnetita y epidota. Se observan venillas de calcita y cuarzo, así como las trazas de sericita, en forma ocasional acompañando a los minerales de ganga previamente mencionados.

Geología local

Las unidades litológicas expuestas en la mina Azulcocha comprenden calizas de la Formación Condorsinga del Grupo Pucará del Jurásico Inferior, areniscas del Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo Inferior) y diques alterados de composición andesítica.

Las calizas de la Formación Condorsinga sobreyacen por fallamiento inverso a las areniscas Goyllarisquizga. Las calizas Condorsinga, del Grupo Pucará de color gris claro y aspecto masivo afloran en el lado Sur de la falla inversa Cochabamba Gran Bretaña formando un anticlinal apretado con plano axial buzando entre 50° a 60° al SW. El anticlinal es cortado hacia el oeste de la mina por otra falla inversa, subsidiaria de la principal y de rumbo S60°W. Hacia el sur de la Laguna Azulcocha, la secuencia estratigráfica regional del Mesozoico sobreyace en posición normal formando un monoclinal de buzamientos moderados en el rango de 25° a 62° SW con intercalaciones ocasionales de areniscas calcáreas y estratos delgados de lutitas rojas.

El block norte de la falla está formado principalmente por areniscas masivas de color gris claro amarillento rojizo, interestratificaciones con horizontes de lutitas y areniscas rojas.

Hacia el oeste de Azulcocha, en la zona de Pozocancha las areniscas y lutitas del Cercapuquio Superior infrayacen por contacto de falla a las areniscas del Grupo Goyllarisquizga. Toda esta secuencia clásica forma un sinclinal de rumbo N-S y buzamiento suave en sus flancos. Hacia el norte del campamento, el eje axial cambia de rumbo gradualmente a N45°W, luego E-W y finalmente S80°W.

Los diques andesíticos, están expuestos en los trabajos subterráneos de la mina como cuerpos tabulares, sub-verticales (buzamiento al sur 70-80°) de anchos variables (1-3 metros) y rumbos que varían entre E-W y S70° a 80°W. Son de color gris verdoso, claro a oscuro y de aspecto tufáceo por la cloritización y argilización de la alteración hidrotermal. Su ubicación, tanto en las calizas como en las areniscas, parece estar directamente relacionado al fallamiento inverso de la estructura “Cochas Gran Bretaña”. El dique emplazado a lo largo de la falla principal muestra evidencias claras de brechamiento intenso, alteración y mineralización por reemplazamiento subsecuente.

Geoestructuras principales

La Falla Cochas Gran Bretaña, definida regionalmente como una falla transcurrente de rumbo lateral derecho (N45° - 60°W) se caracteriza en Azulcocha por un movimiento inverso de bajo ángulo (30° a 45° SE) con características propias de un sobreescurreamiento. El movimiento relativo parece haber sido en dirección S-N y el desplazamiento a lo largo del buzamiento tiende a 800 metros de profundidad. El fallamiento ha tenido un desarrollo intermitente y complejo, acompañado con fallas inversas subsidiarias que se entrelazan, cortan y desplazan entre sí a lo largo del rumbo y buzamiento.

Los trabajos subterráneos exponen una falla principal de 1 a 5 metros de ancho, fuertemente milonitizada y brechada de forma cóncava hacia el sur acompañado de fallas subsidiarias, que apartándose de la principal se hacen más paradas y afectan las calizas Condorsinga del Grupo Pucará. Este fallamiento se manifiesta como estructuras tabulares y brechadas, en muchos casos pre-minerales, las cuales han sido parciales y en otros casos totalmente reemplazados por esfalerita, rodocrosita, oropimenterejalgar, baritina, etc. Algunas de estas fallas muestran una actividad postmineral y desplazan diagonalmente a los cuerpos brechados y a las estructuras mineralizadas.

Un examen detallado de los planos y secciones de la mina Azulcocha indica que la concavidad de la falla principal donde alcanza un rumbo N80°E se bifurca al oeste del cuerpo mineralizado, dando lugar a una falla subsidiaria de rumbo S60°W y buzamiento 32° al SE. El arco cóncavo tiene un máximo desarrollo a lo largo del rumbo (180-200 m.) en el Nv. 60 y se caracteriza por ser casi recto en el centro, con cambio en el rumbo de la falla tanto al extremo Este como hacia el Oeste. Es evidente que la mayor concavidad y desarrollo en el plano horizontal, está circunscrita a los niveles superiores de la mina (Niveles 115, 90, 80 y 60) donde se tiene la mayor intensidad de mineralización no minada en el extremo Este, tanto en contenido como en anchura.

El cuerpo mineralizado alcanza 200 metros de largo y hasta 40 metros de ancho. La alteración hidrotermal, excepto por un ligero blanqueamiento de las calizas, observada en Azulcocha y alrededores es muy débil. La única evidencia significativa de minerales de alteración parece encontrarse en los diques andesíticos reportados en los trabajos subterráneos. Estos presentan un aspecto tufáceo suave, son de color gris verdoso y textura fina. Minerales arcillosos y clorita son los principales constituyentes de ésta roca alterada. Sus dimensiones son:

- ❖ 220 a 240 metros a lo largo del rumbo de la estructura N80°E.
- ❖ 40 a 50 metros de máxima anchura.
- ❖ 260 a 280 metros en dirección del eje (plunge) de máxima mineralización

Aspectos morfológicos de la mineralización

Las estructuras de la Mina Azulcocha tienen la forma de un depósito semitabular, de Azimut de 85° a 95° (promedio 90°) y buzamiento entre 45° a 55° hacia el Norte.

La potencia del mineral económico varía desde 3 m hasta 15 m, con promedio de 8 m. La longitud del mineral económico reconocido hasta el momento es de 220 m y la profundidad reconocida es de 230 m, desde la cota 4570 msnm hasta la cota 4330 msnm.

La mina fue explotada hasta mediados de la década del ‘80, por lo que el mineral se encuentra virgen desde la el Nv. Cero hacia abajo. Según la revisión de la información de geología económica, la distribución de las leyes del mineral de la mina Azulcocha pueden ser clasificadas como gradacionales.

2.2. Antecedentes de la investigación

Según, Rivero (2008). Evaluación Geomecánica de Estrategias de Socavación en Minería Subterránea. Tesis Universidad de Chile, cuyo objetivo general consiste en realizar una evaluación comparativa relativa, desde el punto de vista geotécnico, entre diferentes estrategias de socavación. Esto se desarrolla en el marco del proyecto Mina Chuquicamata subterránea, que se encuentra actualmente en su etapa de Ingeniería Conceptual.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Mecánica de rocas.

Es la ciencia teórica y aplicada que trata del comportamiento mecánico de las rocas, estudia el comportamiento mecánico de las masas rocosas que se encuentran bajo la acción de fuerzas producidas por fenómenos naturales o impuestos por el hombre •Búsqueda cualitativa y cuantitativa de los fenómenos naturales y su relación con el comportamiento de los materiales.

La problemática de la ingeniería mecánica en todos los diseños estructurales es la predicción del comportamiento de la estructura bajo las cargas actuantes o durante su vida útil. La temática de la ingeniería de mecánica de rocas, como una práctica aplicada a la ingeniería de minas, es concerniente a las aplicaciones de los principios de la ingeniería mecánica al diseño de las estructuras de roca generadas por la actividad minera.

2.3.2. La mecánica de rocas en la ingeniería de minas

La problemática de la ingeniería mecánica en todos los diseños estructurales es la predicción del comportamiento de la estructura bajo las cargas actuantes o durante su Vida útil. La temática de la ingeniería de mecánica de rocas, como una práctica aplicada a la ingeniería de minas, es concerniente a las aplicaciones de los principios de la ingeniería mecánica al diseño de las estructuras de roca generadas por la actividad minera. Esta disciplina está estrechamente relacionada con las corrientes principales de la mecánica clásica y de la mecánica de materiales, pero hay varios factores específicos que la identifican como un campo distinto y coherente de la ingeniería.

Una amplia definición de la mecánica de rocas es la que ofreció el US National Comiteon Rock Mechanics en 1964 y subsecuentemente modificada en 1974: La mecánica de rocas es la ciencia teórica y práctica del comportamiento mecánico de las rocas y de los macizos rocosos; es la rama de la mecánica referente a la respuesta de la roca y del macizo rocoso a los campos de fuerza de su ambiente físico.

Como se define la temática, es de fundamental importancia para la ingeniería de minas por que el acto de crear excavaciones para minar cambia los campos de fuerza del ambiente físico de la roca. El estudio de la respuesta de la roca a estos cambios requiere de la aplicación de técnicas analíticas específicamente desarrolladas para dicho propósito, los cuales ahora forman parte de la

temática. La mecánica de rocas forma parte de la amplia temática de la geomecánica que se enfoca a la respuesta mecánica de todos los materiales geológicos, incluyendo los suelos. La erudita sociedad de geomecánica en Australia, La Australian Geomechanics Society, define a la geomecánica como la aplicación de principios geológicos y de ingeniería al comportamiento de los suelos, del agua subterránea y al uso de estos principios a la ingeniería civil, ingeniería de minas, ingeniería de costas e ingeniería ambiental en el sentido más amplio

Los principios de aplicación de la mecánica de rocas en la minería subterránea están basada en premisas simples y quizás evidentes en sí. Primero, se postula que a un macizo rocoso se le puede atribuir un sistema de propiedades mecánicas que pueden ser medidas en una prueba estándar o se que pueden ser estimados utilizando técnicas establecidas. En segundo lugar, se afirma que el proceso de la explotación minera subterránea genera una estructura rocosa con huecos, elementos de soporte, estribos y que el funcionamiento mecánico de la estructura es favorable al análisis utilizando los principios de la mecánica clásica. La tercera posición es la capacidad de predecir y controlar el comportamiento mecánico de la roca encajonante en donde el proceso de minado puede garantizar o incrementar la seguridad y el comportamiento económico de la mina. Estas ideas pueden ser algo elementales. Sin embargo, incluso la aplicación limitada de los conceptos de mecánica en la excavación y en los diseños estructurales en minas es una innovación comparativamente reciente (HoeK y Brown, 1999).

2.3.3. Geomecánica

Es la conjunción de varias disciplinas (geología, mecánica de rocas, hidrogeología, etc.) que se encarga del estudio del macizo rocoso y su aplicación en resolver problemas constructivos en ese ambiente (minas subterráneas, superficiales, túneles, casa de fuerza, etc.). Las principales

funciones de la geomecánica son: Determinar el tipo de sostenimiento a instalar en una labor, para lo cual se determinan los Índices Geomecánicos del macizo rocoso, tales como:

- ❖ Índice Q.
- ❖ Índice RMR.
- ❖ Índice MRMR.
- ❖ Índice GSI.

2.3.4. Criterios geomecánicos

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

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

- ✓ **Criterios geomecánicos para el diseño**
 - Uso de la excavación minera
 - Factor de seguridad y/o probabilidad de falla.
 - Área de influencia
 - Normas técnicas aplicables
- ✓ **Criterios geomecánicos durante la construcción y operación**

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

Criterios geomecánicos para el cierre de minas

- Durabilidad, monitoreo y mantenimiento

2.3.5. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos

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

Una vez que los magmas ascienden hacia regiones mejores se crea su solidificación, que puede producirse en la misma área o bien a una cierta hondura. producirse la consolidación en área, esta tiene sitio de forma inmediata y, por consiguiente, no están formados, cristales monumentales; por lo cual acostumbran formarse vidrios. De esta forma se crea las piedras volcánicas. Una vez que la consolidación se genera en hondura, los cristales tienen la posibilidad de irse desarrollando, debido al enfriamiento lento; de esta forma están compuestos las piedras intrusivas. en filones que ascienden hacia el área, se habla de piedras filonianas. piedras volcánicas, filonianas e intrusivas

conforman las piedras ígneas. Las piedras quedan expuestas a la intemperie; sus elementos son eliminados física y diagénesis están compuestos las piedras sedimentarias. En ciertas regiones, al acumularse los sedimentos, se va produciendo el hundimiento o subsidencia del fondo marino, de manera que los paquetes sedimentarios se ven sometidos a niveles relevantes de presiones y temperaturas, que ofrecen sitio a la formación química y piedras metamórficas, que se caracterizan típicamente por su foliación. De esta forma puesto que, como se deriva del periodo geoquímico presentado, según su origen, las piedras tienen la posibilidad de ser ígneas, sedimentarias y metamórficas.



Figura 3: Esquema de clasificación de las rocas simplificado

2.3.6. Meteorización de las rocas

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

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

2.3.7. Resistencia de las rocas

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

$$LOG(\sigma_C) = 0,00088\gamma R + 1,01$$

Donde:

σ_C =resistencia a compresión simple de la capa superficial de la roca (MPa)

γ = peso específico de la roca (kN/m³)

R = Índice de rebote

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

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

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

Tabla 1: Correccion por índice de rebote del martillo

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

2.3.8. Propiedades físico mecánicas del macizo rocoso

El comportamiento del macizo rocoso (bloques de matriz rocoso más discontinuidades) está dado por las propiedades de la matriz rocosa que lo constituye; sus propiedades resistentes y de formaciones como la alteración o la meteorización que influye en rocas poco resistentes, cuya

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

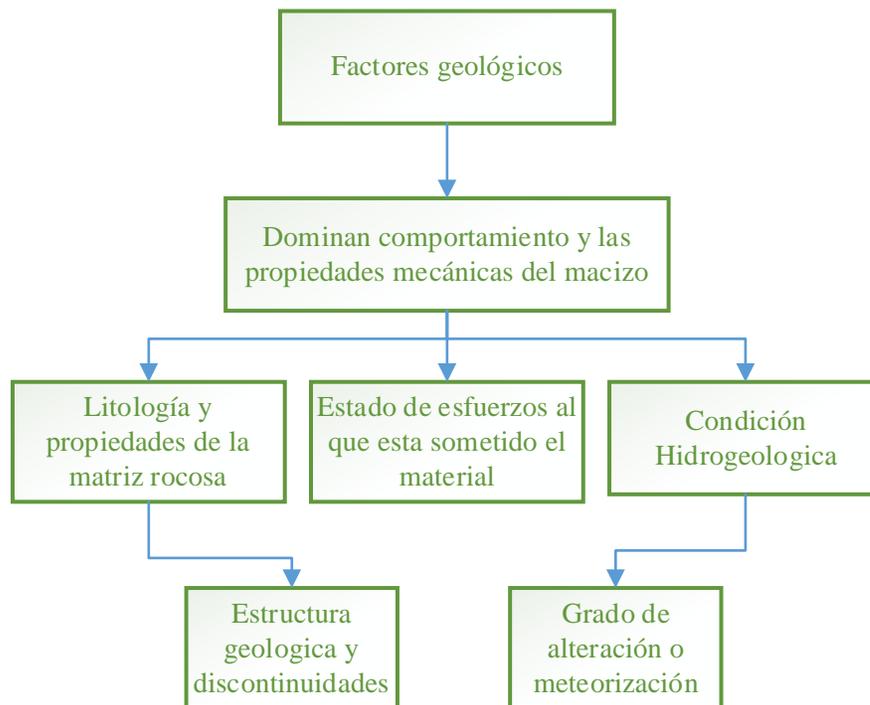


Figura 4: Factores geológicos del macizo rocoso

Los esfuerzos actuantes sobre la roca determinan los modelos de deformación y el comportamiento mecánico del conjunto del macizo rocoso, las clasificaciones geotécnicas o geomecánicas general para los diferentes tipos de macizo rocoso han sido difícil de establecer debido a la variabilidad de los factores mencionados anteriormente, el carácter discontinuo y isotrópico de los macizos. (Gonzales de vallejo, 2002). En mecánica de rocas las clasificaciones

más útiles son las denominadas clasificaciones geomecánicas entre las que se establecen RMR de Bieniawski y la Q de Barton, como las más utilizadas (Gonzales de vallejo, 2002); estas establecen diferentes grados de calidad del macizo rocoso en función de las propiedades de matriz rocosa y de las discontinuidades que proporcionan valores estimativos de sus propiedades resistentes globales. Existe otras clasificaciones basado en diferentes parámetros de las propiedades del macizo rocoso como los son Therzagui 1946, romana 1985, índice de resistencia geológica (GSI) entre otra. (Salcedo SGC, 2019).

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

2.3.9. Clasificación RQD – Deere

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

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

Con el fin de obtener mejores resultados los ensayos se sugieren que el valor de RQD sea determinado para longitudes variables en lugares fija, en este sentido se puede determinar en capas

individuales y zonas de debilidad. La estimación de índice RQD de la roca a partir de testigos en sondeo se halla bajo la siguiente ecuación:

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

Cuando no se dispone de núcleos de perforación y se debe hallar el índice de clasificaciones de la roca a partir de datos de afloramientos, se puede estimar a partir de la relación de Palmstrom (2005); donde J_v obedecer a la suma de discontinuidades por unidad de longitud o frecuencia de las discontinuidades (Ramirez&Oyangure, 2007) y o para valores $J_v \geq 4.5$ el valor de RQD se determina según la ecuación número 3.

$$RQD = 1,15 - 3.3J_v$$

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

Tabla 2: Clasificación de las rocas según el índice RQD de Deere

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

2.3.10. Clasificación de Bieniawski (RMR)

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

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

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

índice RMR al establecerse las zonas o tramos homogéneas del macizo rocoso empieza a evaluar los parámetros establecidos por Bieniawski, empezando por:

2.4. Definición de términos básicos

Riesgo: La posibilidad de que ocurra algo que tendrá un impacto en los objetivos. Normalmente se mide en términos de probabilidad de eventos y consecuencias.

Labor minera: Es cualquier excavación realizada para explotar un yacimiento.

Tabla Geomecánica GSI: Es la cartilla del Índice de Resistencia Geológica GSI que sirve para hacer la evaluación cualitativa y la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, mediante la identificación visual de sus propiedades geológicas en el campo, como el grado de fracturamiento y de la resistencia y el grado de alteración de sus discontinuidades. Es usado para estimar el tipo de sostenimiento a utilizarse en la excavación minera según el tipo de roca que se califica.

Control de Calidad de Sostenimiento: Son las diversas pruebas que se realizan en las labores para verificar la correcta instalación de los elementos de sostenimiento y el cumplimiento de las especificaciones de su diseño.

Sistemas de Monitoreo: Son los diversos tipos de instrumentación que se utilizan para vigilar el comportamiento del macizo rocoso en el tiempo midiendo la convergencia y la deformación con frecuencia sistemática para predecir y tomar decisiones en el momento oportuno.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

El estudio fue desarrollado siguiendo una secuencia de tareas, que se iniciaron con reuniones de coordinación con los ingenieros de la mina Azulcocha y termino con la preparación del presente documento. Las principales actividades desarrolladas, tanto en campo como en gabinete fueron las siguientes:

- ❖ Recopilación y revisión de la información disponible
- ❖ Investigaciones geotecnicas de campo y de laboratorio
- ❖ Dimensionamiento de los tajeos y análisis de estabilidad de los mismos

Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018) asumen que el método científico se basa en un grupo de conjeturas desde la percepción adoptada por una o unas teorías científicas y para su desarrollo se aplica procedimientos instaurados por los investigadores. En este sentido, la presente investigación corresponde al método científico. Puesto, que buscará establecer la relación que exista entre sus variables. De acuerdo, a caracterizar los aspectos geomecánicos de la mina Azulcocha a través de fichas de recojo de información y procesamiento de ensayos de laboratorio en la mina para establecer el mejor método de minado, que se obtuvieron los datos de la fuente principal para la caracterización de la masa rocosa, fueron los labores mineras rehabilitadas llevadas a cabo por la empresa Azulcocha. Sobre estas labores se llevó a cabo un registro lineal extrayéndose muestras de roca en bloques para enviar al laboratorio de Mecánica de Rocas.

3.2. Tipo de investigación

Ñaupas, H., Valdivia, R., Palacios, J y Romero, H. (2018) afirman que de acuerdo a múltiples autores y hasta el momento el tipo de investigación se limita a dos, tales como: la investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada.

De acuerdo, a lo señalado la tesis pertenece a la investigación aplicada. Porque, busca establecer estrategias que resuelvan la problemática sobre la evaluación geomecánica para proponer el método de minado en la mina azulcocha

3.3. Nivel de la investigación

Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018) indican que es un primer acercamiento del investigador al problema o fenómeno a estudiar, con el objetivo de realizar un análisis pormenorizado del mismo para tener más elementos al momento de plantear el problema y concretar las hipótesis. Este primer contacto se puede realizar por diversas vías: observación directa o indirecta, entrevista a informantes clave, o por medio de análisis documental. Es un sondeo preliminar; su objetivo es ayudar al investigador a definir el problema, establecer hipótesis y definir la metodología para formular un estudio de investigación definitivo.

Es por ello, que el nivel de investigación es de tipo exploratorio, puesto que las primeras indagaciones se realizan sobre la caracterización de la masa rocosa de la mina Azulcocha, las cuales permitirán inferir el método de minado más adecuado

3.4. Método de investigación

Dado que los datos y resultados obtenidos son datos numéricos provenientes de la recopilación de datos con base en herramientas estandarizadas, el método de investigación es un

método científico con enfoque cuantitativo, lo que nos permite medir y demostrar su eficacia y confiabilidad.

3.5. Diseño de la investigación

Se sabe que la Investigación es un proceso de conocimiento planeado, consciente, racional y crítico a través del cual se puede controlar las variables de la investigación, toda vez que nos direcciona de manera lógica y sistemática al cumplimiento del objetivo. Establecido el planteamiento del problema y el alcance de la investigación, es necesario visualizar la manera más concreta de responder las preguntas y así cubrir los objetivos fijados en la investigación.

El diseño metodológico en el cual se basa este trabajo es el experimental, que busca recoger información para posteriormente realizar manipulación de la variable independiente para conseguir los propósitos planteados en la investigación.

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

La población representa al conjunto de elementos que comparten por lo menos una característica”. (HERNANDEZ , FERNÁNDEZ, & BAPTISTA, 2010). La población de la investigación comprende el macizo rocoso que pertenece a todas las labores mineras de la Mina Azulcocha – 2022.

3.6.2. Muestra

“La muestra, parte representante de la población, de tal manera que los resultados que se obtienen en la muestra logren generalizar los elementos que conforman la población”. (HERNANDÉZ , FERNÁNDEZ, & BAPTISTA, 2010).

Para el presente estudio la muestra es no probabilística, son datos geomecánicos de las labores conformada por galerías y Cruceros, Chimeneas desarrolladas en la mina Azulcocha, 2022.

3.6.3. Muestreo

Es probabilístico porque la probabilidad de que todos los miembros de la población sean seleccionados de la muestra es mayor que 0. Se utiliza como método el muestreo estratificado, ya que la población se reagrupa por tipo de cada característica del macizo rocoso. (HERNANDÉZ , FERNÁNDEZ, & BAPTISTA, 2010).

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recopilación de datos se refieren a los métodos utilizados para recoger y analizar diferentes formas de datos. Las técnicas habituales de recogida de datos incluyen el examen de documentos relacionados con un tema, así como la realización de entrevistas y observaciones.

En la presente investigación las técnicas utilizadas son las siguientes:

- ❖ La recopilación documental y bibliográfica: La técnica de recolección de información, consiste en detectar, obtener y consultar bibliografía y otros materiales que parten de otros conocimientos y/o informaciones recogidas moderadamente de

cualquier realidad, de modo que puedan ser útiles para los propósitos del estudio. Esta modalidad de recolección de información parte de las fuentes secundarias de datos; es decir, aquella obtenida indirectamente a través de documentos que son testimonios de hechos pasados o históricos.

- ❖ La observación. Consiste en observar el proceso de dosificación del aditivo natural en el hormigón para su posterior análisis en laboratorio. (HERNANDÉZ , FERNÁNDEZ, & BAPTISTA, 2010). Es una técnica de recolección de datos que permite acumular y sistematizar información sobre el objeto de investigación que tiene relación con el problema en cuestión. La observación permite obtener de datos próximos a cómo está funcionando el objeto de investigación en el presente.

3.7.2. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Se debe recopilar todos los datos de información, y una vez recopiladas la información de procederá al análisis de los datos obtenidos en campo, para confeccionar el modelo geomecánico.

3.7.3. Procesamientos de datos

Primero proponemos una prueba de hipótesis para iniciar un análisis estadístico que nos permita evaluar el impacto de agregar ceniza de palma en porcentajes de 0.5%, 1% y 2% con respecto al peso del cemento. Donde ese vera el tiempo de envejecimiento en función de si la adición mejoraba significativamente las propiedades de resistencia a la compresión y a la flexión, seguido de una prueba de normalidad de los resultados, estos fueron Shapiro Wilk, utilizada para pequeñas muestras con menos de 50 datos, o la prueba de Kolmogorv-Smirnov, aplicada para muestras grandes bajo los criterios de aceptación de la hipótesis nula. El valor p es inferior a 0,05.

3.8. Desarrollo de la investigación

El estudio combinó observaciones y levantamiento de información de campo y en laboratorio y trabajos de gabinete, utilizando técnicas adecuadas, seleccionadas entre las alternativas disponibles.

Las actividades realizadas fueron:

En campo:

Reconocimiento geológico de la zona.

Revisión de los testigos de las perforaciones diamantinas.

Mapeo de labores mineras del Nv. -40 y cero, utilizando el Índice GSI de Hoek & Marinos.

Recopilación de información adicional (planos, informes, etc.), de interés para el estudio.

Recopilación de muestras para ser enviadas al laboratorio de Mecánica de Rocas.

En laboratorio:

Se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de rocas, determinándose las propiedades físicas y mecánicas hasta donde fue posible, ya que la roca al ser de muy mala calidad en muchos casos no fue posible extraer testigos.

3.8.1. Descripción del modelo geomecánico

Geología

La geología regional en los alrededores de la mina azul cocha se caracteriza por la amplia distribución de rocas sedimentarias (calizas areniscas y lupitas) del miogesimal mesozoico.

Estas comprenden unidad desde el Jurásico inferior hasta el Cretácico medio ya han sido fuertemente plegadas durante la orogénesis Andina.

Estructuras

La falla cochas Gran Bretaña define a regionalmente como una falla transcurren te derrumbó lateral derecho (N45° - 89°W) se caracteriza en azul cocha por un movimiento inverso de bajo ángulo (30° 50° SE) con características propias de un sobre escurrimiento.

El movimiento relativo parece haber sido indirección S-N y el desplazamiento a lo largo del buzamiento tiende a 800 m de profundidad. El fallecimiento ha tenido un desarrollo intermitente y complejo acompañado con fallas inversas subsidiarias que se entrelazan cortan y desplazan entre sí a lo largo del rumbo y buzamiento.

Los trabajos subterráneos exponen una falla principal de 1 a 5 m de ancho fuertemente milonitizada y brecha de forma cóncava hacia el sur acompañado de fallas subsidiarias que apartándose de la principal se hacen más paradas y afectan las calizas Córdorsinga de grupo pucará. Este fallecimiento se manifiesta como estructuras tubulares y ver echadas en muchos casos pre minerales las cuales han sido principales y en otros casos totalmente reemplazadas por esfalerita rodocrosita oropimente rejalgar baritina etc.

Algunas de estas fallas muestra una actividad pos mineral y desplazan diagonalmente a los cuerpos brecha dos y a las estructuras mineralizadas.

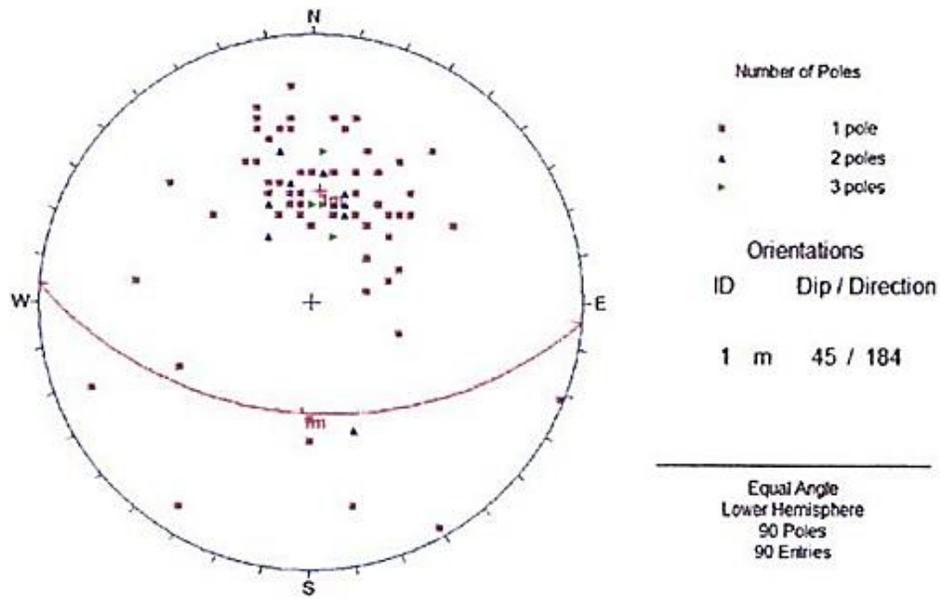


Figura 5: Proyeccion de falla predominate en roca arenisca.

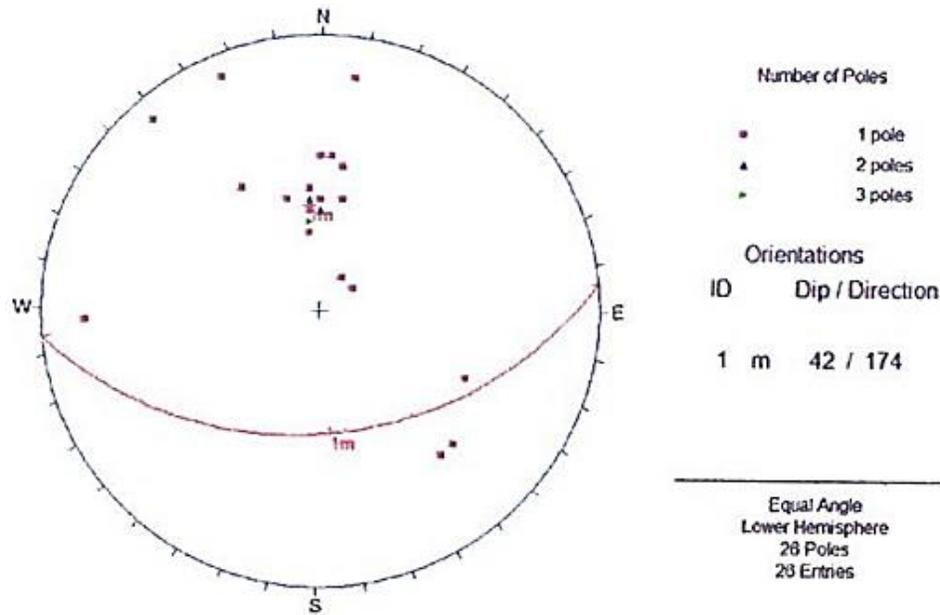


Figura 6: Proyeccion de falla predominate en zona de mineral

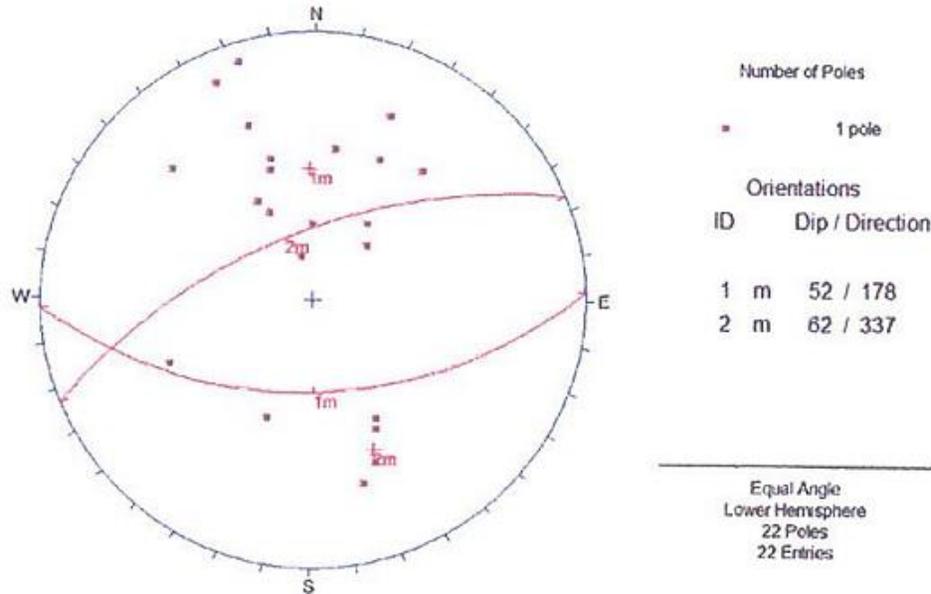


Figura 7: Proyeccion de falla predominate en roca caliza

3.8.2. Caracterizacion del maciso rocoso

A fin de caracterizar el macizo rocoso para el presente estudio se realizaron investigaciones de campo mediante 24 estación de geomecánica distribuidas en los dos niveles de exploración, recopilándose datos de la litología características de las discontinuidades además de un muestreo de fragmentos y bloques de rocas representativas de las diferentes labores estudiadas para posteriormente realizar los ensayos de mecánica de rocas para determinar las propiedades físicas de resistencia y deformabilidad de la masa rocosa.

Registro de datos

La fuente principal de datos para la caracterización de la masa rocosa, fueron los labores mineras rehabilitadas llevadas a cabo por la empresa Azulcocha. Sobre estas labores se llevó a cabo un registro lineal extrayéndose muestras de roca en bloques para enviar al laboratorio de Mecánica de Rocas. Los parámetros de observación y medición, fueron obtenidos en formatos de registro diseñados por el CONSULTOR para esta evaluación, adecuándolos a las normas sugeridas

por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), ver formatos y data básica del mapeo geotécnico en el Anexo 1. Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema 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 frecuencia de fracturamiento. No fue posible realizar un logeo geotécnico de sondajes diamantinos debido a mal estado que presentan y al intenso fracturamiento de la roca, que originan que sea imposible el poder hacer los registros respectivos.

Distribución de discontinuidades

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades, el procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiangular, utilizando el programa de computo DIPS.

Aspectos estructurales

Para establecer las características estructurales de la masa rocosa, nos referimos al arreglo estructural de la masa rocosa en la caja techo, en el mineral y en la caja piso.

3.8.3. Evaluación de las propiedades de comportamiento del terreno en la mina

Azulcocha.

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa, es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (c). Se intentó extraer muestras para ensayos de laboratorio de los testigos, pero debido al intenso fracturamiento del macizo no fue posible obtener muestras adecuadas; solo se obtuvieron muestras de las rocas en bloques, los cuales tuvieron que ser embebidas en cemento para tratar de mantenerlas intactas ya que en el transporte

al laboratorio de Mecánica de Rocas podrían romperse. En estas muestras se realizaron algunos ensayos de laboratorio de mecánica de rocas.

3.8.4. Clasificación geomecánica de la masa rocosa en la mina Azulcocha.

Clasificación de la masa rocosa Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa se utilizó la información desarrollada precedentemente, aplicando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocosos – 1989), Barton y Colaboradores (Sistema Q – 1974) y Marinos & Hoek (GSI – Geological Strength Index – 2002).

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos conforme a los procedimientos señalados en el capítulo de resultados. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron determinados por medición directa de las labores mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal.

3.8.5.1. Método de minado

Selección del método de minado

Para seleccionar el método de minado, es importante definir claramente las condiciones naturales del yacimiento, es decir:

- ❖ La geología local del yacimiento
- ❖ La forma de las estructuras mineralizadas
- ❖ Las reservas y distribución de leyes
- ❖ Las condiciones geomecánicas del macizo rocoso del yacimiento
- ❖ Las condiciones hidrogeológicas del yacimiento

El método (o métodos) de minado debe(n) estar aparejado(s) a todas estas condiciones naturales del yacimiento, de tal manera que el minado sea técnicamente factible. La factibilidad técnica debe ser complementada con una evaluación económica del método (o métodos) de minado, para asegurar una factibilidad técnica – económica óptima.

En tal sentido, el objetivo del presente estudio es determinar las condiciones geomecánicas del yacimiento y definir los métodos de explotación posibles con los se podría trabajar el yacimiento de Azulcocha. Tomando en cuenta la información concerniente a las condiciones naturales del yacimiento, se han aplicado diversas técnicas de selección del método de minado, como las de Morrison (1976), Laubscher (1981) y Nicholas (1981).

El proceso de jerarquización de los diferentes factores asociados a los diferentes métodos de minado subterráneo, indicó que entre los métodos de hundimiento, el Hundimiento por Subniveles (Sublevel caving – SLC) es el método preferido; entre los métodos de minado con sostenimiento, los preferidos son el corte y relleno descendente (cut and fill – C&F) y el Square set (SQS), estos métodos son los que se adaptan mejor a las condiciones naturales encontradas en el yacimiento. Desde el punto de vista económico, en la tabla 3 se presenta en forma ordenada, de menos a más, los costos de minado correspondientes a los principales métodos subterráneos. En líneas generales se debe tratar de buscar la aplicabilidad de los métodos a un cuerpo en el orden enumerado, e ir descartando hasta encontrar el método aplicable más económico.

Tabla 3: Métodos de minado subterráneo en orden de costos

Orden	Método de minado	Abreviación	US\$/TM
1	Block ó Panel Caving	BC	2.5 a 8
2	Room and Pillar	R&P	4 a 10
3	Sub Level Stopping	SLS	5 a 10
4	Sub Level Caving	SLC	6 a 12
5	Under Cut and Fill Stopping	C&F	15 a 35
6	Vertical Crater Retreat	VCR	20 a 25
7	Top Slicing	TS	25 a 35
8	Shrinkage Stopping	SHS	30 a 40
9	Square Set Stopping	SQS	> 35

Por las condiciones naturales del Cuerpo de Mina Azulcocha, inmediatamente se descarta la aplicabilidad del BC, debido a la poca potencia de la mineralización y por el buzamiento del cuerpo que se desvía mucho de la vertical. El R&P se descarta por la forma del cuerpo y por la mala calidad de las rocas. También se descarta el método SLS por la mala calidad de la masa rocosa tanto mineralizado como de las cajas. Llegamos entonces al método SLC, cuya aplicabilidad se presta para las condiciones naturales encontradas en el yacimiento.

El SLC es indudablemente de menor costo que los otros dos métodos de minado nombrados. El C&F queda en segundo lugar con mayor costo que el SLC y el SQS queda en tercer lugar con mayor costo que el C&F. A continuación, se ampliarán conceptos sobre estos métodos de minado.

Hundimiento por subniveles - SLC

De acuerdo a las conclusiones del proceso de jerarquización de los métodos de minado, se concluye que este es el método de minado a donde se debe apuntar. En tal sentido, más adelante se brindan detalles del mismo.

Corte y relleno Descendente – C&F

El corte y relleno tiene un extenso rango de variaciones como resultado directo del minado selectivo, buena recuperación y practicabilidad bajo condiciones de rocas débiles e impredecibles, y se presta a la mecanización de la explotación. Las técnicas de relleno que actualmente se disponen, pueden mejorar los aspectos técnicos y económicos de este método de minado, que frecuentemente ha reemplazado a otros métodos de minado. Hay variadas modalidades de corte y relleno. La modalidad más probable de aplicarse en el Cuerpo Mina Azulcocha sería el corte y relleno descendente, pero con sostenimiento muy severo en las cajas del tajeo, dadas las condiciones geomecánicas adversas de la masa rocosa del yacimiento, que permiten solo aberturas pequeñas con tiempos de autoestabilidad muy limitados, del orden de unas pocas horas. Esto lógicamente aumentaría el costo de minado y disminuiría la productividad respecto al SLC. Además, necesariamente tendría que implementarse un sistema de relleno cementado. En esta modalidad, el costo de minado serían aún mayor y la productividad sería mucho menor que un minado por SLC. Mas adelante se presenta una evaluación geomecánica de este método para 2 alturas distintas (3.5 y 7.0 m), debiendo hacerse una evaluación económica de los mismos.

Conjunto de cuadros - SQS

Este método de minado tradicional tiene una importancia limitada actualmente. La ventaja principal es que este puede ser aplicado a casi cualquier forma de depósito y condiciones del terreno, sin embargo, demanda una labor extremadamente intensa y requiere de abastecimiento permanente de madera. El método consiste en un sistema de soportes de madera, donde las piezas precortadas son ensambladas en un modelo cuadrado regular a través de toda el área excavada. El espacio entre los cuadros normalmente se rellena con material estéril, dejando solamente ciertas secciones que sirven como galerías, caminos y echaderos de mineral. La extracción es una

operación completamente manual, la manipulación de la madera y la construcción de los cuadros son operaciones laboriosas.

El conjunto de cuadros, es apropiado para pequeños cuerpos de mineral de alta ley, donde la buena recuperación es importante y donde la ley justifique los altos costos de operación. El Cuerpo Mina Azulcocha no es un yacimiento de alta ley. Si bien es cierto que desde el punto de vista de las condiciones del terreno este método de minado podría ser aplicado al Cuerpo Mina Azulcocha, sin embargo, por las características señaladas y por las características de la operación y producción minera, este método de minado tiene muy pocas probabilidades de aplicación.

Generalidades del método de minado SLC

Ventajas y desventajas

El hundimiento por subniveles es un método de minado masivo basado en la utilización del flujo gravitacional del mineral fragmentado mediante perforación y voladura y el hundimiento de la roca estéril principalmente de la caja techo. Como cualquier otro método de minado, tiene ventajas y desventajas.

Ventajas:

1° Seguridad: Todas las actividades mineras son ejecutadas en o desde aberturas relativamente pequeñas, proporcionando buenas condiciones para prevenir los accidentes, de esta manera se constituye en uno de los métodos de minado más seguros. Normalmente las máximas dimensiones de las galerías de extracción son de 3.5 m de ancho por 3 m de altura. En roca competente, la seguridad y estabilidad de tales galerías puede ser fácilmente lograda con voladuras controladas o por combinación de las mismas con el sostenimiento (shotcrete). En rocas menos competentes, la estabilidad puede ser lograda por la combinación de voladura controlada y el

sostenimiento mediante pernos, malla y shotcrete. En rocas incompetentes, la estabilidad debe lograrse con arcos metálicos y planchas acanaladas.

2° Mecanización: Las operaciones mineras puede comprender 4 grupos de operaciones unitarias: 1) desarrollo de las galerías o cruceros y su sostenimiento, 2) perforación en abanico, 3) voladura de producción (fragmentación), y 4) flujo de mineral, carguío y transporte. A causa de la naturaleza repetitiva de este sistema de minado, casi todas las actividades pueden ser estandarizadas. Esto significa un alto grado de mecanización. Las secciones de las labores mineras permiten el uso de equipo trackless.

3° Flexibilidad: La estandarización y especialización de las actividades mineras y equipos, en niveles separados (nivel inferior o nivel en desarrollo, nivel superior o nivel de producción), junto con el sistema de transporte trackless, crea un alto grado de flexibilidad. Esto permite un rápido inicio del minado y flexibilidad para hacer cambios en la tasa de producción.

4° Organización del trabajo: Permite una buena concentración, organización y condiciones de trabajo. Normalmente, en el nivel inferior, son llevadas a cabo varias fases de desarrollo. Los niveles superiores están en varias fases de extracción. Por consiguiente, el trabajo puede ser fácilmente organizado en un sistema que excluya las interferencias en las actividades de minado. En resumen, la seguridad del minado (en aberturas de pequeñas dimensiones), la buena flexibilidad, la organización del trabajo y la alta mecanización con equipos mineros modernos, proporcionan muy buenas condiciones de trabajo. Por tanto, el minado de sublevel caving es efectivo y de costo relativamente bajo en la mina Azulcocha.

Desventajas:

1° Hay una dilución relativamente alta del mineral por el hundimiento del desmonte, especialmente cuando se requiere alta recuperación.

2° Todo el mineral debe ser fragmentado mediante perforación y voladura, a fin de obtener un “material grueso” adecuado para ser extraído mediante flujo gravitacional.

3° Pueden ocurrir diversos tipos de pérdidas de mineral, por ejemplo, cuando se ha alcanzado el límite de extracción, el mineral remanente altamente diluido representa una pérdida de mineral; o en las zonas pasivas del nivel de extracción, localizado entre las zonas activas del flujo gravitacional, se pierde algo de mineral. En general estas pérdidas pueden ser grandes, cuando el buzamiento del cuerpo mineral es cada vez menor.

4° Se requiere una cantidad relativamente grande de desarrollos: galerías de transporte, generalmente ubicadas en la caja piso, en desmonte, en cada nivel; galerías de subniveles, que conectan el minado activo en el cuerpo con las galerías de transporte, estas galerías están parcialmente en desmonte y parcialmente en mineral, y a medida que el buzamiento del cuerpo sea menor, aumenta la longitud de estas galerías; también se requiere orepasses y un nivel de transporte principal, ubicado en desmonte. En adición se requieren uno o dos sistemas de rampas para proporcionar acceso a los equipos trackless a los varios subniveles. Todas estas labores tienen un alto costo, particularmente cuando se utiliza el sostenimiento intensivo en rocas de mala calidad.

5° El minado genera hundimiento progresivo de la roca sobreyacente, resultando en subsidencia y daños a la superficie.

6° Para maximizar la recuperación del mineral, minimizar la dilución y lograr alta eficiencia en el minado, es muy importante obtener buena información sobre los parámetros del flujo gravitacional para el mineral fragmentado mediante perforación y voladura y para el desmonte que

se hundirá. Para el estudio de factibilidad puede ser suficiente utilizar los datos de otras operaciones mineras que utilicen el método de minado de hundimiento por subniveles, en similares condiciones y circunstancias. Para el diseño y planeamiento detallado de la mina, se requieren datos más exactos, incluyendo estudios analíticos y experimentales, que podrían comprender hasta ensayos in-situ a escala real si fuera necesario.

Parámetros del método de minado

a) Esquemas transversal y longitudinal

La literatura refiere que para cuerpos mineralizados anchos, el esquema transversal es el más indicado, pero cuando la potencia del cuerpo mineralizado está debajo de 15 m, el esquema transversal es impráctico, en este caso el esquema longitudinal es el más adecuado, construyendo galerías de producción a lo largo del rumbo de la estructura, pudiendo ser una sola galería o varias según el ancho de la estructura, pero esto es aplicable cuando el mineral es de calidad regular, caso que no se tiene en Azulcocha. Por lo general, no siempre, la recuperación es mejor con el esquema transversal que con el esquema longitudinal, debido que en este último hay una tendencia de quedarse el mineral en cuerpos mineralizados de geometría irregular. El cuerpo en Mina Azulcocha es de forma regular tabloide, por lo que la dilución sería menor. En el esquema transversal, la galería de transporte o denominada también by pass, es ubicada en el desmonte, preferentemente en la caja piso, más o menos entre 10 a 25 m del contacto con el mineral. Aquí, ésta tendrá mínimo daño por la voladura. En el esquema longitudinal, las galerías de producción tienen que estar también en desmonte, donde estarán situados los orepasses a intervalos convenientes.

b) Altura de subniveles

En teoría la altura entre los subniveles tiene que ser tanto como sea posible. En la práctica muchos factores gobiernan su dimensionamiento. Uno de estos factores es el buzamiento de cuerpo. Cuando el buzamiento es vertical, no hay restricciones, pero si el buzamiento es bajo, la altura tiene que ser reducida para evitar el jale del desmonte de la caja techo. Otro factor es la habilidad para perforar, cargar, y romper la roca para una fragmentación satisfactoria y el costo de hacer esto. La desviación de los taladros y los costos se incrementan rápidamente con la longitud del taladro. Si el mineral es débil, puede ser difícil mantener los taladros abiertos para su carguío. Si el mineral no es bien fragmentado, la recuperación y dilución serán seriamente afectadas. Alturas entre subniveles de 9 a 13 m son bastante comunes con longitud máxima de taladros de 15 a 18 m., existen muchos ejemplos con este dimensionamiento sin embargo para aplicar alturas mayores se deben de realizar pruebas de campo en forma progresiva, es decir subiendo la altura poco a poco estudiando el comportamiento en cada caso, hasta llegar al límite que el terreno soporta.

c) Espaciamiento de las galerías de producción y ancho de pilares

Hay distintas relaciones para establecer estos parámetros. La excentricidad del hundimiento puede ser estimada a partir de ensayos sobre modelos con los cuales se determinará el espaciamiento de las galerías y ancho de los pilares. El espaciamiento centro a centro de las galerías de producción varía de 8 m a 12 m, lo común es 11 m. Con estas medidas, el ancho del pilar ubicado entre las galerías es de 5.5 m a 8 m, dependiendo del tamaño de la sección de las galerías de producción. Para el esquema longitudinal, la dimensión más común del ancho del pilar entre las galerías es de 6 m.

d) Tamaño y forma de la galería de producción

Esto tiene mucha importancia para el flujo del mineral. La galería tiene que ser tan ancha como sea posible, dando buen sostenimiento al techo y al frente. Para un flujo óptimo el techo de la galería debe ser plano, de esta manera el mineral fluirá en todo el ancho del techo. Si la galería fuera arqueada, el flujo de mineral solo se produciría en el centro del techo, y no en los costados, en este caso el desmonte será jalado hacia abajo en el centro, antes que todo el mineral haya sido recuperado. Si por razones de sostenimiento los techos fueran arqueados, entonces las galerías deberán estar lo más cercanas posibles. Las dimensiones más utilizadas de la galería de producción son: ancho de 3.5 m a 5 m, altura de 3 m a 4 m. Las dimensiones más comunes son de 4 m x 3.5 m.

e) Perforación y voladura en abanico

Las prácticas actuales comprenden, perforar tanto como sea posible, taladros en abanico para conformarse a la elipsoide de movimiento. Los taladros deben ser cuidadosamente alineados y perforados, para lo cual deberán adoptarse las medidas necesarias. Asimismo el carguío y la voladura deben ser realizados cuidadosamente.

f) Sostenimiento del frente

Este es un factor crítico en el rendimiento del hundimiento por subniveles. Todas las actividades del desarrollo de la perforación y voladura, son preparaciones necesarias para el adecuado flujo de mineral desde detrás del frente. Si el frente fuera fuerte e intacto, la recuperación será máxima y la dilución será minimizada. Los efectos del colapso del frente son adversos, principalmente se podrían perder hasta la fila de taladros perforados, este es un problema común en rocas de mala calidad. El sostenimiento utilizado en el frente de las galerías de producción es

generalmente con shotcrete, en algunos casos se utiliza pernos y shotcrete, reforzado con malla o fibras de acero. En algunas minas, donde la roca es incompetente se usan pernos, malla, shotcrete y cimbras para el sostenimiento. Es necesario señalar que también se debe instalar un buen sostenimiento en las intersecciones de las excavaciones y donde sea requerido.

g) Control del flujo de mineral

El control del flujo está asociado con la identificación del punto en el cual debe cesar la extracción del mineral y disparar los siguientes taladros perforados. Este es uno de los aspectos más críticos, para controlar la recuperación y la dilución. El control puede realizarse mediante el método visual o mediante el método de muestreo y ensayos, cuando es difícil distinguir el mineral del desmonte.

Parámetros estimados para el SLC del Cuerpo Mina Azulcocha

A fin de que Azulcocha Mining SA pueda realizar un estimado del costo de minado del Cuerpo Mina Azulcocha, se presenta aquí una estimación de los parámetros del método de minado SLC para este cuerpo, ésta estimación está basada en casos históricos y en la experiencia del autor de este trabajo en este método de minado.

Minado transversal o longitudinal

La modalidad de SLC transversal obliga a tener más desarrollos pero es más flexible para la producción por el gran número de frentes que se tienen, también las distancias de acarreo son más cortas y las condiciones de ventilación que se pueden lograr son mejores que la modalidad longitudinal. Los problemas de inestabilidad pueden minimizarse conformando frentes en retirada en etapas de paneles de 5 o 6 cruceros cada uno.

La modalidad SLC longitudinal es menos flexible por el menor número de cruceros para la producción, además las distancias de acarreo son mayores y la ventilación es más compleja. De la información obtenida y por la experiencia tenida en otros proyectos se recomienda el uso de la modalidad de explotación transversal

Ubicación de las labores de acceso y servicios

El zoneamiento geomecánico realizado, ha indicado que las condiciones de la caja piso son mejores que las de la caja techo por lo que se debe de ubicar la rampa, las chimeneas de ventilación, los by pases y las galerías o cruceros de producción en la caja piso, a una distancia no menor de 20 m. del contacto arenisca-mineral. Es necesario tener en cuenta que la mayoría de estas labores se irán perdiendo por la influencia del avance del minado, por lo que estas deben ser cuidadosamente planificadas, por lo que si se planea realizar labores permanentes de profundización se recomienda realizar un estudio específico para este fin.

Parámetros del método de minado

En el método de minado “SLC tradicional”, la altura entre los subniveles y el espaciamiento entre cruceros es calculada a partir de lo siguiente:

$$hS = (2/3) * hT \text{ (Para cruceros de 3.3 m x 3 m) (1)}$$

$$\text{Para } hS \leq 18 \text{ m : (a) } SD = WT/1 \text{ (b) } WT = W'' + a - 1.8 \text{ (2)}$$

$$\text{Para } hS > 18 \text{ m : (a) } SD = WT/0.65 \text{ (b) } WT = W'' + a - 1.8 \text{ (3)}$$

Dónde: hS = Altura entre subniveles – piso a piso

SD = Espaciamiento entre cruceros – centro a centro

hT = Altura total del elipsoide de extracción

WT = Ancho total aproximado del elipsoide de extracción

W'' = Ancho teórico aproximado del elipsoide de extracción.

a = Ancho efectivo de la abertura de extracción en el techo del drawpoint

Para el caso de Mina Azulcocha se han realizado varias corridas, teniéndose como resultado la tabla 4 que a continuación se presenta:

Tabla 4: Características geométricas para el método de minada SCL

Exentricidad	Altura entre sub Niveles	Altura de Elipsoide	Forma de Galería	Ancho de galería de produccion	Ancho teorico de elipsoide de extraccion	Ancho efectivo de extraccion (depende de forma de techo)	Ancho maximo de elipsoide de extraccion	Espesor de tajada	Distancia entre ejes de cruceros
E	hnsn	ht	ft	Wd	W'	a	Wt	dt	Sd
1.05	10.0	15.0	100%	3.5	3.00	3.5	4.70	2.35	4.70
1.06	11.0	16.5	100%	3.5	4.00	3.5	5.70	2.85	5.70
1.07	12.0	18.0	100%	3.5	5.00	3.5	6.70	3.35	6.70
1.08	13.3	20.0	100%	3.5	6.50	3.5	8.20	4.10	8.20

De los 4 casos tratados se ha determinado que el mas conveniente es el porque se tiene menos preparación y el pilar entre subniveles es estable. En la figura 6.1 se aprecia un esquema de las aberturas y ubicación de las labores mineras para este método de explotación.

DIMENSIONES GEOMETRICAS DEL SUBLEVEL CAVING

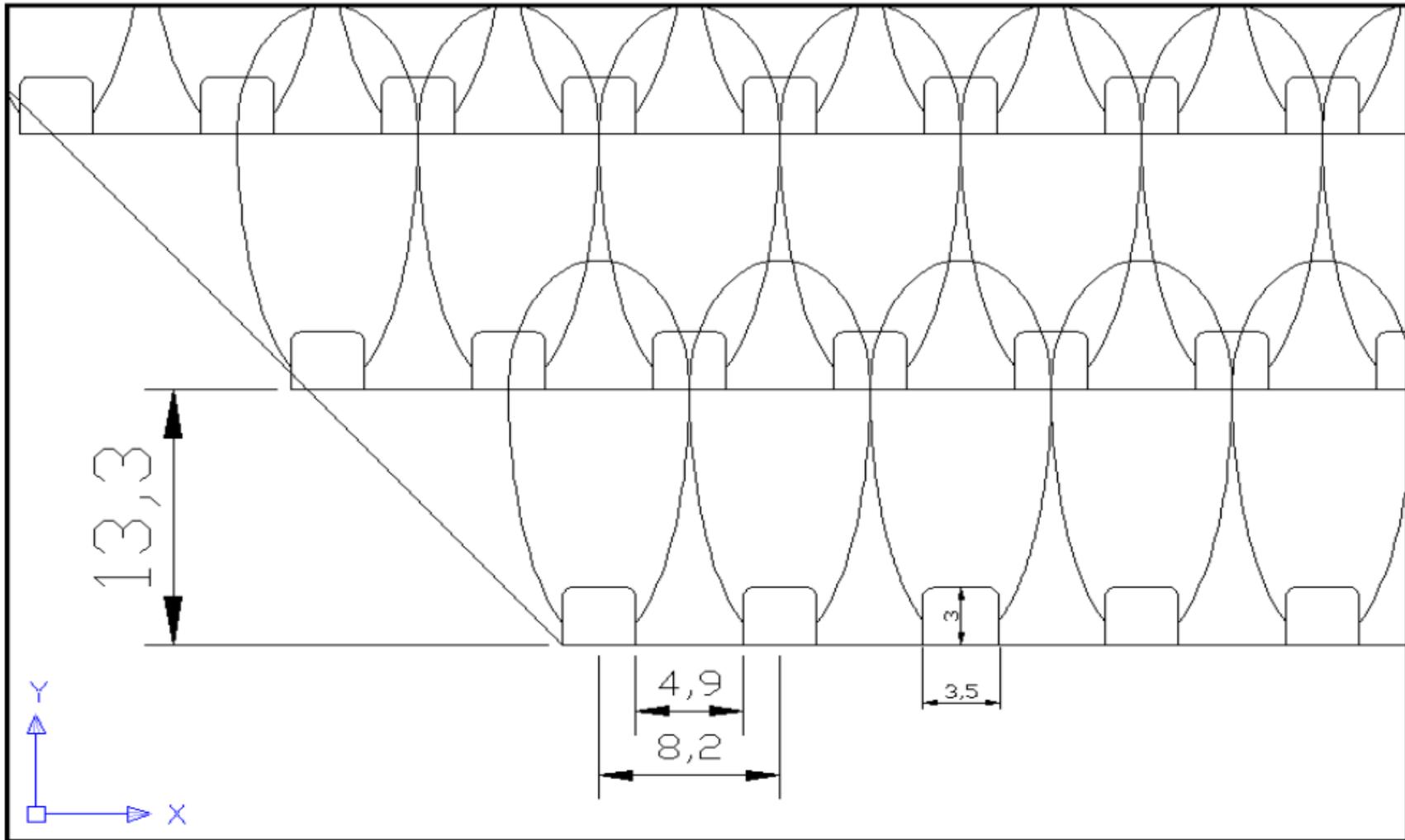


Figura 8: Esquema de ubicación y dimensiones del método Sublevel Caving para Mina Azulcocha

Se recomienda realizar pruebas piloto al inicio de la operación minera, a fin de obtener información sobre el elipsoide de extracción. Según ello, se puede establecerán la dimensiones definitivas de diseño, siendo las dadas en este estudio un punto de partida. En el método de minado “SLC mejorado”, el flujo interactivo es el factor más significativo que influye en el rendimiento del SLC, a través de este se puede retardar el ingreso de la dilución promoviendo las condiciones de flujo ideal, de esta manera se logra mejorar la dilución y la recuperación. En las Figuras 2 a 5, se pueden observar algunas de las diferencias más importantes entre el SLC tradicional y el SLC mejorado. La diferencia más notable es que en el esquema tradicional no es posible el flujo interactivo, mientras que en el esquema mejorado esto es posible. El flujo interactivo está asociado a varios factores, dentro de los cuales tiene primera importancia las técnicas de perforación y voladura. Para el SLC transversal, asegurando el flujo interactivo se puede tener una cobertura completa del flujo con anchos efectivos de pilares de 4.7 m, lo cual significaría para el Cuerpo Mina Azulcocha espaciamientos centro a centro entre cruceros de 8.2 m, con galerías o cruceros de extracción de 3.5 m x 3.5 m. La diferencia entre subniveles debe ser de 10 m. a 13 m, siendo el primero más recomendable.

Cabe señalar que la literatura técnica reporta los siguientes datos generales sobre los parámetros de perforación y voladura: factor de potencia entre 0.9 – 1.1 kg/m³, burden hasta 3 m, diámetro de taladros hasta 115 mm, espaciamiento de taladros mayor que el burden en la relación 1.3:1, inclinación de la fila de taladros 10° a 20°. 6.3.4 Secuencias de avance del minado Para una mayor tasa de producción es recomendable que se vaya a la práctica del minado por bloques, lo cual permitirá minar en varios niveles en simultáneo, con ello, se tendría mayores ventajas, entre otras: mejores condiciones de estabilidad, adecuado blending y mejor productividad. Para el SLC transversal el minado recomendable es en retirada desde uno de los extremos. En el SLC, las gradas

deben tener aproximadamente una distancia horizontal de 30 a 40 m. El minado debe proceder simultáneamente en 4 o 5 niveles. Dentro de cada subnivel a su vez debe de existir una secuencia de minado, debido al bajo buzamiento de la estructura no se puede vaciar todo el mineral, ya que la dilución aumentaría considerablemente. En las figuras 9 a 13 se propone una secuencia de minado, la que tiene como base principal el extraer en mineral en forma continua entre los subpaneles del subnivel. Esta sección corresponde a la zona este de la mina, en al que la caja techo tiene mejores condiciones de estabilidad.

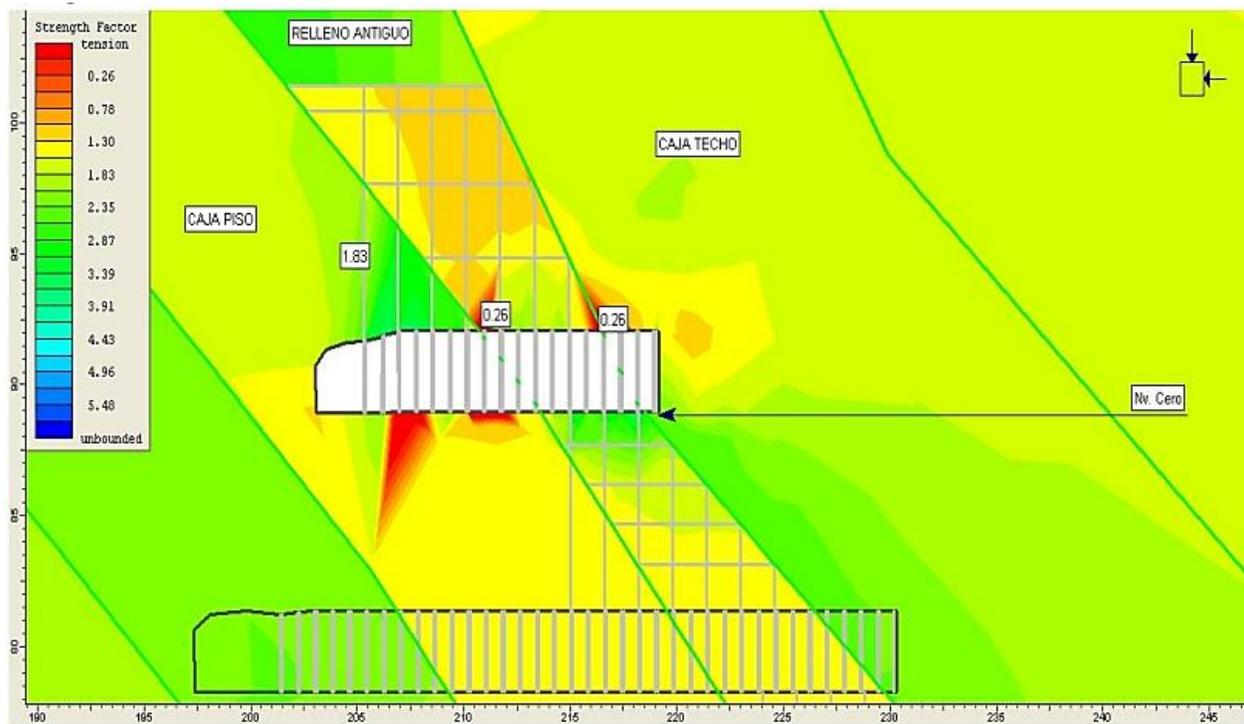


Figura 9: Secuencia de minado en el Subnivel. Sección Este de la estructura

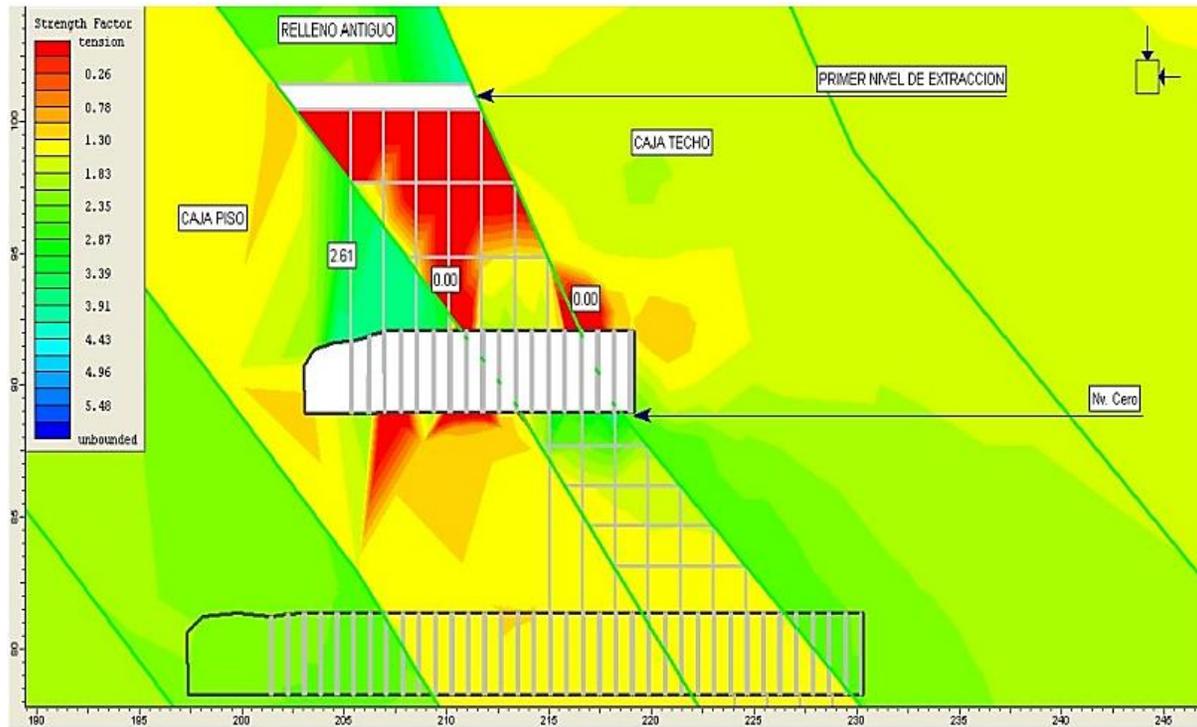


Figura 10: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el primer nivel. Los colores rojos indican falla en el macizo. Sección Este de la estructura.

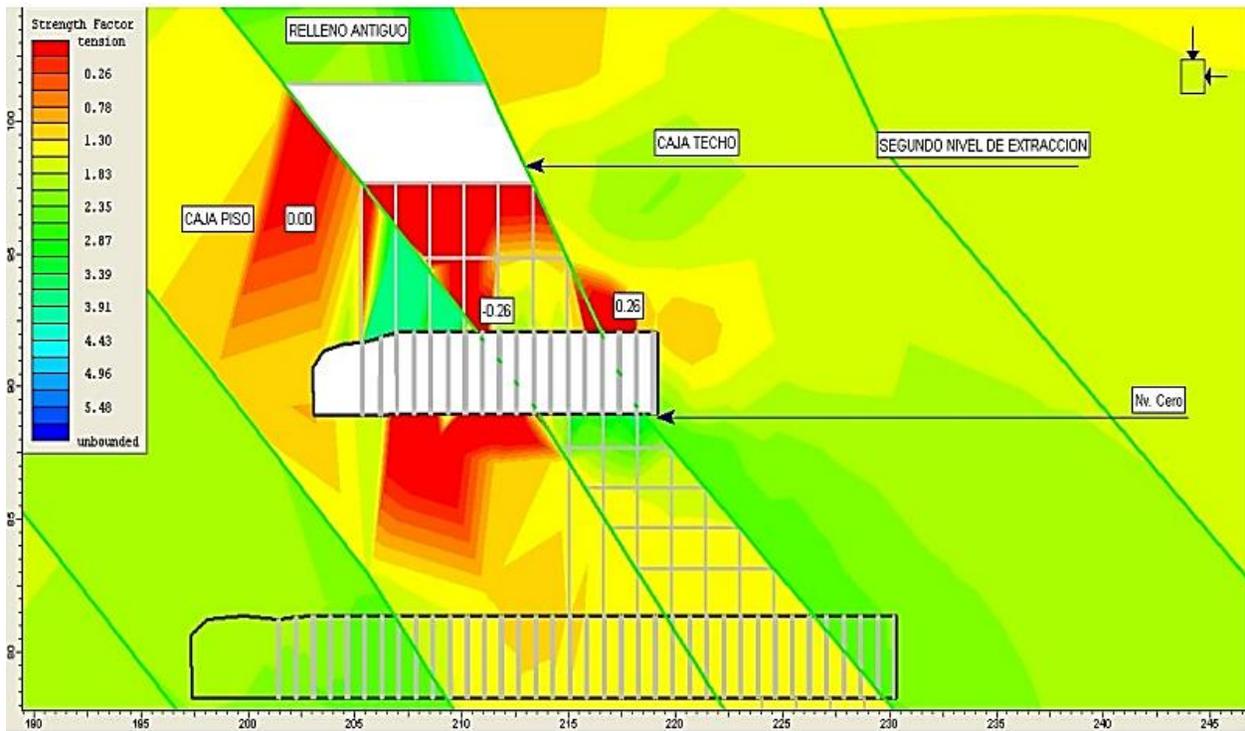


Figura 11: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el segundo nivel. Las cajas comienzan a colapsar. Sección Este de la estructura.

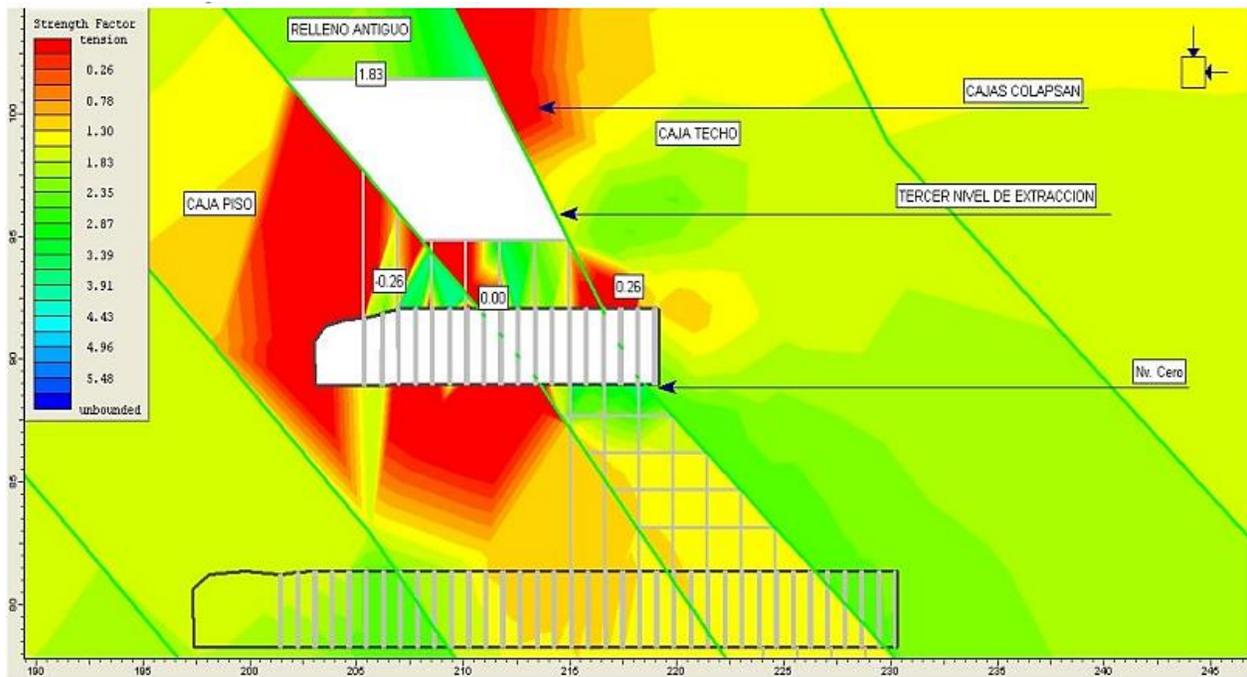


Figura 12: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el tercer nivel. Las cajas continúan colapsando. Sección Este de la estructura.

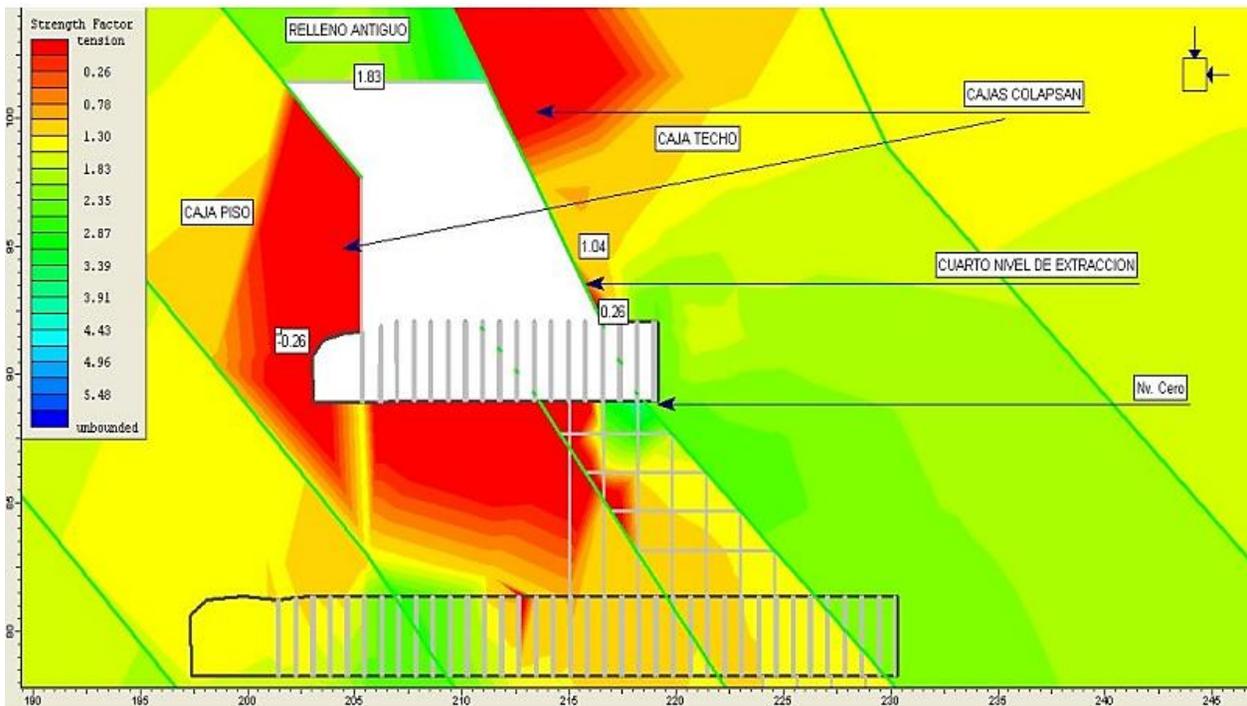


Figura 13: Secuencia de minado en el Subnivel. Se extrae el cuarto nivel. Las cajas comienzan a colapsar, afectando la parte baja. Sección al Este

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Se llevaron a cabo diversas actividades basadas en la ingeniería geotécnica de la mina Azulcocha, para posteriormente establecer el método de minado adecuado según las recomendaciones de la mecánica de rocas y las directrices del reglamento de seguridad e higiene de minería.

4.1.1. Caracterización del macizo rocoso

A fin de caracterizar el macizo rocoso para el presente estudio se realizaron investigaciones de campo mediante 24 estación de geomecánica distribuidas en los dos niveles de exploración, recopilándose datos de la litología características de las discontinuidades además de un muestreo de fragmentos y bloques de rocas representativas de las diferentes labores estudiadas para posteriormente realizar los ensayos de mecánica de rocas para determinar las propiedades físicas de resistencia y deformabilidad de la masa rocosa.

Las muestras recogidas de las diferentes labores fueron sometidas a diversos ensayos a fin de determinar las propiedades físicas de resistencia y deformabilidad. Fueron realizados ensayos de resistencia a la compresión simple resistencia a la tracción indirecta compresión triaxial corte directo y determinación de las propiedades físicas y elásticas.

Asimismo fueron realizados 71 ensayos de carga puntual o compresión simple en muestras provenientes de la caja techo caja piso y mineral cuyos resultados de valores de resistencia a la compresión simple se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5: Relación de los ensayos de resistencia a la compresión simple

Tipo de roca	N° de ensayos	Medioa (Mpa)	Maximo (Mpa)	Minimo (Mpa)	Factor de conversión
Mineral	35	37	81	4	22.8
Arenisca					
Cuarzosa	5	135	202	91	26.8
Arenisca Fina	9	121	152	83	25.5
Caliza	22	91	137	29	26.6

Del análisis de resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se pueden determinar las propiedades de la roca intacta las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6: Propiedades de la roca intacta

Litología	Dominio estructural	P.U. (Kn/m3)	σ_c (MPa)	E(GPa)	μ	m_b
Mineral	DE-5	32.07	37	2.08	0.27	16.02
Arenisca Cuarzosa	DE-1 y DE-2	25.02	135	10.7	0.16	18.14
Arenisca Fina	DE-3	24.82	121	6.23	0.18	15.26
Caliza	DE-6 y DE-7	25.8	91	9.7	0.26	15.51

Tabla 7: Propiedades del macizo rocoso

Zona	E(MPa)	mb	s	a
Mineral	152	0.9608	0.0003	0.514
Arenisca Cuarzosa Masiva	2023	1.907	0.0026	0.503
Arenisca Cuarzosa Fracturada	1572	1.6643	0.0012	0.506
Arenisca Fina	863	1.219	0.0013	0.504
Caliza Masiva	1521	1.5516	0.0014	0.505

4.1.2. Aspectos litológicos

En la caja techo del Cuerpo, predominan la caliza gris a negra con alto contenido de materia orgánica. En la estructura mineralizada, predominan los sulfuros semi-masivos, formados por minerales de esfalerita, y plomo. En la caja piso, se presentan areniscas cuarzosas intensamente fracturadas.

4.1.3. Distribución de discontinuidades

Los resultados de las características de distribución de los sistemas de discontinuidades estructurales se muestran en las figuras 8, 9 y 10. A partir de esta información se concluye en lo siguiente:

En la caja piso se presentan 4 sistemas de fracturas (3 principales y un aleatorio), siendo los siguientes:

- N 45° W / 37° NE
- N 17° W / 43° SW
- N 65° E / 62° SE
- N 17° E / 81° NW

En el mineral se presentan 4 sistemas de fracturas (3 principales y un aleatorio) siendo la estratificación el aleatorio, estos son los siguientes:

- N 75° E / 70° NW
- N 40° W / 68° NE
- N 09° W / 74° SW
- N 76° W / 75° SW

En la caja techo se presentan 5 sistemas de fracturas (3 principales y dos aleatorio), siendo los siguientes:

- N 08° E / 77° SE
- N 87° W / 72° NE
- N 40° W / 34° NE
- N 03° W / 79° SW

○ N 85° E / 66° SE

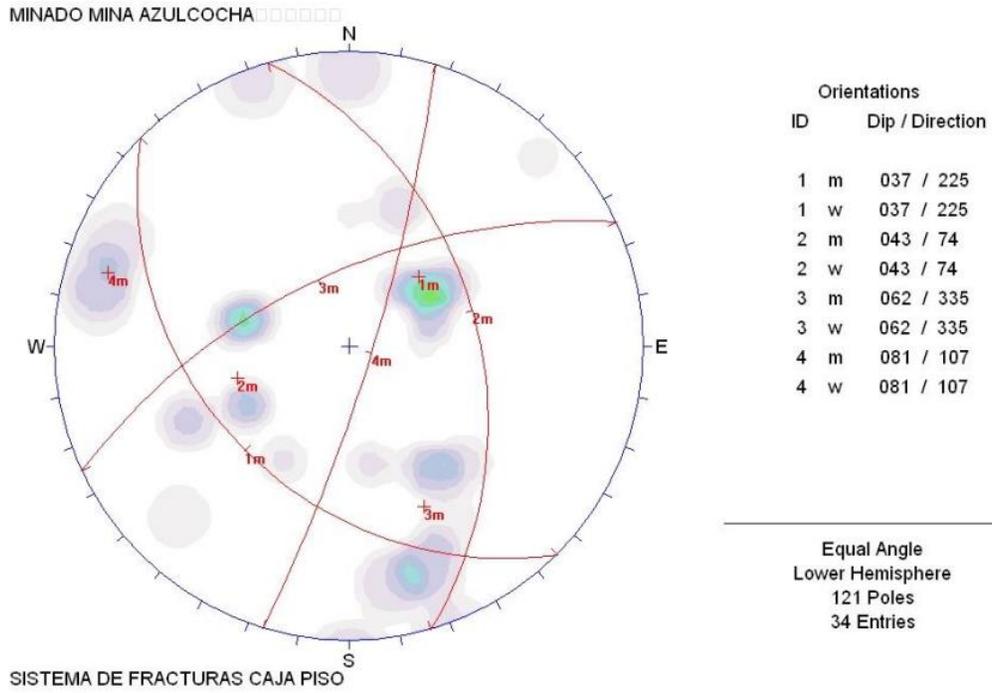


Figura 14: Sistemas de fracturas en caja piso (dominio DM-IVB)

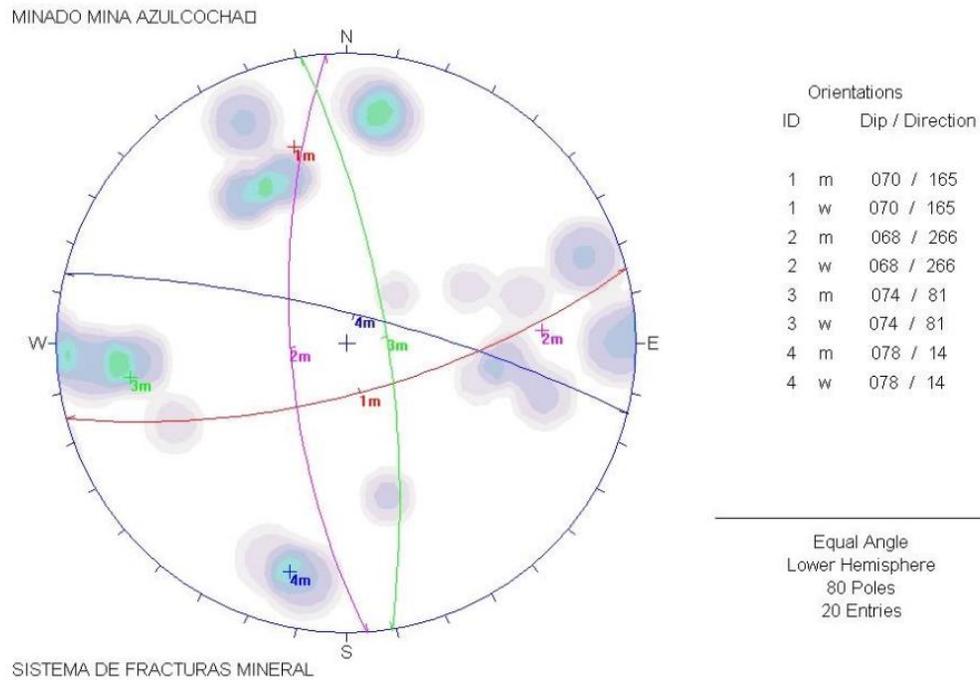


Figura 15: Sistemas de fracturas en Mineral (dominio DM-IVB)

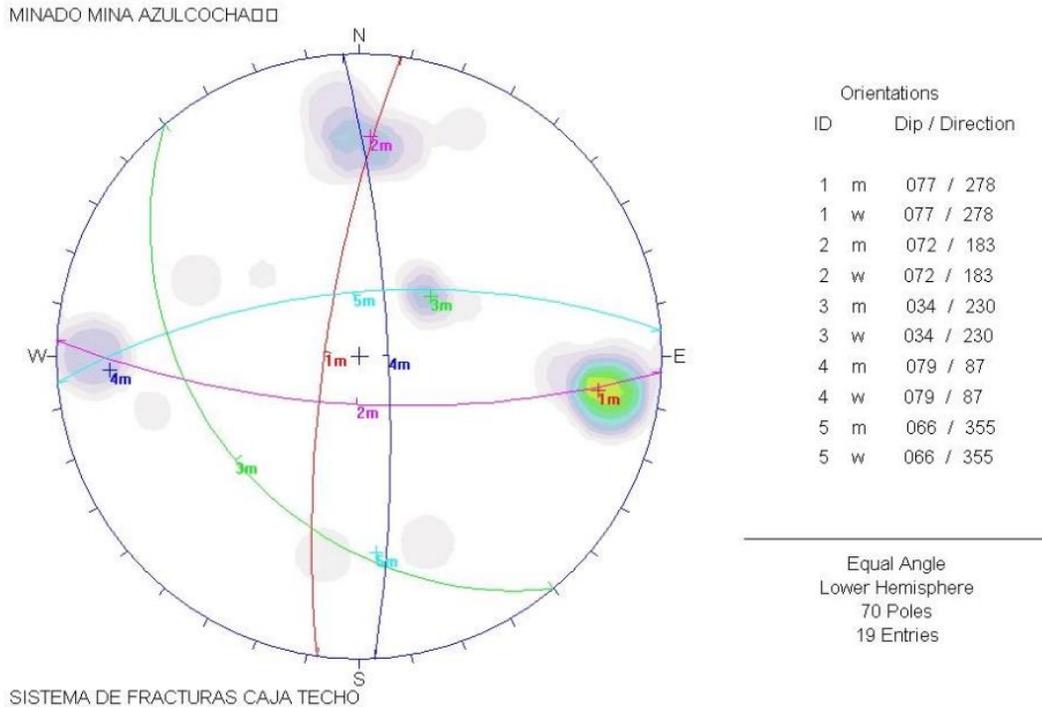


Figura 16: Sistemas de fracturas en Caja Techo (dominio DM-V)

Aspectos estructurales

Para establecer las características estructurales de la masa rocosa, nos referimos al arreglo estructural de la masa rocosa en la caja techo, en el mineral y en la caja piso.

Caja Piso

La arenisca cuarzosa presenta por lo general las siguientes características: espaciamiento de 4 a 15 cm., persistencia mayor a 1 m, apertura de 0.1 a 3 mm., rugosidad liza a planar, relleno suave, mayormente de arcillas y óxidos, y mediana alteración. El macizo presenta condiciones húmedas a mojadas.

Mineral

El mineral presenta una estructura triturada con presencia de arcilla. Por lo general presenta las siguientes características: espaciamiento de 2 a 5 cm., persistencia mayor a 1 m., apertura de

0.1 a 3 mm., rugosidad liza a planar, relleno blando, mayormente de arcillas y óxidos, y alta alteración. El macizo presenta condiciones mojadas (goteo).

Caja Techo

La caliza negra presenta dos áreas bien marcadas dentro del yacimiento:

- Zona centro y Este: Esta zona es la mas crítica del yacimiento ya que al ser intersectada por lo general se presentan flujos de suelo, esto se debe a que tiene agua acumulada. No es posible determinar las características de las fracturas del macizo en dicha zona.
- Zona Oeste. Por lo general presenta las siguientes características: espaciamiento de 10 a 25 cm., persistencia mayor a 1 m, apertura de 0.1 a 2 mm., rugosidad planar, relleno calcita a suave, mayormente de arcillas y óxidos, y baja alteración. El macizo presenta condiciones húmedas a mojadas.

4.2. Evaluacion de las propiedades de comportamiento del terreno en la mina

Azulcocha.

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa, es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (c). Se intentó extraer muestras para ensayos de laboratorio de los testigos, pero debido al intenso fracturamiento del macizo no fue posible obtener muestras adecuadas; solo se obtuvieron muestras de las rocas en bloques, los cuales tuvieron que ser embebidas en cemento para tratar de mantenerlas intactas ya que en el transporte al laboratorio de Mecánica de Rocas podrían romperse. En estas muestras se realizaron algunos ensayos de laboratorio de mecánica de rocas.

4.2.1. Características Físicas y Mecánicas de la roca intacta y macizo rocoso

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa, es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (σ_c). Se intentó extraer muestras para ensayos de laboratorio de los testigos, pero debido al intenso fracturamiento del macizo no fue posible obtener muestras adecuadas; solo se obtuvieron muestras de las rocas en bloques, los cuales tuvieron que ser embebidas en cemento para tratar de mantenerlas intactas ya que en el transporte al laboratorio de Mecánica de Rocas podrían romperse. En estas muestras se realizaron algunos ensayos de laboratorio de mecánica de rocas (ver Anexo 3). Las diferentes características físicas y mecánicas de la roca intacta, el macizo rocoso y el relleno en pasta se observan en el cuadro 4.3. Los valores en rojo han sido estimados con el software RocLab, debido a que la mala calidad de las muestras no permite extraer testigos que puedan ser ensayados.

4.2.2. Resistencia de las discontinuidades

Desde el punto de vista de la estabilidad estructuralmente controlada, es importante conocer las características de resistencia al corte de las discontinuidades, puesto que estas constituyen superficies de debilidad de la masa rocosa y por tanto planos potenciales de falla. La resistencia al corte en este caso está regida por los parámetros de fricción y cohesión de los criterios de falla Mohr-Coulomb. Por los diferentes aspectos señalados anteriormente en el Acápite 4.3 (Zonificación geomecánica), la estabilidad estructuralmente controlada pasa a segundo plano, siendo de mayor importancia la resistencia de la roca intacta y de la masa rocosa; sin embargo, se ha estimado empíricamente los valores de ángulos residuales de las fracturas en las rocas de la caja techo oeste (calizas), siendo de 25° a 28°.

4.2.3. Condiciones especiales de la masa rocosa

Estas condiciones están referidas a las características de expansión (swelling rock) en presencia de agua y a las características de alta deformabilidad (squeezing rock) de la masa rocosa que pudieran estar presentes en el Cuerpo Mineralizado de la Mina Azulcocha. Las características expansivas de la roca están asociadas a la presencia de arcillas como la montmorillonita, que pueden estar contenidas en las alteraciones argílicas, o en minerales de anhidrita. Por la información que se dispone, se ha notado que hay cierto grado de alteración argílica en el yacimiento, pero no hay anhidrita. Por tanto se anticipa que las rocas podrían presentar alguna actividad expansiva, siendo recomendable que se orienten investigaciones futuras al respecto.

Tabla 8: Propiedades del macizo rocoso

DOMINIO ESTRUCTURAL	ROCA	RMR ₍₈₉₎	Q	GSI	GRAVEDAD ESPECIFICA (MN/M ³)	COMPRESION SIMPLE (Mpa)	FRICCION (°)	COHESION (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MODULO DE POISSON	RESISTENCIA A LA TRACCION (Mpa)
DE-IV A	ARENISCA PISO INTERMEDIO	33	0.30	IF/R	0.0259	77.33	35	0.764	3800		5.1
DE-IV B	ARENISCA PISO INMEDIATO	25	0.12	IF/P	0.0247	24.29	29.94	0.078	2400	0.3	8.17
DE-V	CALIZA CENTRO-OESTE INMEDIATO	10	0.03	T/MP	0.023	5.00	4.48	0.037	950	0.33	
DE-IV B	CALIZA CENTRO-OESTE INTERMEDIA	25	0.12	IF/P	0.023	22.00	17.3	0.236	2400		
DE-III B	CALIZA CENTRO-ESTE INMEDIATA	42	0.80	MF/P	0.023	25.00	26.65	0.457	6300		
DE-III A	CALIZA CENTRO-ESTE INTERMEDIA	52	2.50	MF/R	0.023	45.00	34	0.706	11000	0.27	
DE-IV B	MINERAL	25	0.12	IF/P	0.034	36.79	23.12	0.115	1700	0.33	5.88
DE-III A	ARENISCA PISO INTERMEDIO	51	2.20	MF/R	0.0251	51.00	28.8	0.096			10.82
DE-II	ARENISCA PISO LEJANO	63	8.30	F/R	0.0246	65.51	28.14	0.093	5340	0.21	4.62
	RELLENO CEMENTADO ANTIGUO				0.023	7	24	0.222	750		
	RELLENO CEMENTADO PROYECTADO				0.023	10	26	0.357	1000		

Las rocas de alta deformabilidad son aquellas que muestran deformaciones en función del tiempo; aquí, los esfuerzos exceden a la resistencia de la masa rocosa o el límite de fluencia, ocurriendo entonces que esta se deforme plásticamente. Estas características podrían estar presentes en la masa rocosa mineralizada y cajas inmediatas.

4.2.4. Condiciones del agua subterránea

El agua juega un factor muy importante en la estabilidad del macizo rocoso, y más si se trata de materiales de baja calidad geotécnica, por lo que es primordial el estudio del agua

subterránea determinando su origen y control. En la mina Azulcocha se observa una gran influencia del agua subterránea sobre la estabilidad del macizo rocoso, ya que se tienen zonas de intenso goteo, observándose agua acumulada en la caja techo de la estructura. El agua puede provenir de una o más de las siguientes fuentes:

- ❖ Por la infiltración del agua proveniente de las lluvias, las cuales filtran a través de las estructuras principales llegando a las labores mineras.
- ❖ En la parte alta de la mina se encuentra la Laguna Azulcocha, la cual podría alimentar en forma importante al acuífero intersectado por la mina.
- ❖ Agua acumulada en los niveles superiores antiguos, los cuales contribuyen a una constante filtración en los niveles más bajos y que son motivo del presente estudio.

Para poder cumplir con las recomendaciones dadas en el presente estudio se requiere que el agua subterránea sea drenada en forma continua, para lo cual se recomienda realizar un estudio Hidrogeológico, con la finalidad de determinar la procedencia del agua y poder analizar como drenar dicha agua. En primera instancia se recomienda lo siguiente:

- ❖ Realizar una rampa por debajo del Nivel -40 con la finalidad de deprimir el nivel freático a una cota inferior al actual y secar la zona de explotación.
- ❖ Revisar los niveles superiores en busca de zonas con agua acumulada en las labores, para poder desaguarlas.

4.2.5. Esfuerzos

La mineralización del Cuerpo Azulcocha conocida hasta el momento llega hasta los 280 m de profundidad respecto a la superficie del terreno, por lo que se esperaría que los esfuerzos sean de baja a mediana magnitud. Se ha estimado el esfuerzo vertical a partir del criterio de carga

litostática (Hoek & Brown, 1978), considerando profundidades de excavaciones de hasta 280 m, que es la profundidad conocida de la mineralización a partir de la superficie del terreno; según este criterio, el esfuerzo vertical in-situ resulta aproximadamente 7.8 MPa. La constante “k” (relación de los esfuerzos horizontal a vertical) para determinar el esfuerzo in-situ horizontal, fue estimado utilizando el criterio de Sheorey (1994), según esto k sería aproximadamente 0.29, con el que se obtiene un esfuerzo horizontal in-situ de aproximadamente 2.3 MPa. En la tabla 7 se observa el cálculo respectivo.

Tabla 9: Calculo de esfuerzo vertical y horizontal

DENSIDAD (δ)	ALTURA (z)	MOD. DE DEF. HOR. (Eh)	CONSTANTE DE SHEOREY (k)	ESFUERZO VERTICAL (σ_v)	ESFUERZO HORIZONTAL (σ_h)
0.028	280	1.33	0.292672686	7.84	2.29

Considerando los valores señalados de esfuerzos y la resistencia de la roca intacta, el Factor de competencia = Resistencia compresiva uniaxial/ Esfuerzo vertical para el mineral y las cajas piso es > 2 por lo que la deformación será posterior a la excavación, mientras que en la zona de a caliza de muy mala calidad en valor es < 2 , lo cual indica que estos esfuerzos producirán un sobreesforzamiento inmediato después de ejecutadas las excavaciones, requiriendo sostenimiento inmediato y permanente.

4.3. Clasificación geomecánica de la masa rocosa en la mina Azulcocha.

Clasificación de la masa rocosa Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa se utilizó la información desarrollada precedentemente, aplicando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocos – 1989), Barton y Colaboradores (Sistema Q – 1974) y Marinos & Hoek (GSI – Geological Strenght Index – 2002).

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos conforme a los procedimientos señalados en el capitulo 3. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron determinados por medición directa de las labores mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal. El criterio adoptado para clasificar a la masa rocosa se presenta en la tabla 10.

Tabla 10: Criterios de clasificación de la masa rocosa

Tipo de roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR
II	> 60	> 6.0	Buena
IIIA	51 – 60	2.0 – 6.0	Regular A
IIIB	41 – 50	0.65 – 2.0	Regular B
IVA	31 – 40	0.2 – 0.65	Mala A
IVB	21 – 30	0.07 – 0.2	Mala B
V	< 20	<0.07	Muy Mala

El mapeo geomecánico y clasificación de dominios estructurales se presenta en el anexo 2.

A partir de estos resultados podemos concluir lo siguiente:

- ❖ En la caja techo zona este y centro inmediato se presentan mayormente masas rocosas de calidad Muy Mala (Clase V). Después siguen masas rocosas de calidad Mala B (Clase IVB), pero también con presencia de masas rocosas de calidad Mala A (Clase IVA), pero en menor proporción.

- ❖ En la caja techo zona oeste inmediata se presentan mayormente masas rocosas de calidad regular (Clase IIIB). Después siguen masas rocosas de calidad regular (Clase IIIA).
- ❖ En el cuerpo mineralizado, predominan masas rocosas de calidad Mala (Clase IVB).
- ❖ En la caja Piso inmediata se presentan mayormente masas rocosas de calidad Mala (Clase IVA-IVB). Después siguen masas rocosas de calidad regular (Clase IIIA-III B) generalmente. A partir de 35 m. del contacto mineral-arenisca el macizo rocoso presenta calidad buena (Clase II).

4.3.1. 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 de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares.

Dentro de estas propiedades el arreglo o modelo estructural de la masa rocosa y la calidad de la misma son consideraciones importantes a tomarse en cuenta para la delimitación de los dominios estructurales. Para nuestro caso, tiene mayor importancia la calidad de la roca que el modelo estructural, dado que la masa rocosa circundante a la explotación generalmente es de calidad Muy Mala. En estas condiciones, los mecanismos de rotura o de inestabilidad de la roca, estarán mayormente asociados a la calidad de la roca mala antes que al arreglo estructural de la masa rocosa.

De acuerdo a lo indicado, se ha llevado a cabo la zonificación geomecánica de la estructura de la Mina Azulcocha, basada en toda la información que se ha tenido disponible como producto del presente estudio. En el anexo 2, las Láminas 3 y 4 se presentan dos secciones típicas como

resultado de la zonificación geomecánica efectuada. En el siguiente cuadro un resumen de las zonas geomecánicas o dominios estructurales en términos de calidad de la masa rocosa, utilizando diferentes criterios de clasificación.

Como se puede ver en las Láminas 3 y 4, el dominio estructural DE-V de la caja techo inmediata forma un paquete de hasta 10 m, no teniéndose una información muy exacta de la continuación del mismo ya que no hay sondajes largos que se puedan analizar.

Tabla 11: Zonificación Geomecánica del Yacimiento Azulcocha

Ubicación	Dominio Estructural	Clasificación RMR	Sistema Q	GSI
Caja techo Centro-Oeste inmediata	DE-V	< 21	< 0.08	T/MP
Caja techo Centro-Oeste intermedia	DE-IVB	21 – 30	0.08 – 0.21	IF/MP-P
Caja techo Este Inmediata	DE-IIIB	40 – 50	0.64 – 1.95	MF/P
Caja techo Este intermedia	DE-IIIA	50 – 60	1.95 – 5.92	MF/R
Zona Mineralizada	DE-IVA-B	21 - 40	0.08 – 0.64	IF/MP-P
Caja piso inmediato	DE-IVA	31 - 40	0.24 - 0.64	IF/ R
Caja piso inmediato	DE-IVB	21 - 30	0.08 - 0.21	IF/ P
Caja piso intermedio	DE-IIIA-B	40 - 60	0.64 – 5.92	MF/R-P
Caja piso lejano	DE-II	> 60	> 5.92	F/R-B

El mineral y la caja piso inmediata forman un dominio estructural DE-IV. La extensión de este dominio en la caja piso corresponde a la información que se tiene disponible a través de las labores mineras actuales, el paquete tiene aproximadamente 15 a 20 m. Luego de esta distancia se presenta un dominio estructural DE-IIIA-B que tiene una potencia de 10 a 15 m. A continuación se presenta un dominio estructural DE-II con una potencia mayor a 400 m.

4.3.2. Evaluación geomecánica del macizo rocoso

La evaluación geomecánica para la determinación de los dominios estructurales de las diferentes estaciones estudiadas se realizó mediante las clasificaciones geo mecánicas RMR de Bieniawski y Q de Bartn, determinándose para cada litología resistencia a la compresión simple de la roca y las características de las discontinuidades.

Net siguiente tabla se resume el número de estaciones de Mateo mecánicos y mapeos por línea de detalle. La ubicación de estas estaciones geomecánica sí líneas de detalle se muestran en los planos 2 a 5.

Tabla 12: Numero de estaciones de mapeo geomecanico

Nivel	Estaciones Geotecnicas
Nv 0	15
Nv-40	9
Total	24

El mapeo mecánico se realizó para la zona de la caja techo de la caja piso y del cuerpo mineral, en general estas presentan características similares que se describen a continuación.

4.3.3. Donimios estructurales

La caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso del mineral, de la caja de techo y de la caja piso del yacimiento permitió diferenciar tramos con características litológicas semi homogéneas patrones geo estructurales similares a los cuales se les ha dado la denominación de dominios estructurales (DE). Estos dominios estructurales fueron obtenidos a partir de la clasificación del macizo rocoso de las 24 estaciones geo mecánicas (EG) y el loguep de las perforaciones diamantinas.

La base del análisis estructural y de la clasificación geomecánica del macizo rocoso se determinaron 7 dominios estructurales representativos definido según su valoración di RMR YQ de Barton que se muestran a continuación.

Como resultado del análisis estructural y geo mecánico se determinó que el macizo rocoso presentaba comportamiento bien definido tanto en la caja techo la caja piso y el cuerpo mineralizado independientemente de su nivel.

Tabla 13: Clasificación geomecánica por sectores de diseño

Dominio Estructural	Litología	RMR	Q	Q'	Calidad de Roca
DE-1	Arenisca Cuarzosa Masiva	64	14	14	Buena
DE-2	Arenisca Cuarzosa Fracturada	55	5.1	5.1	Regular
DE-3	Arenisca Fina	59	6.7	6.7	Regular - Buena
DE-4	Falla	>20			Muy Mala
DE-5	Mineral	42	3.7	11.3	Mala - Regular
DE-6	Caliza Brechosa Mineralizada	48	4.2	4.2	Regular
DE-7	Caliza	56	5.3	6.5	Regular-Buena

4.4. Metodo de explotación propuesto

La tendencia para la explotación de cuerpos mineralizados inclinados es mediante traçados explotación con dimensiones óptimas y teniendo en cuenta lo siguiente:

- ❖ Acceso racional para el personal de explotación y equipos
- ❖ Concentración de la producción en un mínimo de tajeos
- ❖ Asegurar la ventilación y accesos de evacuación para situaciones de emergencia
- ❖ Asegurar la realización de las operaciones unitarias en condiciones óptimas
- ❖ Asegurar un mínimo de labores preparatorias

Recuerdo la evaluación de las condiciones geológicas y geo mecánicas del cuerpo mineralizado y con el propósito de optimizar el minado a través de la mecanización de la mina con el uso de equipos adecuados y una mejor disposición de las labores de extracción, el método de minado más apropiado para la explotación corresponde al método sub niveles adecuado para cuerpos inclinados. En ambos métodos la altura de corte o la altura de tajeó corresponden a la distancia entre los subniveles estando en función de las condiciones geo mecánicas de la roca, del equipo empleado y el sistema de explotación.

El método de explotación por subniveles considera los siguientes aspectos

- ❖ Paredes de excavación estables durante la extracción (con o sin refuerzo)
- ❖ La explotación no considera el ingreso del personal o equipos a los tajeos
- ❖ Cavidades explotadas con o sin relleno
- ❖ Acceso de rampas entre subniveles
- ❖ Dimensiones de tajeos que permitan flexibilidad operacional

Los principales etapas de acondicionamiento para la explotación del cuerpo por el metodo de subniveles son:

- ❖ Se delimitan tajeos con alturas de niveles entre 16 u 19.
- ❖ Se construye u By pass en esteril para la extracción del mineral
- ❖ Se construye labores en la caja techo para techo para reforzar el techo del tajo con cable bolting y realizar la perforación en abanico para voludara.
- ❖ Se contruye una rampa en esteril para acceder a los subniveles de perforación.
- ❖ Se contruyen chimeneas en la arte central del block para ventilación y extracción del material de preparación.

- ❖ En el método de explotación por subniveles los cruceros de extracción de mineral se construyen cada 10m de eje a eje entre ellos en el nivel de extracción.
- ❖ La perforación de taladros largos se realiza desde el nivel superior y nivel inferior en abanico y longitudes menor a 18m (de acuerdo a la malla de perforación).

4.4.1. Dilucion

Es importante conocer el valor promedio de dilución del yacimiento el cual debe ser estimado a partir de los registros y controles de geología y minas para nuestro caso estimaremos el valor a partir de experiencias de yacimientos mineros similares que se han desarrollado en el Perú.

Tabla 14: % de la dilución en función de la recuperación

H	W	% de Recuperación	%Dilución
10.0	4.70	90	25
11.0	5.70	90	25
12.0	6.70	85	20
13.3	8.20	85	20

4.4.2. Configuración del método de minado

De los resultados obtenidos unos análisis de estabilidad en el dimensionamiento de las aberturas de explotación y pilares mineros se plantea que el método explotación por su niveles, cuyas configuraciones geométricas son las indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 15: Metodo de explotación por banqueo y relleno

Dimensionamiento de Cámaras Tajeos			Dimensionamiento de Pilares	
Ancho (m)	Altura (m)	Largo (m)	Pilar Costilla (m)	Pilar Puente (m)
20	45	20	20	12

4.4.3. Incorporación de relleno al método de minado

Para la explotación del yacimiento se requerirá el uso de relleno estructural para lograr una máxima recuperación de los pilares costilla y eventualmente los pilares puente, manteniendo la estabilidad y el restablecimiento del equilibrio del macizo rocoso en este contexto se plantea el uso del relleno sementado de roca.

Tabla 16: Propiedades in situ de compositos de rellenos

Tipo de relleno	c (MPa)	ϕ (°)
Compósito 8% RAC	0.22	35
Compósito 8% RRC	0.60	35.4

Como se puede apreciar en ella, la adición de roca (desmonte) más arena con cemento al 8% genera un fuerte aumento de la cohesión in situ del relleno resultante, de 0.22MPa a 0.60MPa, es decir prácticamente triplicándose. Al mismo tiempo la reducción en consumo de cemento es también significativa, el contenido global de cemento disminuyen 71%.

Tabla 17: Requerimiento de cemento en peso por m3 de relleno.

Tipo Relleno	Contenido Cemento / M3 de Relleno (kgs)				
	8%	9%	10%	11%	12%
Relleno de Roca Cementado (RRC)	37.6	42.3	47.0	51.7	56.4
Relleno de Roca Cementado (RAC)	131.2	147.6	164.0	180.4	196.8
Reducción de Cemento (RRC vs RAC)	71%	71%	71%	71%	71%

4.4.4. Evaluación de las condiciones de estabilidad

Un anexo 6 se presentan los resultados de la evaluación de estabilidad los mismos que tuvieron como objetivo el de realizar un análisis tenso – deformacional de las diferentes etapas de excavación y corroborar los resultados de los análisis empíricos de dimensionamiento de aberturas para los traqueos de explotación.

Top los resultados muestran factores de seguridad por encima de la unidad en todas las etapas de excavación simuladas de acuerdo a las dimensiones establecidas en los planos.

Las deformaciones máximas alcanzadas en las paredes colgantes, yacentes y techo están en el orden de 0.5 a 2% indicando niveles de daño poco significantes a moderados según la clasificación. Para minimizar el daño por efecto de las deformaciones se implementará el refuerzo del cable bolting en la caja techo del Tajo de forma sistemática.

Del análisis se concluye que los factores de seguridad hallados están escasamente por encima de la unidad lo cual significa que están en el límite de estabilidad con posibilidad de falla menor afectado por los esfuerzos inducidos de las zonas explotadas.

Cabe indicar que para mayores alturas de tajeos el grado de inestabilidad y probabilidades de falla aumentan, por lo mismo es recomendable utilizar el sostenimiento de los tajeos con cable bolting oportunamente, de tal manera de no ceder de los radios hidráulicos o áreas de abertura recomendados.

CONCLUSIONES

- ❖ la evaluación de las condiciones naturales del yacimiento o ambiente geomecánico muestra que la masa rocosa mineralizada del Cuerpo de la Mina Azulcocha es muy incompetente ($RMR < 25$), toda vez que tiene aspecto brechado terroso con abundante presencia de sulfuros (pirita – esfalerita – cobres grises, etc.). Esta característica influirá en forma adversa en el minado de este yacimiento, por mayores costos de sostenimiento, por lo tanto la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha se ajusta a los parámetros de explotación por subniveles.
- ❖ Según la caracterización geomecánica de la masa rocosa se obtuvieron los siguientes indicadores:

Los resultados del análisis de distribución de los sistemas de discontinuidades estructurales, han indicado lo siguiente: En la caja piso se presentan 4 sistemas de fracturas (3 principales y un aleatorio), siendo los siguientes:

- N 45° W / 37° NE
- N 17° W / 43° SW
- N 65° E / 62° SE
- N 17° E / 81° NW

En el mineral se presentan 4 sistemas de fracturas (3 principales y un aleatorio) siendo la estratificación el aleatorio, estos son los siguientes:

- N 75° E / 70° NW
- N 40° W / 68° NE

- N 09° W / 74° SW
- N 76° W / 75° SW

En la caja techo se presentan 5 sistemas de fracturas (3 principales y dos aleatorio), siendo los siguientes:

- N 08° E / 77° SE
- N 87° W / 72° NE
- N 40° W / 34° NE
- N 03° W / 79° SW
- N 85° E / 66° SE 5.

En la caja piso se presenta una falla importante que a triturado la arenisca, llegando su influencia hasta la zona mineralizada, en la zona centro-oeste de la estructura su influencia es marcada, mientras que hacia la zona este de la mineralización la falla ha influenciado la caja piso y el mineral.

- ❖ La determinación de las propiedades de comportamiento del terreno han contribuido en brindar los parámetros de entrada que permiten determinar el comportamiento de la masa rocosa estudiada, siendo fuente principal del diseño de minado según el comportamiento de la roca.
- ❖ Según el criterio de clasificación geomecánica adoptado (Bieniawski, 1989) la masa rocosa del yacimiento de la Mina Azulcocha se clasifica de la siguiente manera:

En la caja techo inmediato se presentan mayormente masas rocosas de calidad Muy Mala (Clase V).

Después siguen masas rocosas de calidad Mala B (Clase IVB) generalmente, pero también con presencia de masas rocosas de calidad Mala A (Clase IVA), pero en menor proporción.

En el cuerpo mineralizado, predominan masas rocosas de calidad Mala (Clase IV B). En la caja piso inmediato se presentan mayormente masas rocosas de calidad Mala (Clase IV B).

Después siguen masas rocosas de calidad Regular (Clase III A-B) generalmente, pero también con presencia de masas rocosas de calidad.

En la zona alejada de la caja piso la calidad de la roca es buena (Clase II)

La zonificación geomecánica efectuada, ha indicado la presencia de cuatro dominios estructurales: DE-V (RMR < 21), DE-IVAB (RMR 21–40), DE-III AB (RMR 40–60) y DE-II (RMR > 60). El primero involucra a la caja techo, el segundo a la caja techo intermedia, a la caja piso inmediata, el tercero a la caja piso intermedia, la cuarta involucra a la caja piso alejada y el último a la caja piso mas alejada. El primero, forma un paquete de 10 a 15 m en la caja techo inmediata. El segundo, forma un paquete también de 10 a 20 m.

RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda aplicar los parámetros de ingeniería considerados en la presente tesis de tal forma de garantizar la estabilidad de tajeos explotados en la mina Azulcocha.
- ❖ Se recomienda utilizar instrumentos de última generación, mantenimiento adecuado y programado para que con estos tener más posibilidades en el tiempo de vida del sistema de monitoreo geomecánico.
- ❖ Fomentar el estudio donde se aborde el estudio e investigaciones geotécnicas utilizando distintos enfoques para poder crear modelos efectivos y garantizar trabajos seguros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Clasification Wiley – Interscience Publication – 1989.
- Brady B.H.G. & Brown E.T. “Rock Mechanics for Underground Mining” George Allen & Unwin – London – 1985.
- Brown E.T. “Rock Characterization Testing and Monitoring” ISRM Suggested Methods – Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics – 1981.
- Bull G. and Page C.H. “Sublevel Caving – Today’s Dependable Low – Cost „Ore Factory”” Páginas 537 – 556 – MASSMIN 2000 – Oct.-Nov. 2000.
- Hoek E., Kaiser P., Bawden W. “Support of Underground Excavations in Hard Rock” A.A. Balkema 1995.
- Hoek E. “Practical rock engineering” Rocscience, 2002.
- Hudson J.A. Ed. “Comprehensive Rock Engineering – Principles, Practice & Projects”. Volúmenes 3 y 4, Pergamon Press 1993.
- Hustrulid W.A. and Bullock R.L. “Underground Mining Methods: Fundamentals and International Case Studies” SME – 2001.
- Kvapil Rudolf “Sublevel caving” Cap. 20.2 – Páginas 1789 – 1814 – Mining Engineering Handbook – SME – 1992.
- Informe Geológico de Mina Azulcocha. 2006.
- Weiss F. y Córdova D. “Influencia de las condiciones naturales en la selección del método de explotación en minería subterránea”, Informe INGEMMET – 1991.
- Krzyszton, D. and Carvajal A., 2007. Susceptibility of rocks bumps. The results of simples investigation in a staff-testing machina.Fundacja Nauta I traducie Górnice 102p.Yacimiento Uchucchacua.
- Universidad Nacional de Ingeniería, Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Rocas. Agosto 2012.
- Bath, C., y S. Duda.1968. Secular Seismic Energy release in the circum pacific belt.
- Bernal, I. 2001. Características y evaluación de la energía sísmica liberada. Univ. Nac. San Agustín. 170p.
- Bernal, I., y H. Tavera. 2005. Evaluación de la sismicidad y distribución de la energía sísmica en Perú. IGP Boletín de la Sec. Geológica del Perú V 92 p 67-78
- Carmona, J., y J. Castano. 1970. Distribución temporal de la energía liberada al sur de los 20° en el intervalo 1920-1970. Inst. de Inv. Antisísmica de Argentina. 25p

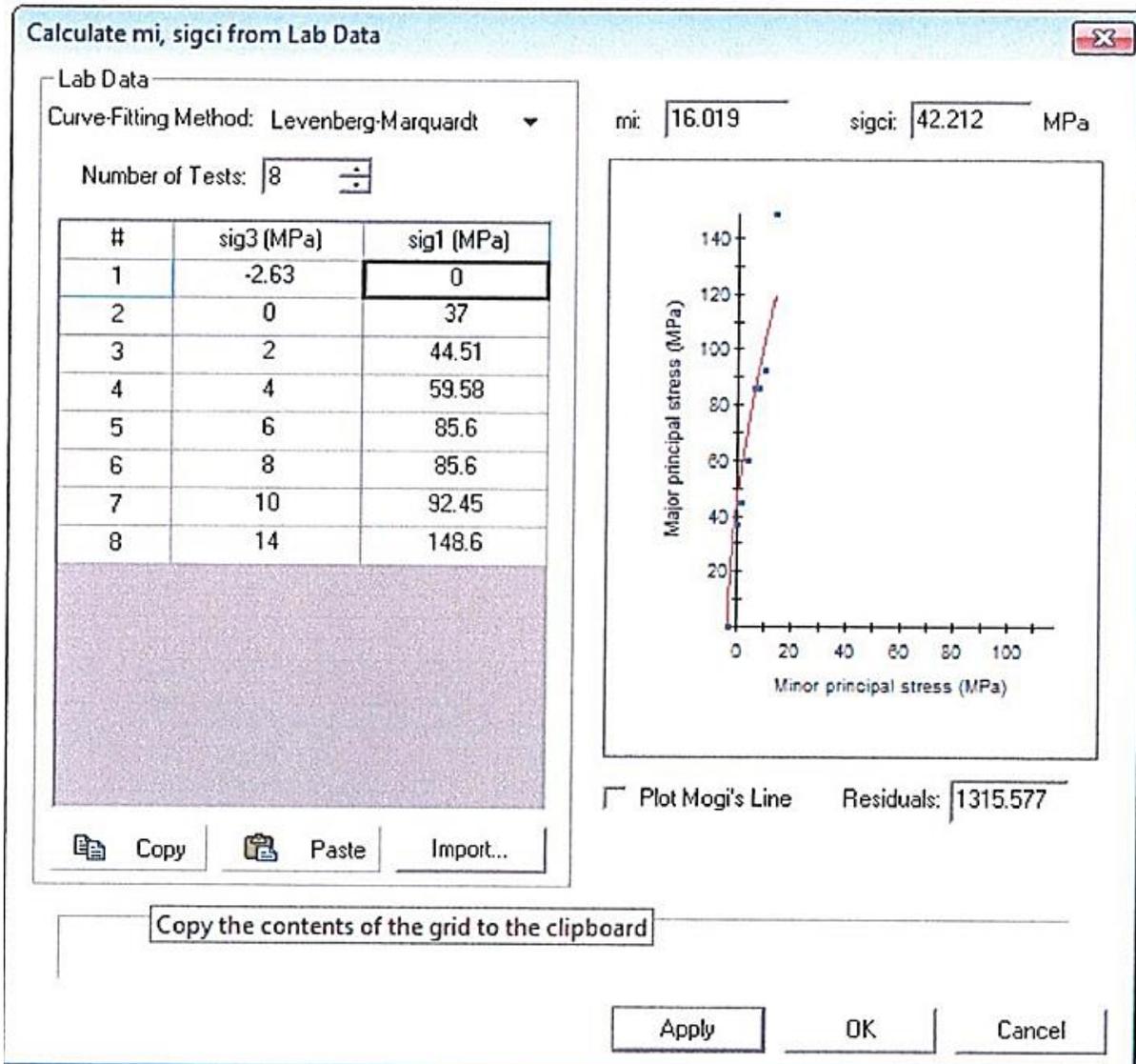
Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	V. INDEPENDIENTE	➤ condiciones naturales del yacimiento ➤ caracterización geomecánica de la masa rocosa ➤ propiedades de comportamiento del terreno ➤ clasificación geomecánica de la masa rocosa	Tipo: Aplicada Nivel: Descriptivo - Explicativo Método: Científico - Deductivo Diseño: Experimental de tipo cuasi experimental Población: Mina Azulcocha Muestra: Macizo rocoso Mina Azulcocha
¿Cómo la evaluación geomecánica influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?	Realizar la evaluación geomecánica para proponer el método de minado en la mina Azulcocha 2022.	La evaluación geomecánica influye significativamente en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.	Evaluación geomecánica		
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	V. DEPENDIENTE	Método de minado ➤ Selección del método de minado ➤ Parámetros estimados del método de minado	
¿De qué manera la evaluación de las condiciones naturales del yacimiento o ambiente geomecánico influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?	Conocer de qué manera la evaluación de las condiciones naturales del yacimiento o ambiente geomecánico influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.	La evaluación de las condiciones naturales del yacimiento o ambiente geomecánico influye de manera positiva en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.			
¿Cómo la caracterización geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?	Establecer como la caracterización geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.	La caracterización geomecánica de la masa rocosa influye significativamente en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.			
¿En qué medida la determinación de las propiedades de comportamiento del terreno influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?	Determinar en qué medida la determinación de las propiedades de comportamiento del terreno influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.	La determinación de las propiedades de comportamiento del terreno influye en gran medida en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.			
¿Cómo la clasificación geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022?	Evaluar como la clasificación geomecánica de la masa rocosa influye en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.	La clasificación geomecánica de la masa rocosa influye positivamente en la propuesta del método de minado en la mina Azulcocha 2022.			

Anexo 2: Analisis y resumen de resultados

ANALISIS DE ENAYOS DE COMPRESION TRIAXIAL

MINERAL



ARENISCA CUARZOSA

Calculate m_i , $sigci$ from Lab Data

Lab Data
Curve-Fitting Method: Levenberg-Marquardt

Number of Tests: 2

#	sig3 (MPa)	sig1 (MPa)
1	-7.42	0
2	0	135

mi: 18.139 sigci: 135.000 MPa

Plot Mogi's Line Residuals: 0.000

Copy Paste Import...

Apply OK Cancel

ARENISCA FINA

Calculate m_i , $sigci$ from Lab Data

Lab Data
Curve-Fitting Method: Levenberg-Marquardt

Number of Tests: 5

#	sig3 (MPa)	sig1 (MPa)
1	-7.44	0
2	0	121
3	3	149.29
4	8	167.16
5	12	188.17

mi: 15.262 sigci: 114.109 MPa

Plot Mogi's Line Residuals: 262.719

Copy Paste Import...

Apply OK Cancel

CALIZA

Calculate m_i , $sigci$ from Lab Data

Lab Data
Curve-Fitting Method: Levenberg-Marquardt
Number of Tests: 6

#	sig3 (MPa)	sig1 (MPa)
1	-7.18	0
2	0	91
3	4	186.97
4	8	153.94
5	10	198.84
6	12	173.53

mi: 15.511 sigci: 111.832 MPa

Plot Mogi's Line Residuals: 3299.801

Copy Paste Import...

Apply OK Cancel

CALIZA ARENOSA

Calculate m_i , $sigci$ from Lab Data

Lab Data
Curve-Fitting Method: Levenberg-Marquardt

Number of Tests: 4

#	sig3 (MPa)	sig1 (MPa)
1	-3.61	0
2	0	46.33
3	4	50.99
4	12	90.78

mi: 10.290 sigci: 37.583 MPa

Plot Mogi's Line Residuals: 132.571

Copy Paste Import...

Apply OK Cancel

Anexo 3: Ensayos de mecánica de rocas

PROPIEDADES ELASTICAS

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA		HOJA:
CLIENTE: AZULCOCHA MINING S.A.		HECHO: I.P.
SONDEO:		REVISADO: I.P.
COORDENADA:		FECHA: OCT. 2011

Perforación	Profundidad	Nivel	Muestra	Módulo de Elasticidad GPa	Coefficiente de Poisson	Resistencia Última MPa
DDHM 10 002	1.85 – 2.00			10.70	0.16	135.53
DDHM 10 005	58.65 – 58.82			8.78	0.16	93.68
DDHM 10 009	52.02 – 52.25			5.94	0.28	36.26
DDHM 10 010	57.05 – 57.30			14.38	0.35	131.09
DDHM 10 013	72.55 – 72.85			7.17	0.25	120.94
DDHM 10 017	12.90 – 13.20			5.29	0.11	152.21
		Nv - 40	M - 1	2.50	0.40	36.98
		Nv - 40	M - 2	1.66	0.13	22.26

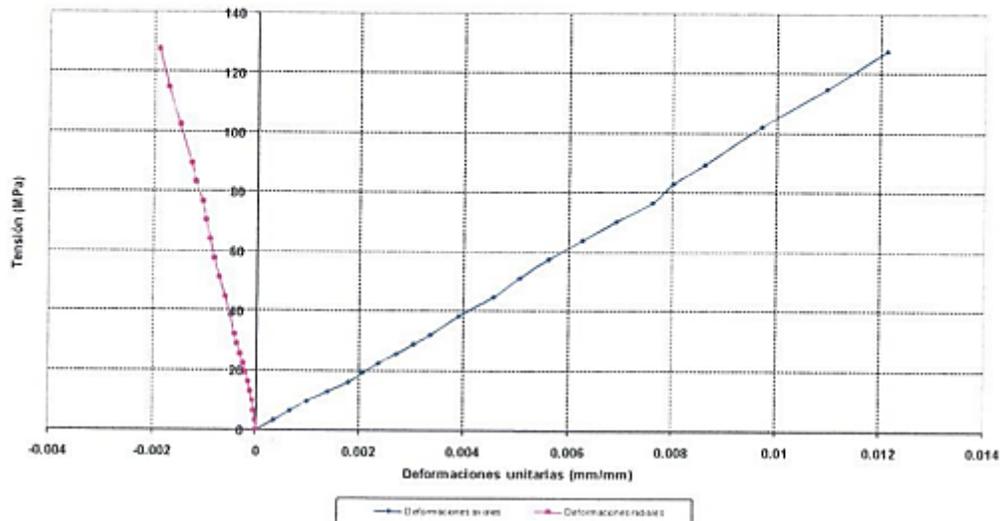
Perforación	DDHM 10 002
Profundidad	1.85 - 2.00

Carga	42400	kg
Diámetro	6.25	cm
Longitud	72.56	cm
	30.6796875	

Esfuerzo	1382.0219	Kg/cm ²
Esfuerzo	135.5293596	MPa
0.1	138.20219	
0.5	691.0109498	

1 kg/cm ²	
Poisson	0.16
E= 10.7	GPa

Ensayo de Propiedades Elásticas
DDHM 10 002 Prof. 1.85 - 2.00

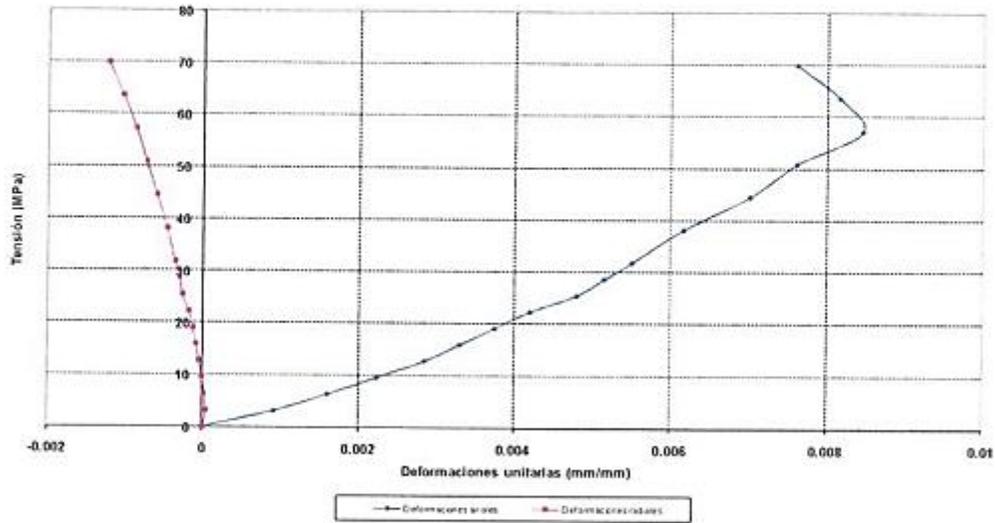


Perforación	DDHM 10 003
Profundidad	58.65 - 58.82

Carga	29400	kg
Diametro	6.26	cm
Longitud	11.31	cm
	30.77794104	

Esfuerzo	955 22959	Kg/cm ²		
Esfuerzo	93 67554497	MPa	1 kg/cm ²	
0.1	95 522959		Poisson	0.16
0.5	477 614795		E= 8.75	GPa

**Ensayo de Propiedades Elásticas
DDHM 10 005 Prof. 58.65 - 58.82**

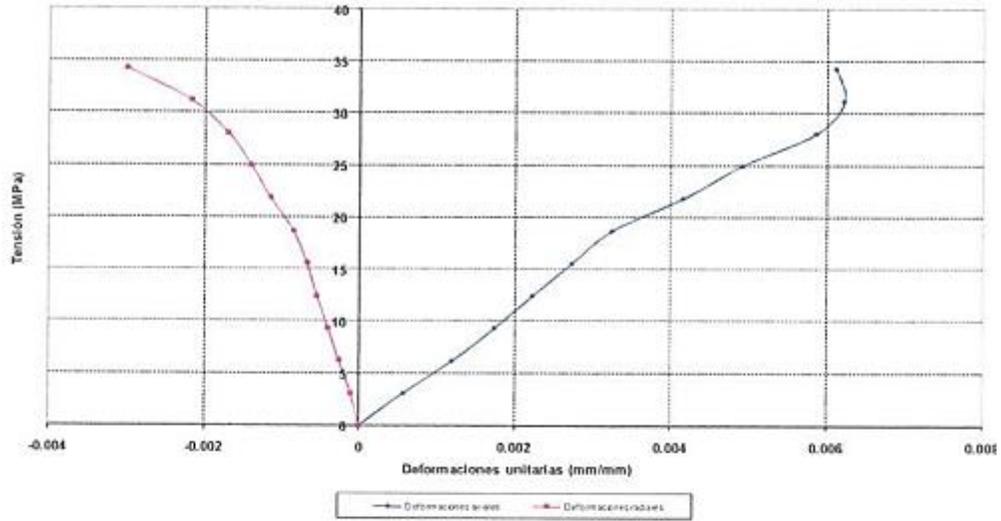


Perforación	DDHM 10 009
Profundidad	52.02 - 52.25

Carga	11600	kg
Diametro	6.32	cm
Longitud	12.94	cm
	31.37076056	

Esfuerzo	369 7710749	Kg/cm ²		
Esfuerzo	36 26197023	MPa	1 kg/cm ²	
0.1	36 97710749		Poisson	0.28
0.5	184 8855374		E= 5.94	GPa

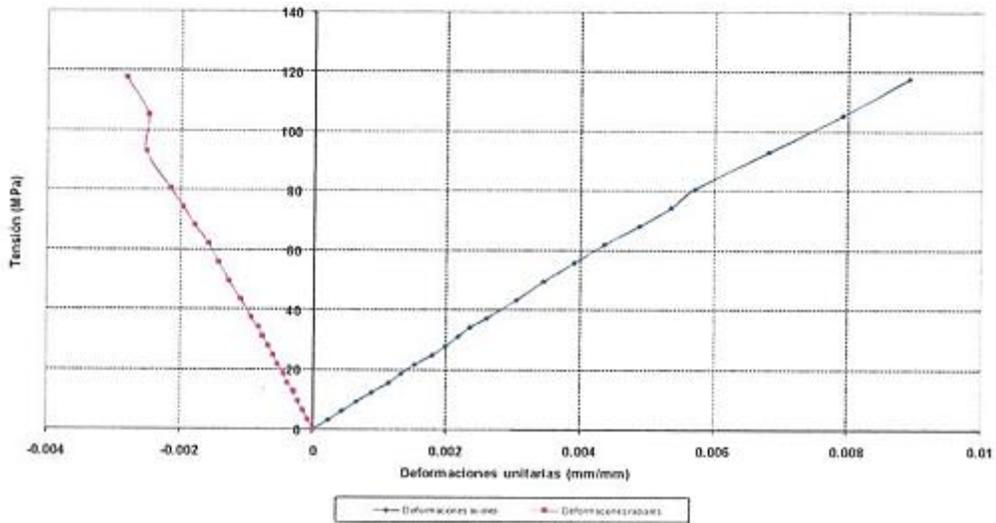
Ensayo de Propiedades Elásticas
DDHM10 009 Prof. 52.02 - 52.25



Perforación	DDHM 10 010
Profundidad	57.05 - 57.30

Carga	42200	kg	Esfuerzo	1336.727979	Kg/cm ²	1 kg/cm ²	
Diametro	6.34	cm	Esfuerzo	131.087566	MPa	Poisson	0.1
Longitud	13.10	cm		0.5	668.363884	E=	14.38 GPa
		31.56962424					

Ensayo de Propiedades Elásticas
DDHM 10 010 Prof. 57.05 - 57.30

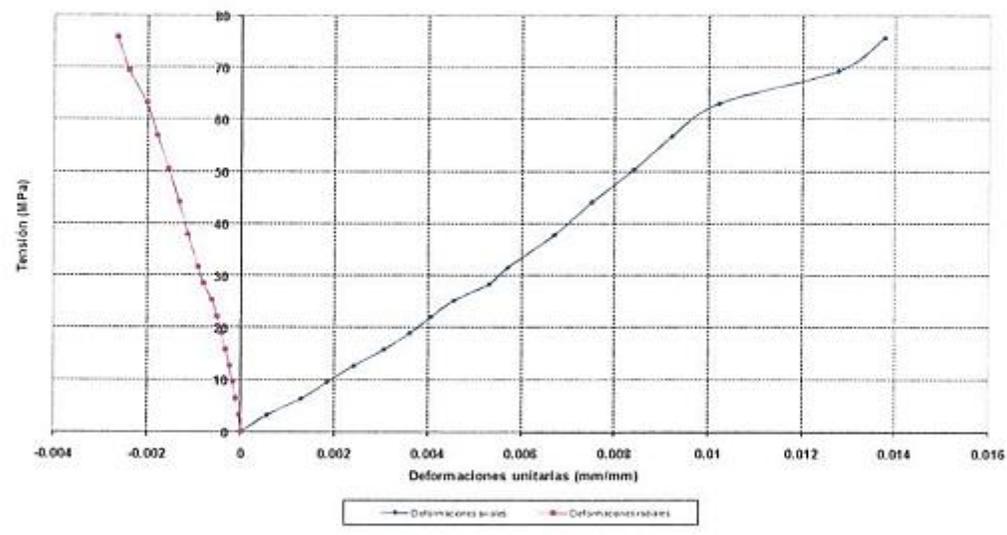


Perforación	DDHM 10 013
Profundidad	72.55 - 72.85

Carga	38200	kg
Diametro	6.28	cm
Longitud	12.59	cm
	30.97491936	

Esfuerzo	1235.255834	Kg/cm ²		
Esfuerzo	120.9404686	MPa	1 kg/cm ²	
0.1	123.3255834		Poisson	0.25
0.5	616.6279169		E= 7.17	GPa

Ensayo de Propiedades Elásticas
DDHM10 013 Prof. 72.55 - 72.85



Perforación	DDHM 10 017
Profundidad	12.90 - 13.20

Carga	49000	kg
Diametro	6.34	cm
Longitud	12.84	cm
	31.56962424	

Esfuerzo	1552.124904	Kg/cm ²		
Esfuerzo	152.2106609	MPa	1 kg/cm ²	
0.1	155.2124904		Poisson	0.11
0.5	776.0624521		E= 5.29	GPa

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL - AXIALES

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHIA

CLIENTE: AZULCOCHIA MINING S.A.

SONDEO:

COORDENADA:

HUJA:

HECHO: I.P.

REVISADO: I.P.

FECHA: OCT. 2011

Sondaje	Profundidad (m)	Muestra	Espesor D (mm)	Ancho W (mm)	Carga P (KN)	De (mm)	Is (50) (MPa)	Observaciones
DDHM 10 001	2.45 - 2.55	A	32.9	60.2	19.00	50.22	7.55	
		B	34	60.2	13.00	51.05	5.04	
DDHM 10 009	118.55 - 118.70	A	25.2	63.5	9.00	45.14	4.22	
		B	24	63.5	7.00	44.05	3.41	
DDHM 10 013	72.55 - 72.85	A	18.1	62.5	8.00	37.95	4.91	
DDHM 10 013	70.45 - 70.65	A	27.7	63.1	10.00	47.17	4.38	
		B	24.4	63.1	11.00	44.28	5.31	
		C	24	63.1	9.00	43.91	4.40	
DDHM 10 001	55.40 - 55.55	A	30.4	60.5	11.00	48.39	4.63	
		B	30.2	60.5	6.00	48.23	2.54	
		C	32.5	60.5	9.00	50.04	3.60	
DDHM 10 001	56.45 - 56.60	A	34.5	62	2.90	52.19	1.09	
		B	33.6	62	3.90	51.50	1.49	
DDHM 10 005	69.35 - 69.45	A	32.5	62.6	8.00	50.90	3.11	
		B	33.2	62.6	8.00	51.44	3.06	
		C	36.3	62.6	7.00	53.79	2.50	
DDHM 10 006	33.55 - 33.75	A	25	62.7	8.00	44.67	3.81	
		B	26.9	62.7	9.00	46.34	4.05	
DDHM 10 014	71.00 - 71.20	A	30.6	63.3	10.00	49.66	4.04	
		B	30.1	63.3	11.00	49.25	4.50	
		C	28.4	63.3	12.00	47.84	5.14	
NV-40 M-2		A	29.8	42.7	1.40	40.25	0.78	
		B	30	42.7	1.20	40.39	0.67	
		C	29.2	42.7	2.30	39.84	1.31	
NV-40 M-3		A	29.9	42.7	1.60	40.32	0.89	
		B	29.6	42.7	1.70	40.12	0.96	
NV-40 M-4		A	29.5	42.7	3.20	40.05	1.81	
		B	29.3	42.7	4.40	39.91	2.50	

$$D_e = \sqrt{\frac{4WD}{\pi}}$$

$$I_{s(50)} = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \left(\frac{P}{D_e^2}\right)$$

$$\sigma_c = f I_{s(50)}$$

f = Factor de correlación

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA	HOJA:
CLIENTE: AZULCOCHA MINING S.A.	HECHO: I.P.
SONDEO:	REVISADO: I.P.
COORDENADA:	FECHA: OCT. 2011

Sondaje	Profundidad	Probeta	Dist. Entre Conos	Ancho	Carga	De	Is (50)	Observaciones	
			D	W	P				
			(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	(MPa)		
DDHM 10 004	40.60 - 40.85	A	29.6	32.8	0.4	35.16	0.28		
		B	29.6	32.8	0.5	35.16	0.35		
		C	29.6	32.8	0.3	35.16	0.21		
DDHM 10 001	23.35 - 23.49	A	29.4	33.25	4.5	35.28	3.09		
		B	29.4	33.25	4.2	35.28	2.88		
DDHM 10 001	26.50 - 26.62	A	29.3	33.5	3.5	35.35	2.40		
		B	29.3	33.5	No salio	35.35	-		
DDHM 10 001	36.10 - 36.33	A	29	33.6	2.3	35.22	1.58		
		B	29	33.6	1.4	35.22	0.96		
		C	29	33.6	3.7	35.22	2.55		
DDHM 10 002	17.05 - 17.25	A	29.1	33.4	4.8	35.18	3.31		
		B	29.1	33.4	6	35.18	4.14		
		C	29.1	33.4	7	35.18	4.83		
DDHM 10 002	33.05 - 33.27	A	30.1	33.3	4.8	35.72	3.23		
		B	30.1	33.3	3.7	35.72	2.49		
		C	30.1	33.3	3.2	35.72	2.16		
DDHM 10 003	13.00 - 13.25	A	30.6	34.8	2.2	36.82	1.41		
		B	30.6	34.8	1.8	36.82	1.16		
		C	30.6	34.8	2.2	36.82	1.41		
DDHM 10 003	26.35 - 26.55	A	29	33.95	3.5	35.41	2.39		
DDHM 10 004	14.20 - 14.45	A	28.2	33.3	6	34.58	4.25		
		B	28.2	33.3	4.8	34.58	3.40		
		C	28.2	33.3	6	34.58	4.25		

$$D_c = \sqrt{\frac{4WD}{\pi}}$$

$$I_{c(50)} = \left(\frac{D_c}{50}\right)^{0.45} \left(\frac{P}{D_c^2}\right)$$

$$\sigma_c = f_{c(50)}$$

f_c = Factor de correlación

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA HOJA:

CLIENTE: AZULCOCHA MINING S.A.

SONDEO:

COORDENADA:

HECHO: I.P.

REVISADO: I.P.

FECHA: OCT. 2011

Nº	Perforación	Tramo	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	L/D	Area (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	Resistencia a la Compresión Simple corregida (MPa)
8	DDHM 10 013	70.45 - 70.65	6.32	12.44	1.97	31.37	46800.00	1491.84	146.30	146.02
10	DDHM 10 017	12.90 - 13.20	6.32	12.70	2.01	31.37	26400.00	841.55	82.53	
11	DDHM 10 018	4.80 - 5.10	6.34	12.99	2.05	31.57	38000.00	1203.69	118.04	
15	DDHM 10 003	58.75 - 59.10	6.32	12.91	2.04	31.37	28400.00	905.30	88.78	
16	DDHM 10 003	66.70 - 66.88	6.32	12.94	2.05	31.37	24600.00	784.17	76.90	
19	DDHM 10 005	69.75 - 69.95	6.24	10.92	1.75	30.58	13000.00	425.09	41.69	40.98
22	DDHM 10 006	33.55 - 33.75	6.26	12.53	2.00	30.78	34600.00	1124.18	110.24	
23	DDHM 10 009	53.90 - 54.08	6.34	12.52	1.97	31.57	11800.00	373.78	36.66	36.60
26	DDHM 10 010	89.05 - 89.25	6.34	12.44	1.96	31.57	30400.00	962.95	94.43	94.22
30	DDHM 10 005	32.75 - 32.95	6.23	12.56	2.02	30.48	14400.00	472.38	46.33	
41	NV-40 M-1		4.27	8.64	2.02	14.32	3800.00	265.36	26.02	
42	NV-40 M-2		4.27	8.93	2.09	14.32	4700.00	328.21	32.19	
43	NV-40 M-3		5.50	10.75	1.95	23.76	3000.00	126.27	12.38	12.35
44	NV 00 M-4		4.27	9.10	2.13	14.32	5700.00	398.04	39.03	

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCH
 CLIENTE: AZULCOCHA MINING S.A.

HOJA:

HECHO: LP.

REVISADO: LP.

FECHA: OCT. 2011

SONDEO:

COORDENADA:

Nº	Perforación	Tramo	Probeta	Díametro cm	Longitud cm	L/D	Area cm ²	Carga kg	Sigma 1 kg/cm ²	Sigma 1 MPa	Sigma 1 MPa	Sigma 3 MPa
3	DDHM 10 006	6.35 - 6.62	A	6.27	12.30	1.96	30.88	35300.00	1140.03	111.80	111.54	8.00
			B	6.27	12.14	1.94	30.88	29800.00	965.14	94.65	94.28	3.00
7	DDHM 10 013	72.55 - 72.85	A	6.25	12.29	1.97	30.68	46800.00	1525.44	149.59	149.29	3.00
9	DDHM 10 013	77.70 - 77.90	A	6.28	12.65	2.01	30.97	52800.00	1704.60	167.16		8.00
11	DDHM 10 018	4.80 - 5.10	A	6.34	12.93	2.04	31.57	60800.00	1925.90	188.87		12.00
14	DDHM 10 003	57.73 - 57.88	A	6.33	12.95	2.05	31.47	60000.00	1906.57	186.97		4.00
15	DDHM 10 003	58.75 - 59.10	A	6.33	12.99	2.05	31.47	49400.00	1569.74	153.94		8.00
18	DDHM 10 005	68.65 - 68.80	A	6.22	11.24	1.81	30.39	62400.00	2053.59	201.39	198.84	10.00
20	DDHM 10 005	70.75 - 70.95	A	6.26	12.26	1.96	30.78	54600.00	1774.00	173.97	173.53	12.00
29	DDHM 010 005	31.05 - 31.20	A	6.22	13.01	2.09	30.39	15800.00	519.98	50.99		4.00
31	DDHM 010 005	35.45 - 35.65	A	6.25	12.90	2.06	30.68	28400.00	925.69	90.78		12.00
41	NF-40.M-1		A	4.27	8.92	2.09	14.32	6500.00	453.91	44.31		2.00
			B	4.27	9.07	2.12	14.32	8700.00	607.54	59.58		4.00
42	NF-40.M-2		A	4.27	9.10	2.13	14.32	12500.00	872.90	85.60		6.00
			B	4.27	8.86	2.07	14.32	12500.00	872.90	85.60		8.00
43	NF-40.M-3		A	4.27	9.04	2.12	14.32	13500.00	942.73	92.45		10.00
44	NF-40.M-4		A	4.27	9.08	2.13	14.32	15400.00	1075.41	105.46		12.00
			B	4.27	9.03	2.11	14.32	21700.00	1515.35	148.61		14.00

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA										
PROYECTO: ESTUDIO GEOMECANICO DEL METODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA						HOJA:				
CLIENTE: AZULCOCHA MINING S.A.						HECHO: I.P.				
SONDEO:						REVISADO: I.P.				
COORDENADA:						FECHA: OCT. 2011				
Nº	Perforación	Tramo	Probeta	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Area (cm2)	Carga (kg)	Sigma t kg/cm2	Sigma t (MPa)	
4	DDHM 10 009	114.70 - 114.85	A	6.35	2.36	31.67	2000.00	84.96	8.33	
5	DDHM 10 009	118.55 - 118.70	A	6.35	2.41	31.67	2400.00	99.84	9.79	
			B	6.35	2.45	31.67	1850.00	75.70	7.42	
10	DDHM 10 017	12.90 - 13.20	A	6.32	2.79	31.37	2100.00	75.82	7.44	
15	DDHM 10 003	58.75 - 59.10	A	6.33	2.13	31.47	1550.00	73.19	7.18	
			B	6.33	2.10	31.47	1500.00	71.84	7.04	
			C	6.33	2.68	31.47	1350.00	50.66	4.97	
20	DDHM 10 005	70.75 - 70.95	A	6.26	1.86	30.78	600.00	32.81	3.22	
25	DDHM 10 010	57.05 - 57.30	A	6.33	2.86	31.47	2350.00	82.64	8.10	
			B	6.33	2.93	31.47	2450.00	84.10	8.25	
			C	6.33	1.95	31.47	2150.00	110.89	10.87	
31	DDHM 10 005	35.45 - 35.65	A	6.24	2.77	30.58	1000.00	36.83	3.61	
42	NV-40 M-2		A	4.27	2.21	14.32	250.00	16.87	1.65	
			B	4.27	2.30	14.32	350.00	22.69	2.22	
44	NV-40 M-4		A	4.27	2.28	14.32	600.00	39.23	3.85	
			B	4.27	2.41	14.32	500.00	30.93	3.03	

ENSAYO DE PROPIEDADES FISICAS

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECANICO DEL METODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA

CLIENTE: AZULCOCHA MINING S.A.

SONDEO:

COORDENADA:

HOJA:

HECHO: LP.

REVISADO: LP.

FECHA: OCT. 2011

Nº	Perforación	Tramo	Muestra	Peso saturado gr	Peso suspendido gr	Peso seco gr	Volumen cm ³	Densidad Seca gr/cm ³	Densidad Saturada (gr/cm ³)	Fol Vucios	Povosidad Anarante %	Absorción %
2	DCHM 10 002	1.83 - 2.00	A	151.63	92.67	130.21	58.98	2.347	2.571	1.440	2.442	0.939
			B	86.80	53.86	83.91	33.94	2.337	0.990	2.622	1.036	
			C	64.07	39.26	63.43	24.81	2.537	0.620	2.499	0.977	
			Promedio									
3	DCHM 10 006	6.33 - 6.62	A	127.77	78.57	125.61	49.20	2.553	2.597	1.160	4.390	1.720
			B	64.81	39.87	63.42	24.91	2.343	2.599	1.390	3.373	2.192
						Promedio						
9	DCHM 10 013	77.70 - 77.90	A	132.93	83.36	130.71	50.37	2.593	2.639	2.220	4.407	1.698
			B	108.79	67.15	106.31	41.64	2.533	2.613	2.480	5.036	3.337
			C	100.74	62.56	98.89	38.18	2.590	2.639	1.850	4.843	1.671
			Promedio									
11	DCHM 10 018	4.00 - 5.10	A	160.61	109.05	176.16	70.73	2.491	2.554	4.450	6.292	2.326
			B	116.94	71.31	114.24	45.63	2.504	2.363	2.700	5.017	2.363
			C	83.13	50.52	81.08	32.61	2.496	2.349	2.050	6.266	2.328
			Promedio									
19	DCHM 10 003	69.75 - 69.93	A	123.36	79.30	125.18	46.26	2.706	2.714	0.180	0.827	0.304
			B	106.34	67.12	105.98	39.23	2.702	2.711	0.360	0.918	0.340
			C	94.69	39.67	94.41	35.03	2.696	2.704	0.280	0.890	0.297
			Promedio									
23	DCHM 10 009	53.90 - 54.08	A	93.22	37.20	91.48	36.02	2.540	2.368	1.740	4.837	1.902
			B	80.18	49.25	78.77	30.93	2.547	2.392	1.410	4.359	1.790
						Promedio						
27	DCHM 10 014	71.00 - 71.20	A	136.94	85.35	135.70	51.39	2.630	2.654	1.240	2.404	0.914
			B	119.19	74.16	118.10	45.03	2.623	2.647	1.090	2.421	0.923
			C	94.10	38.38	93.02	35.72	2.664	2.634	1.680	3.024	1.167
			Promedio									
34	DCHM 10 001	26.30 - 26.62	A	139.66	95.10	134.54	44.36	3.019	3.134	3.120	11.490	3.808
			B	171.99	115.97	164.97	56.02	2.945	3.070	7.020	12.331	4.255
			C	150.19	102.43	145.16	47.76	3.039	3.145	5.030	10.332	3.465
			Promedio									
36	DCHM 10 002	17.05 - 17.23	A	221.31	138.21	217.09	63.10	3.440	3.507	4.220	6.688	1.944
			B	200.51	142.94	194.76	57.37	3.383	3.483	3.750	9.908	2.932
						Promedio						

Nº	Porfocúide	Tramo	Muestra	Peso saturado	Peso suspendido	Peso seco	Volúmen	Densidad Seca	Densidad Saturada	Vol Vacíos	Porosidad Absornte	Absorción
			C	242.32	171.69	218.83	68.63	3.480	3.531	3.470	3.026	1.453
						Pronecho		3.435	3.507		2.344	2.116
40	DORM 10 604	14.20 - 14.45	A	328.62	248.97	325.44	79.65	4.036	4.126	3.180	3.992	0.977
			B	326.62	246.80	323.50	79.82	4.053	4.092	3.120	3.909	0.964
			C	327.16	247.61	323.74	80.15	4.059	4.082	3.420	4.267	1.056
						Pronecho		4.059	4.100		4.056	0.999
43	N3-40 M-3		A	180.77	134.00	174.31	36.77	3.074	3.184	6.260	11.027	3.587
			B	212.10	146.84	205.88	65.26	3.133	3.250	6.220	9.531	3.021
			C	141.31	97.32	137.48	44.19	3.111	3.202	4.030	9.120	2.931
						Pronecho		3.113	3.212		9.893	3.180

Anexo 4: Clasificación geomecánica del macizo rocoso

CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS DEL MACIZO ROCOSO									
PROYECTO: ESTUDIO GEOMECANICO Y METODO DE MINADO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA			REGISTRADO: JCL/00L						
MINA: AZULCOCHA MINING S.A.			UNIDAD: UNIDAD MINERA AZULCOCHA			REVISADO: ALV			
META: Nivel 40			LABOR: CALIZA			FECHA: SET 2011			
LITOLOGIA: CALIZA			CALIZA			HOJA: 1/9			
ESTACION GEOMECANICA			EG-1			MINERAL			
DOMINIO ESTRUCTURAL			DE-7			EG-3			
NIVEL			Nv-40			DE-6			
LABOR			Nv-40			Nv-40			
CLASIFICACION RMR (ROCK MASS RATING)-BIERMANN, 1989									
PARAMETROS									
1	Resistencia a la compresión Uniaxial (Mpa)	90	9	9	90	9	9	9	5
2	RQD (%)	60	14	14	56	11	11	11	10
3	Espesamiento (mm) J _s	600	7	7	220	8	8	8	6
4	Caudales Distorsiónes Rendimiento Mecanización	Permeabilidad (m)	2	2	3 - 10 m	2	2	2	2
		Separación (mm)	5	5	< 0.1 mm	5	5	5	6
		Rugosidad	3	3	Lig. Rugosa	3	3	3	6
		Diámetro	4	4	Duro < 5 mm	4	4	4	2
5	Agua subterránea Q _u	Mojado	7	7	Lig. meteorizada	5	5	3	
6	Agua subterránea Q _v	Mojado	5	5	Mojado	7	7	7	
RMR Total		Muy favorable		56	Muy favorable		54	46	
Diferencia del macizo respecto a la correlación con Q		Muy favorable		9	Muy favorable		54	46	
CORRELACION CON Q		Muy favorable		3.75	Muy favorable		3.02	1.28	
Diferencia del macizo respecto a la correlación con Q		Muy favorable		2.47	Muy favorable		1.6	0.6	
CLASIFICACION Q (ROCK TUNNELING QUALITY INDEX) - BARTON, 1974									
Sistema Q									
1	Penetración de la calidad de roca Q ₀	60	60	60	56	56	56	50	50
2	Número de juntas	4	4	4	Des lras. de juntas	6	6	Una lras. de juntas	2
3	Número de rugosidad de juntas J _r	1.5	1.5	1.5	Rugosa o irregular, planas	2	2	Rugosa o irregular, planas	3.5
4	Número de alteración de juntas J _a	2	2	2	Planas lgs. abn.	2	2	Recurvos, brotes	3
5	Factor de reducción por agua en juntas J _w	0.05	0.05	0.05	Flujo con lavado ocasional de rel.	0.05	0.05	Flujo con lavado ocasional de rel.	0.05
6	Factor de reducción de esfuerzo R _r	1	1	1	Estruendo regular	1	1	Estruendo elevado	2
Q ₀ RQD=J _r J _a J _w R _r		Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		12.9	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		7.8	Estruendo elevado	
CORRELACION CON RMR		Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		63.3	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		4.8	Estruendo elevado	
Diferencia del macizo respecto a la correlación con RMR		Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		64.0	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		57.7	Estruendo elevado	
INDICE GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX), HOEK - KAISER, 2004									
Sistema GSI									
1	Calidad de las discontinuidades	15	15	15	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada	15	15	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada	15
2	Tamaño del macizo a escala de bloques de discontinuidades	15	15	15	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada	15	15	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada	15
CORRELACION CON RMR		Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		63.3	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		57.7	Estruendo elevado	
Diferencia del macizo respecto a la correlación con RMR		Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		64.0	Estruendo regular, plana lgs. meteorizada		59.2	Estruendo elevado	
OBSERVACIONES									
Espacido de frentes 20 cm									
Espacido de frentes 15 cm									
Espacido de frentes 70 cm									

CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS DEL MACIZO ROCOSO

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECANICO Y METODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA MINA: AZULCOCHA MINING S.A. NIVEL: Nivel -40 VETA:		REGISTRO: JLUDEL REVISADO: ALV FECHA: SET 2011 HOJA: 2/9			
LITOLOGIA: ESTACION GEOMECANICA DOMINIO ESTRUCTURAL NIVEL LABOR		UNIDAD: UNIDAD MINERA AZULCOCHA LABOR: MINERAL ARENOSA GRUESA MASIVA EG-8 DE-6 Nv-40			
CLASIFICACION RMR (ROCK MASS RATING)-BIEMAWISQ1888					
PARAMETROS					
1	Resistencia a la compresión Uniaxial (MPa)	4	13	50	
2	ROD (N)	10	37	50	5
3	Esqueletado (mm) J _s	12	220	700	10
4	Perforación (h) Separación (mm) Rugosidad Refino Meteorización	1	3 - 10 m < 0.1 mm Lig. Rugosa Barrido < 5 mm	2 5 3 2	2 5 3 2
5	Agua subterránea D _w	4	Lig. meteorizada	5	15
RMR ₉₅ (suma: 12+3+12+1)		45	64	10	4
Ajuste por Orientación de Discontinuidades J _o		0	0	0	46
RMR Total		45	64	0	46
CLASES del macizo rocoso		1,10	8,84	1,30	1,30
CORRELACION		0,46	8,1	0,6	0,6
Base de datos: Ouzf(1981),L(67) Base de datos: SG(75)					
CLASIFICACION Q (ROCK TUNNELLING QUALITY INDEX) - BARTON, 1974					
1	Designación de la calidad de roca ROD	50	77	50	50
2	Número de sistemas de juntas J _n	2	Don't kn. de juntas	4	2
3	Número de rugosidad de juntas J _r	1,5	Rugosas e irregulares, planas	1,5	1,5
4	Número de alteración de juntas J _a	3	Paredes lg. absc.	2	3
5	Factor de reducción por agua en J _w	0,65	Enchufe en las	1	0,65
6	Factor de reducción de esqueleto R _f	2	Estructura masiva	1	2
De ROD a J _n a J _r a J _a a J _w a R _f		13,5	Estructura masiva	14,5	12,5
CORRELACION CON RMR		4,1	14,5	4,1	4,1
Base de datos: RMR-Q(1974) Base de datos: RMR-Q(1974)		56,8	68,1	56,8	56,8
CORRELACION CON RMR		59,2	87,4	59,2	59,2
INDICE OSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX) HOEK - KAISER, 2004					
Condiciones de las discontinuidades				60 - 80	55 - 80
Estado del bloque o espesamiento de discontinuidades				Espesado de fracturas 22 cm	Espesado de fracturas 70 cm
OBSERVACIONES				Ligera roca, plan. lg. meteorizada Espesado de fracturas 70 cm	Ligera roca, plan. lg. meteorizada Espesado de fracturas 70 cm

CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS DEL MACIZO ROCOSO

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECANICO Y METODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA MINA: AZULCOCHA MINING S.A. UNIDAD: UNIDAD MINERA AZULCOCHA NIVEL: Nivel 40 LABOR:		REGISTRADO: REVISADO: FECHA: HOJA:			
LITOLOGIA: ESTACION GEOMECANICA DOMINIO ESTRUCTURAL NIVEL LABOR		ARENISCA GRUESA MASIVA EG-8 DE-1 Nv-40			
CLASIFICACION RMR (ROCK MASS RATING)-BIENAWISQ, 1989					
PARAMETROS					
1	Resistencia a la compresión Uniaxial (MPa)	VALUACION	VALUACION		
2	ROD (%)	13	13		
3	Esqueletado (mm) -Ja	20	16		
4	Condición de discontinuidad	3 - 10 m	2		
		< 0.1 mm	5		
		Lig. Rugosa	3		
		Blanco < 5 mm	2		
5	Agua subterránea Qw	7	10		
RMR99 (Suma: 143-144-5)					
Ajuste por Orientación de Discontinuidades -Jo					
RMR Total					
Clase del macizo rocoso					
CORRELACION					
Bienawisq: $RMR_{99} - 100 \leq RMR_{99} - 100$					
Barton: $Q = 10^{(RMR_{99} - 5)/5}$					
CLASIFICACION Q (ROCK TUNNELLING QUALITY INDEX) - BARTON, 1974					
Sistema Q	1	Designación de la calidad de roca ROD	100	81	70
	2	Número de juntas de juntas -Jn	0	0	0
	3	Número de juntas de juntas -Jr	1.5	1.5	1.5
	4	Número de alteración de juntas -Ja	2	2	3
	5	Factor de reducción por agua en juntas -SRF	1	1	1
	6	Factor de reducción de entuerto -SRF	1	1	1
Q = ROD/Jn/Jr/Ja/SRF					
Q = ROD/Jn/Jr/Ja/SRF					
CORRELACION CON RMR					
Bienawisq: $RMR_{99} - 44 \leq RMR_{99} - 44$					
Barton: $RMR_{99} = 15.99Q + 50$					
INDICE OSI (OLOGICAL STRENGTH INDEX), HOEK + KAISER, 2004					
OSI	Condición de las discontinuidades	30 - 75	60-60	60-60	
	Tamaño del macizo a espesamiento de discontinuidades	Espesado de fracturas 70 cm	Espesado de fracturas 22 cm	Espesado de fracturas 18 cm	
OBSERVACIONES					

CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS DEL MACIZO ROCOSO

PROYECTO: ESTUDIO GEOMECÁNICO Y MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA REGISTRO: JOL/DCL REVISADO: ALV FECHA: SET 2011						
MMMA: AZULCOCHA MINING S.A. UNIDAD: UNIDAD MINERA AZULCOCHA NIVEL: Nivel -40 LABOR:						
VETA:						
LITOLÓGIA: AREMISCA GRUESA MASIVA AREMISCA GRUESA MASIVA ESTACION GEOMECÁNICA: EG-10 EG-11 EG-12 DOMINIO ESTRUCTURAL: DE-1 DE-2 DE-3 NIVEL: Nv-40 Nv-40 Nv-40 LABOR:						
CLASIFICACION RMR (ROCK MASS RATING)-BIEMANSHIL, 1959						
PARAMETROS						
1	Resistencia a la compresión Uniaxial (MPa)	11	11	11	11	11
2	RQD (%)	81	16	16	16	13
3	Esqueletado (mm)	200	8	8	8	7
4	Perforación (m)	3 - 10 m	2	2	2	2
	Separación (mm)	< 0.1 mm	5	5	5	4
	Rugosidad	Lig. Rugosa	3	3	3	3
	Refuerzo	Ninguno	6	6	6	4
5	Mejoramiento	No mejorado	8	8	8	3
6	Agua subterránea	Ninguno	7	7	7	7
RMR (suma: 143+14+8) Ajuste por Orientación de discontinuidades -Jb RMR Total: 64		11	16	16	16	13
Clase del macizo rocoso CORRELACION con Q (Santilli: Q=exp(RMR-40)) (Santilli: Q=10^(RMR-50/5))		11	16	16	16	13
CLASIFICACION Q (ROCK TUNNELLING QUALITY INDEX) - BARTON, 1974		11	16	16	16	13
1 Desagregación de la calidad de roca RQD 2 Número de sistemas de juntas -Jb 3 Número de rugosidad de juntas -Jr 4 Número de alteración de juntas -Ja 5 Factor de reducción por agua en juntas -Wf 6 Factor de reducción de esfuerzo -SRF		81	9	9	9	65
Q=ROD*Jr*Ja*Wf*SRF CORRELACIONES CON RMR (Santilli: RMR=20+Q/4) (Santilli: RMR=13.25*Q/50)		81	9	9	9	65
INDICE OSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX), HOEK - KAISER, 2004		81	9	9	9	65
Corrección de las discontinuidades Tamaño del bloque ó espaciamiento de discontinuidades		81	9	9	9	65
10	OBSERVACIONES	81 - 66	66 - 66	66 - 66	66 - 66	66 - 66
Observaciones:		81 - 66	66 - 66	66 - 66	66 - 66	66 - 66

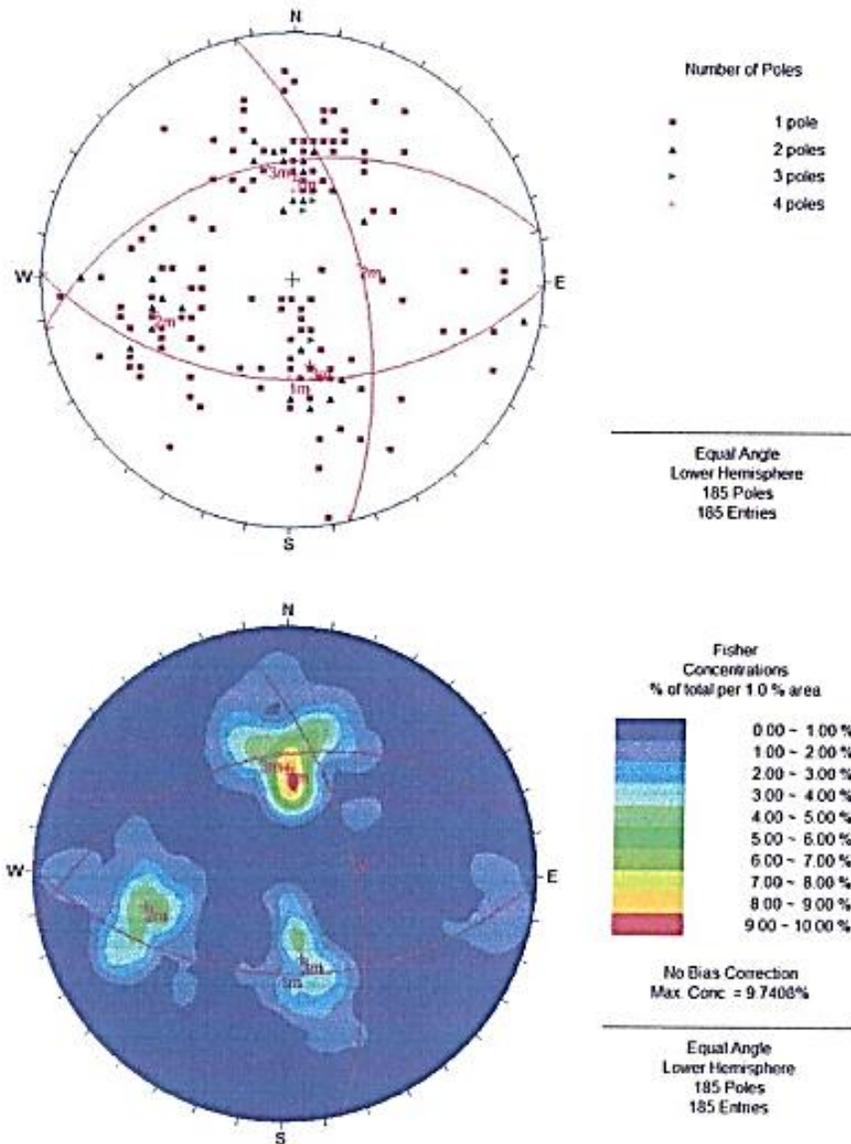
CLASIFICACIONES GEOMECAICAS DEL MACIZO ROCOSO

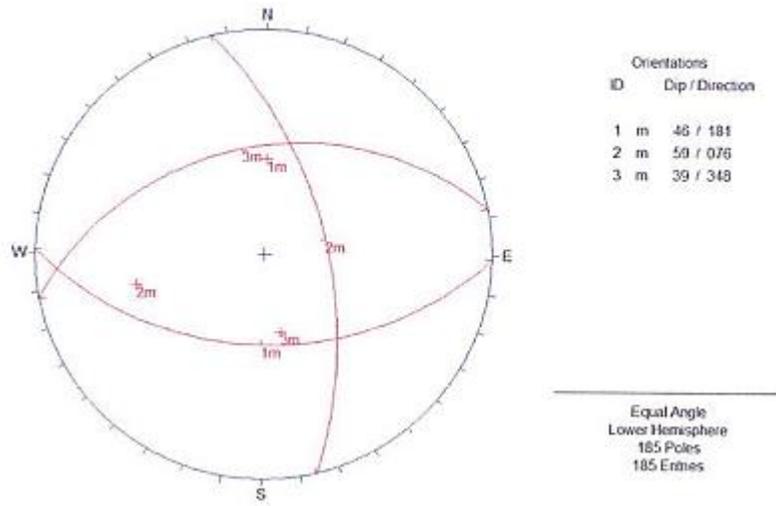
PROYECTO: ESTUDIO GEOMECÁNICO Y MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA		REGISTRADO: JLU/DCL						
MINA: AZULCOCHA MINING S.A.		REVISADO: ALV						
UNIDAD: UNIDAD MINERA AZULCOCHA		FECHA: SET 2011						
NIVEL: Nivel -40		HOJA: 6/9						
META:								
LITOLOGÍA: ARENISCA GRUESA MASIVA		ARENISCA						
ESTACION GEOMECÁNICA: EG-16		EG-16						
DOMINIO ESTRUCTURAL: DE-1		DE-2						
NIVEL: Nv 0		Nv 0						
LABOR:								
CLASIFICACION RMR (ROCK MASS RATING)-BIENAMISKI, 1988								
PARAMETROS								
1	Resistencia a la compresión Uniaxial (MPa)	VALUACION	CARACTERÍSTICAS	VALUACION	CARACTERÍSTICAS	VALUACION		
2	RQD (%)	13	175	10	120	11		
3	Esquejamiento (mm) -J _s	5	17	5	34	7		
4	Condición de separación (m) -R _s Rugosidad Reflejo Matorización	2	3 - 10 m	2	3 - 10 m	2		
		5	< 0.1 mm	5	< 0.1 mm	5		
		3	Lig. Rugosa	3	Lig. Rugosa	3		
		2	Blanco < 5 mm	2	Blanco < 5 mm	2		
5	Lig. matorizada	5	Lig. matorizada	5	Lig. matorizada	5		
5	Aguas subterráneas -G _w	10	Lig. Normal	10	Lig. Normal	10		
RMR (Suma: 175+4+5)		51	Muy favorable		51	52		
Ajuste por Orientación de discontinuidades -J _o		0	Muy favorable		0	0		
RMR Total		51	Muy favorable		51	52		
Clases del macizo rocoso			CORRELACION					
BENNETT (Criterios RMR-40/20)		2.25	BENNETT (Criterios RMR-40/20)		2.27	2.52		
BASTON (Criterios RMR-50/15)		1.22	BASTON (Criterios RMR-50/15)		1.3	1.4		
CLASIFICACION Q (ROCK TUNNELLING QUALITY INDEX) - BARTON, 1974								
1	Designación de la calidad de roca -RQD	10	10	10	34	38		
2	Numero de sistemas de juntas -J _n	8	Tres fac. de juntas	8	Don fac. de juntas + una sistema	8		
3	Numero de rugosidad de juntas -J _r	1.5	Rugosa e irregular, planosa	1.5	Rugosa e irregular, planosa	1.5		
4	Numero de alteración de juntas -J _a	2	Planosa lg. absc.	2	Planosa lg. absc.	2		
5	Factor de reducción por agua en terreno -W _r	1	Encarecimiento seco	1	Encarecimiento seco	1		
6	Factor de reducción de esfuerzo -R _r	1	Entalaje medio	1	Entalaje medio	1		
Q = RQD * J _n * J _r * J _a * W _r * R _r		0.8	Entalaje medio		4.3	4.9		
Q = RQD * J _n * J _r * J _a * W _r * R _r		0.8	Entalaje medio		4.3	4.9		
CORRELACION CON RMR		42.4	Entalaje medio		37.1	36.3		
BENNETT (Criterios RMR-40/20)		46.8	Entalaje medio		39.5	38.4		
BASTON (Criterios RMR-50/15)		46.8	Entalaje medio		39.5	38.4		
INDICE OSI (OLOGICAL STRIPTH INDEX), HOEK - KAISER, 2004								
OSI	Condición de las discontinuidades	45 - 48	Ligeros rasgos, absc. lg. matorizada		45-50	48-50		
OSI	Ferros en bloques a escala metro de discontinuidades	45 - 48	Espesores de fracturas 5 cm		45-50	48-50		
OBSERVACIONES								
Ligeros rasgos, absc. lg. matorizada			Ligeros rasgos, absc. lg. matorizada			Ligeros rasgos, absc. lg. matorizada		
Espesores de fracturas 5 cm			Espesores de fracturas 7 cm			Espesores de fracturas 5 cm		

Anexo 5: Analisis estructural

ANALISIS ESTRUCTURAL DE DISCONTINUIDADES

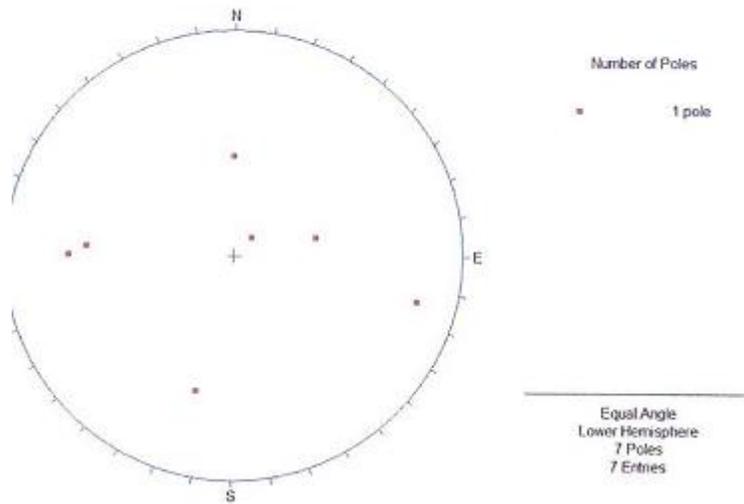
DOMINIO ESTRUCTURAL 1 Y 2 (ROCA ARENISCA)



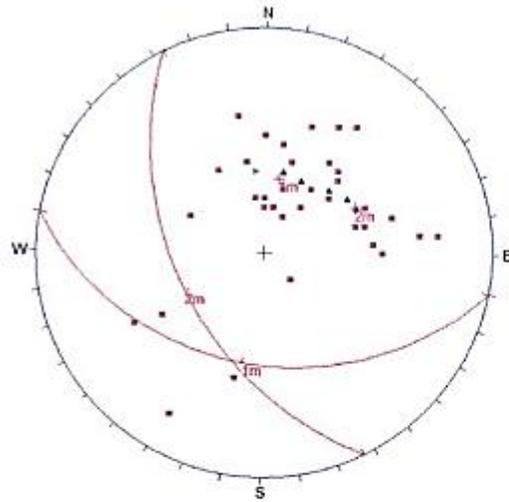


DOMINIO ESTRUCTURAL 5 (MINERAL)

La roca es predominantemente masiva, con discontinuidades muy aleatorias.



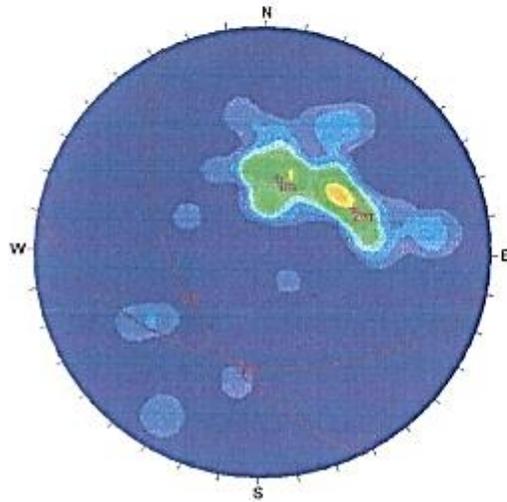
DOMINIO ESTRUCTURAL 6 Y 7 (CALIZA)



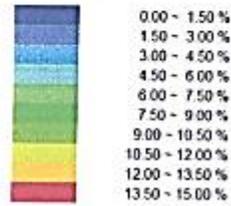
Number of Poles

- 1 pole
- ▲ 2 poles
- 3 poles

Equal Angle
Lower Hemisphere
48 Poles
48 Entries

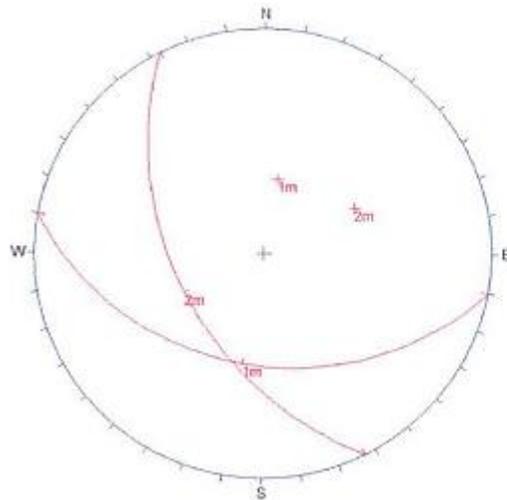


Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area



No Bias Correction
Max. Conc. = 12.9439%

Equal Angle
Lower Hemisphere
48 Poles
48 Entries



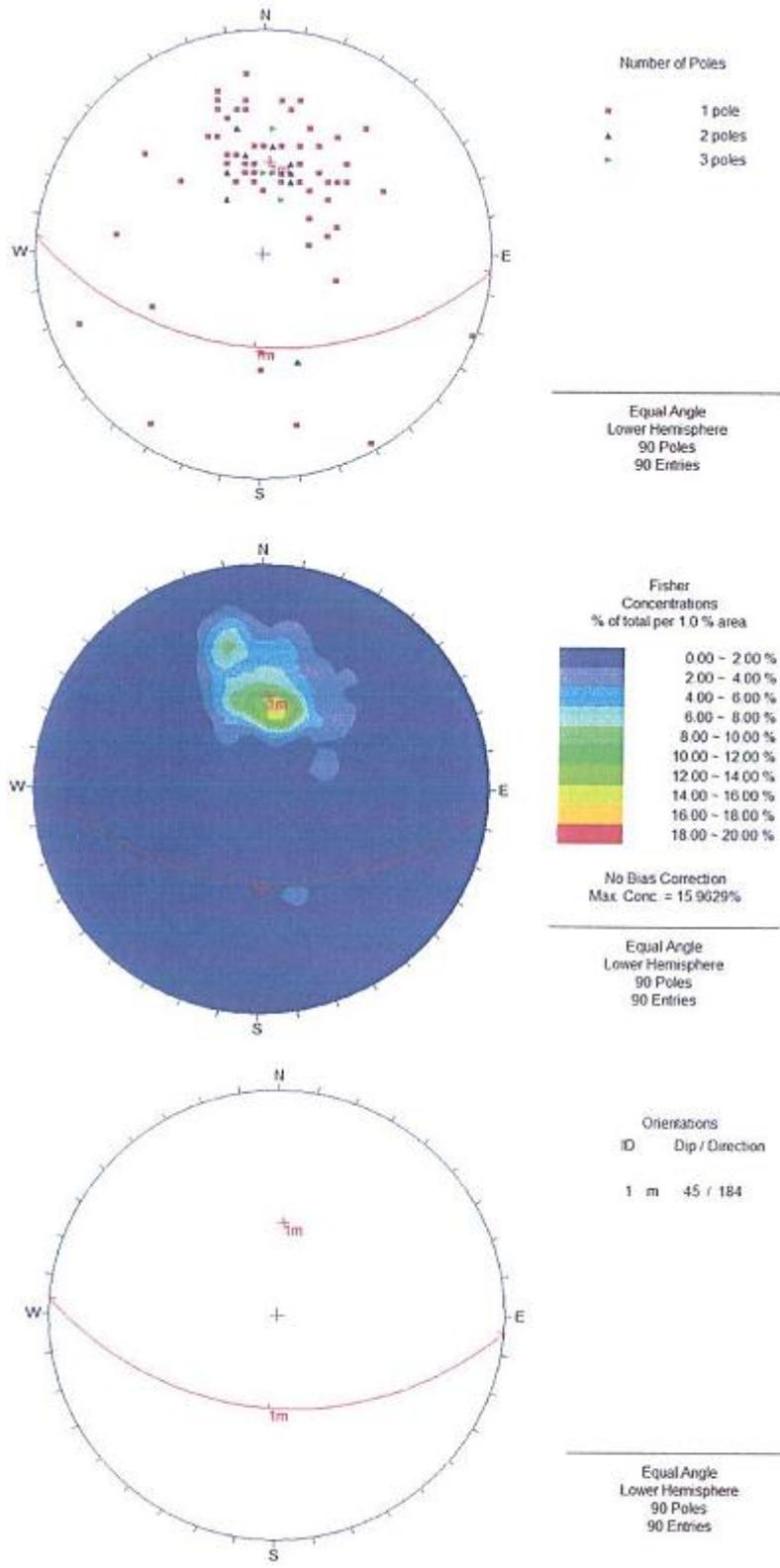
Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	37 / 190
2 m	48 / 243

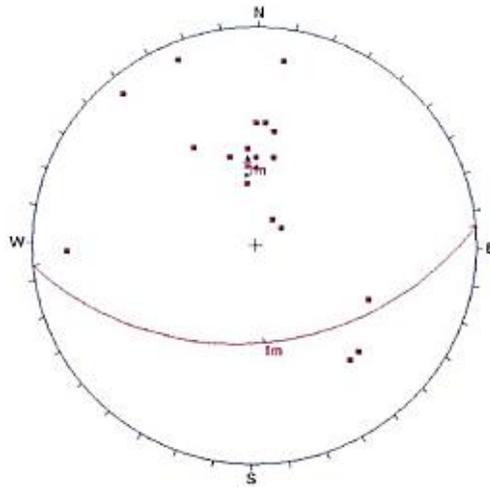
Equal Angle
Lower Hemisphere
48 Poles
48 Entries

ANALISIS ESTRUCTURAL DE FALLAS

DOMINIO ESTRUCTURAL 1 Y 2 (ROCA ARENISCA)



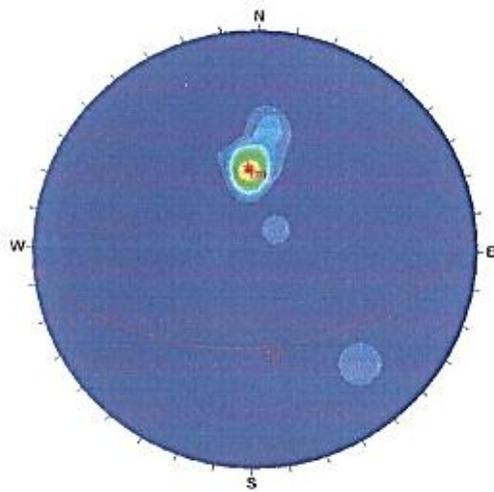
DOMINIO ESTRUCTURAL 5 (MINERAL)



Number of Poles

- 1 pole
- ▲ 2 poles
- ▷ 3 poles

Equal Angle
Lower Hemisphere
26 Poles
26 Entries

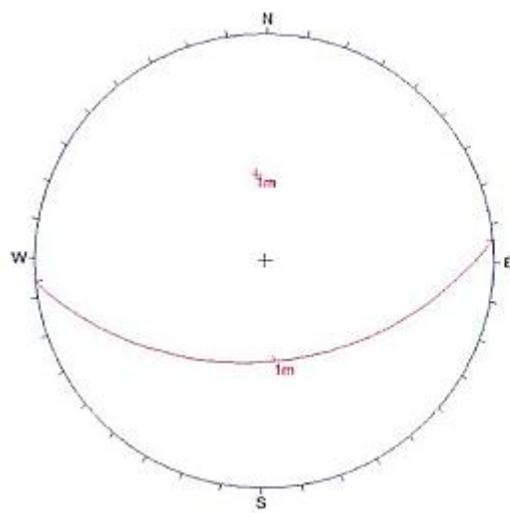


Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 - 4.00 %
4.00 - 8.00 %
8.00 - 12.00 %
12.00 - 16.00 %
16.00 - 20.00 %
20.00 - 24.00 %
24.00 - 28.00 %
28.00 - 32.00 %
32.00 - 36.00 %
36.00 - 40.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 38.9964%

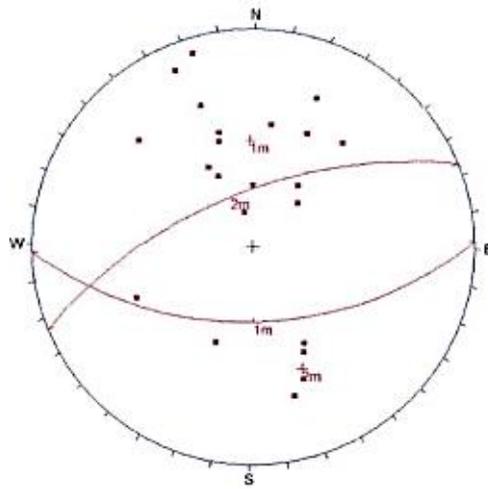
Equal Angle
Lower Hemisphere
26 Poles
26 Entries



Orientations
ID Dp / Direction
1 m 42 / 174

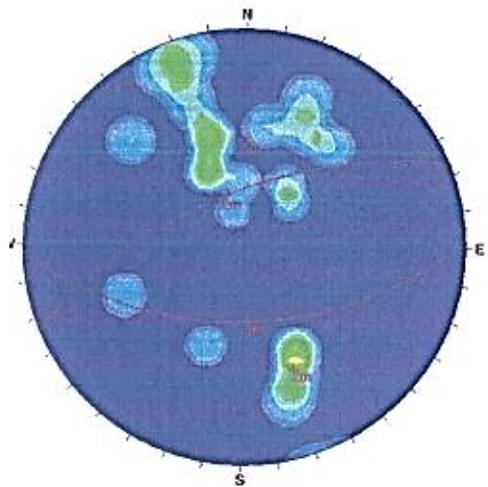
Equal Angle
Lower Hemisphere
26 Poles
26 Entries

DOMINIO ESTRUCTURAL 6 Y 7 (CALIZA)



Number of Poles
 • 1 pole

Equal Angle
 Lower Hemisphere
 22 Poles
 22 Entries

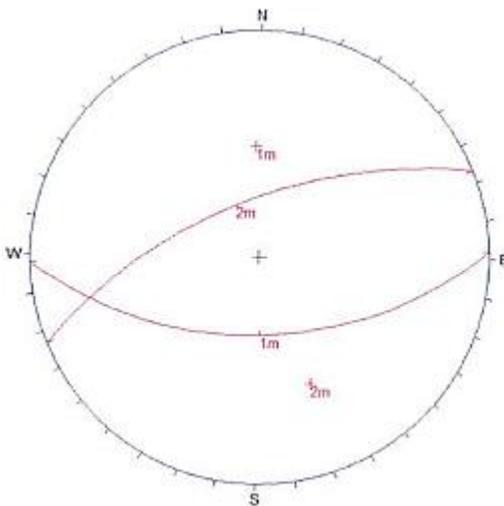


Fisher Concentrations
 % of total per 1.0 % area

0.00 - 1.50 %
1.50 - 3.00 %
3.00 - 4.50 %
4.50 - 6.00 %
6.00 - 7.50 %
7.50 - 9.00 %
9.00 - 10.50 %
10.50 - 12.00 %
12.00 - 13.50 %
13.50 - 15.00 %

No Bias Correction
 Max. Conc. = 11.7459%

Equal Angle
 Lower Hemisphere
 22 Poles
 22 Entries



Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	52 / 178
2 m	62 / 337

Equal Angle
 Lower Hemisphere
 22 Poles
 22 Entries

Anexo 6: Resultados del método gráfico de estabilidad de Mathews

ESTABILIDAD DE TAJEOS METODO MATHEWS

Proyecto: Estudio Geomecánico del Método de Minado
Mina Azulcocha
Zona: seccion 1W

Usuario: J. Cabrera
Fecha: 19/10/2011

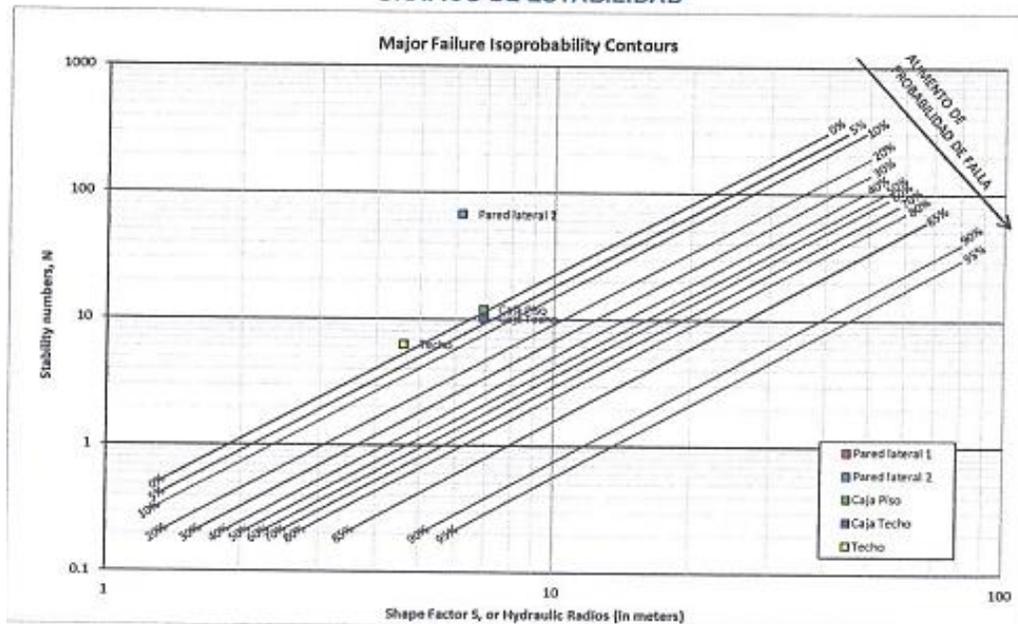
DATOS DE ENTRADA

Esfuerzos y tensiones		Tipo de roca		CT	CP	M
Profundidad (m)	300	RQD (%)		50	50	60
Peso específico (KN/m3)	26	Número de familias disc.		1	3	1
Esfuerzo vertical (Mpa)	7.80	Índice Q'		5	5	11
Constante K	0.6	Resist. compres. (Mpa)		60	60	37
Esfuerzo horizontal (Mpa)	5					
Geometría de Tajeo (m)		Tajeo				
Ancho (m)	17	Angulo Buz (°)		50		
Altura (m)	45	Direcc. Buz (°)		180		
Longitud (m)	20	Junta Principal				
Modo de Falla	Gravit.	Angulo Buz (°)		45		
		Direcc. Buz (°)		180		

DATOS DE SALIDA

Pared	A	B	C	RH	N'	Prob. Falla	Grad. Estab
Pared lateral 1	0.77	1	8	6.17	67.43	0.00	Estable
Pared lateral 2	0.77	1	8	6.17	67.43	0.00	Estable
Caja Piso	1.00	0.3	8	6.92	12.00	1.00	Estable
Caja Techo	1.00	0.3	6.78	6.92	10.18	4.00	Estable
Techo	0.59	0.87	1.11	4.59	6.26	0.00	Estable

GRAFICO DE ESTABILIDAD



ESTABILIDAD DE TAJEOS METODO MATHEWS

Proyecto: Estudio Geomecánico de Método de Minado de la Mina Azulcocha
Zona: Sección 1E

Usuario: J. Cabrera
Fecha: 19/10/2011

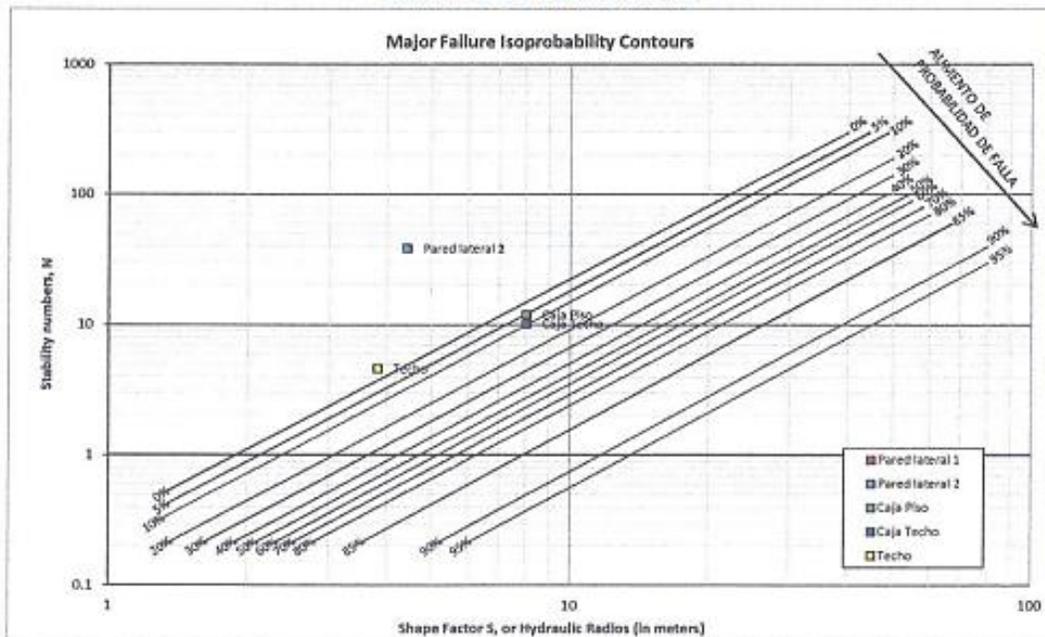
DATOS DE ENTRADA

Esfuerzos y tensiones		Tipo de roca		CT	CP	M
Profundidad (m)	300	RQD (%)	50	50	55	
Peso específico (KN/m3)	26	Número de familias disc.	1	3	1	
Esfuerzo vertical (Mpa)	7.80	Indice Q'	5	5	11	
Constante K	0.6	Resist. compres. (Mpa)	50	50	35	
Esfuerzo horizontal (Mpa)	5					
Geometría de Tajeo (m)		Tajeo				
Ancho (m)	11	Angulo Buz (°)	50			
Altura (m)	45	Direcc. Buz (°)	180			
Longitud (m)	25	Junta Principal				
Modo de Falla	Gravit.	Angulo Buz (°)	50			
		Direcc. Buz (°)	175			

DATOS DE SALIDA

Pared	A	B	C	RH	N'	Prob. Falla	Grad. Estab
Pared lateral 1	0.44	1	8	4.42	38.63	0.00	Estable
Pared lateral 2	0.44	1	8	4.42	38.63	0.00	Estable
Caja Piso	1.00	0.3	8	8.04	12.00	7.00	Estable
Caja Techo	1.00	0.3	6.78	8.04	10.18	10.00	Estable
Techo	0.38	1	1.11	3.82	4.60	0.00	Estable

GRAFICO DE ESTABILIDAD



ESTABILIDAD DE TAJEOS METODO MATHEWS

Proyecto: Estudio Geomecánico de Método de Minado de la Mina Azulcocha
Zona: Sección 3E

Usuario: J. Cabrera
Fecha: 19/10/2011

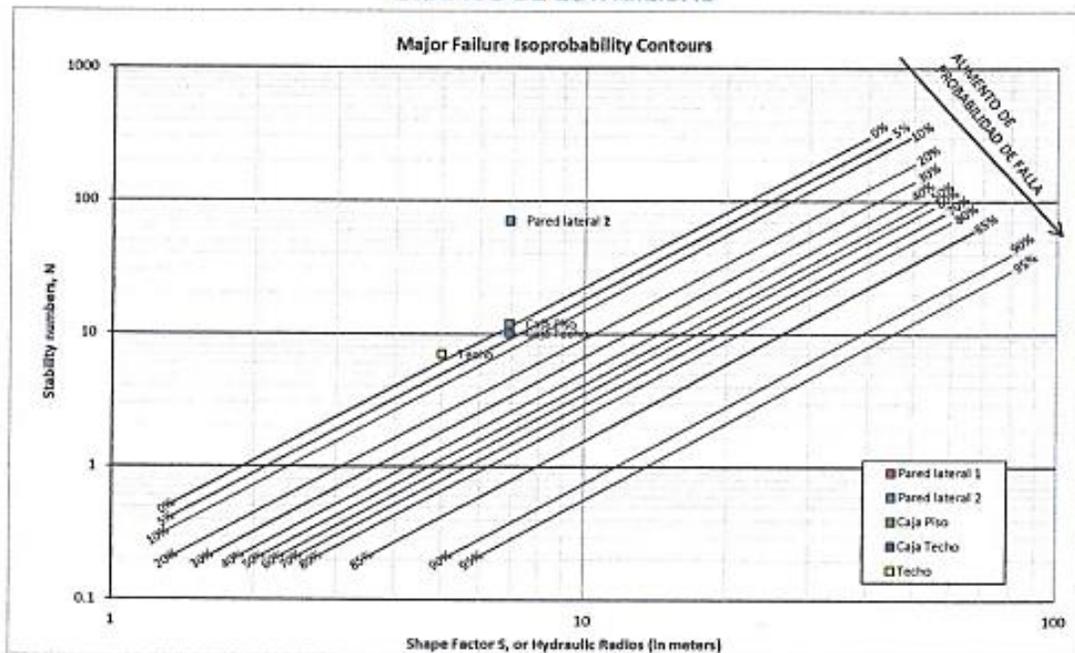
DATOS DE ENTRADA

Esfuerzos y tensiones		Tipo de roca	CT	CP	M
Profundidad (m)	300	RQD (%)	50	50	55
Peso específico (KN/m ³)	26	Número de familias disc.	3	3	1
Esfuerzo vertical (Mpa)	7.80	Índice Q'	5	5	11
Constante K	0.6	Resist. compres. (Mpa)	60	60	35
Esfuerzo horizontal (Mpa)	5				
Geometría de Tajeo (m)		Tajeo			
Ancho (m)	20	Angulo Buz (°)	47		
Altura (m)	45	Direcc. Buz (°)	180		
Longitud (m)	20	Junta Principal			
Modo de Falla	Gravit.	Angulo Buz (°)	46		
		Direcc. Buz (°)	180		

DATOS DE SALIDA

Pared	A	B	C	RH	N'	Prob. Falla	Grad. Estab
Pared lateral 1	0.81	1	8	6.92	71.09	0.00	Estable
Pared lateral 2	0.81	1	8	6.92	71.09	0.00	Estable
Caja Piso	1.00	0.3	8	6.92	12.00	1.00	Estable
Caja Techo	1.00	0.3	6.78	6.92	10.18	4.00	Estable
Techo	0.66	0.87	1.11	5.00	7.00	0.00	Estable

GRAFICO DE ESTABILIDAD



ESTABILIDAD DE TAJEOS METODO MATHEWS

Proyecto: Estudio Geomecánico de Método de Minado
de la Mina Azulcocha

Usuario: J. Cabrera
Fecha: 19/10/2011

Zona: Sección 5E

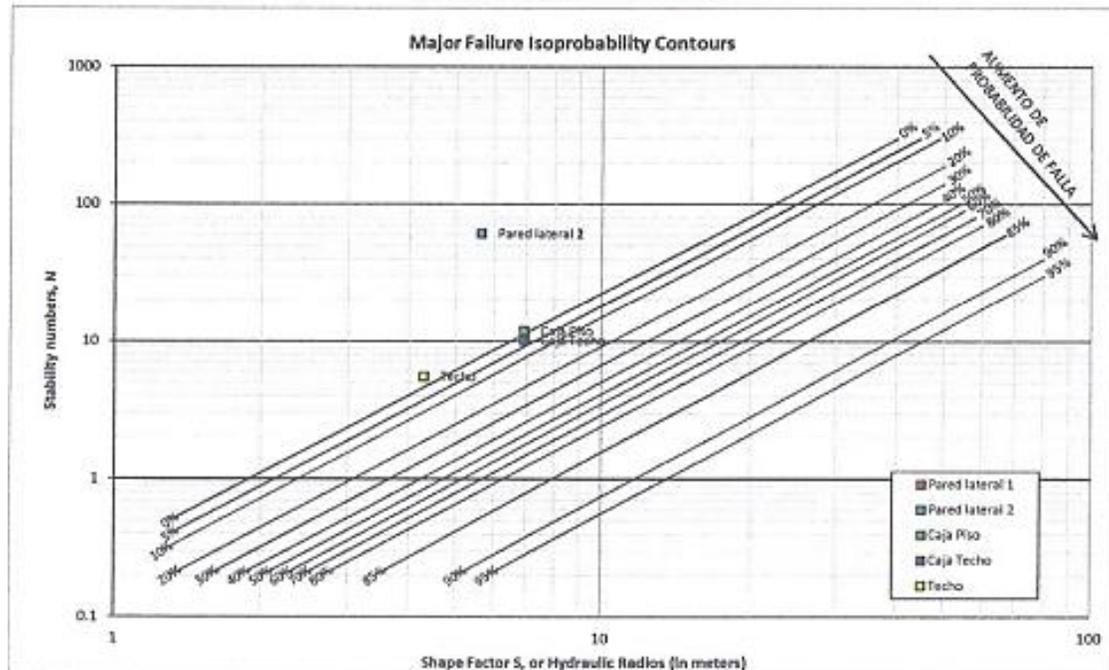
DATOS DE ENTRADA

Esfuerzos y tensiones		Tipo de roca		CT	CP	M
Profundidad (m)	300	RQD (%)	50	50	55	
Peso específico (KN/m3)	26	Número de familias disc.	3	3	1	
Esfuerzo vertical (Mpa)	7.80	Índice Q'	5	5	11	
Constante K	0.6	Resist. compres. (Mpa)	60	60	37	
Esfuerzo horizontal (Mpa)	5					
Geometría de Tajeo (m)		Tajeo				
Ancho (m)	15	Angulo Buz (°)	45			
Altura (m)	45	Direcc. Buz (°)	180			
Longitud (m)	20	Junta Principal				
Modo de Falla	Gravit.	Angulo Buz (°)	50			
		Direcc. Buz (°)	180			

DATOS DE SALIDA

Pared	A	B	C	RH	N'	Prob. Falla	Grad. Estab
Pared lateral 1	0.70	1	8	5.63	61.54	0.00	Estable
Pared lateral 2	0.70	1	8	5.63	61.54	0.00	Estable
Caja Piso	1.00	0.3	8	6.92	12.00	1.00	Estable
Caja Techo	1.00	0.3	6.78	6.92	10.18	4.00	Estable
Techo	0.53	0.87	1.11	4.29	5.54	0.00	Estable

GRAFICO DE ESTABILIDAD

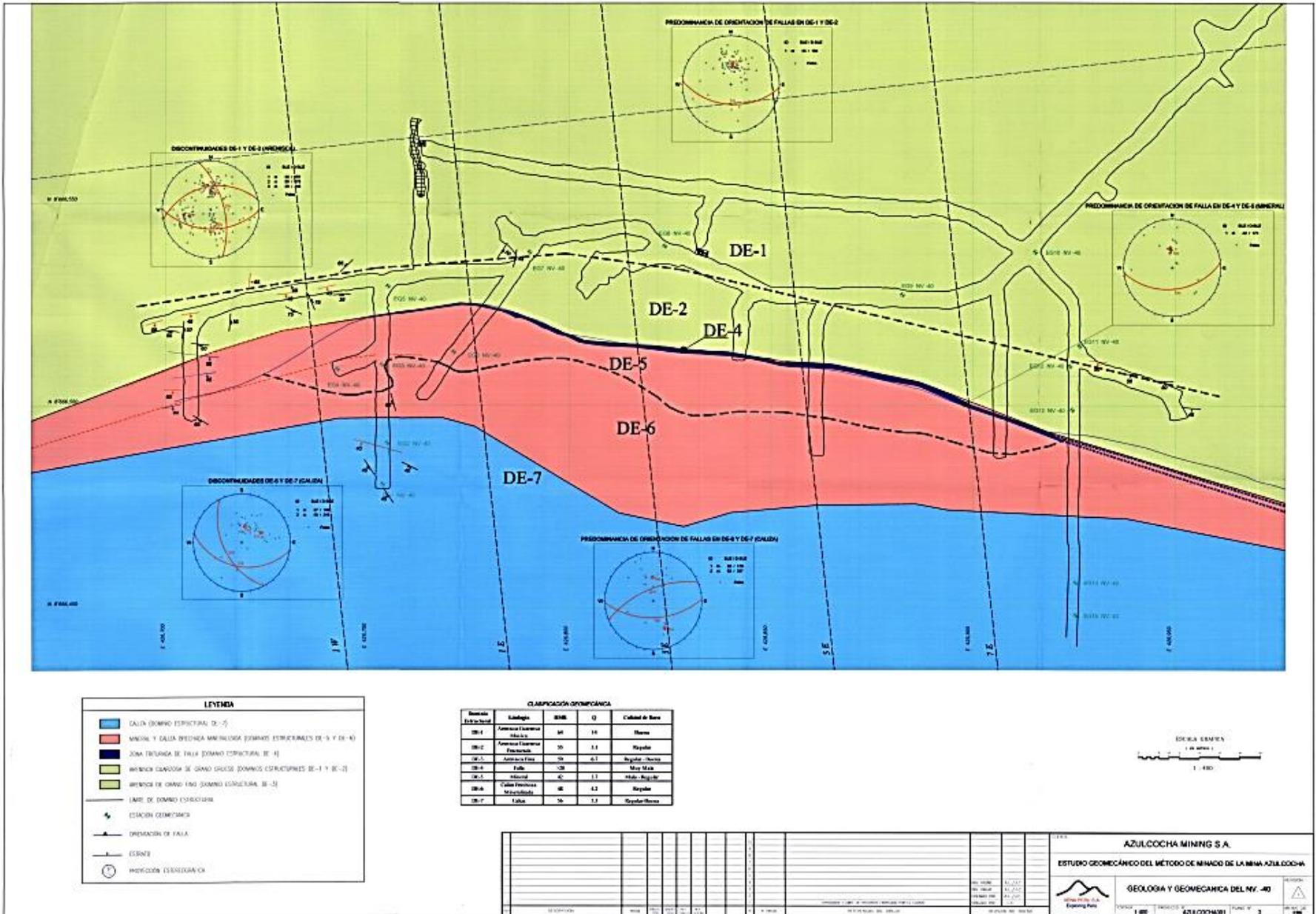


Anexo 7: Resultados del método de estabilidad de Pilares

ESFUERZOS INDUCIDOS					
Wp	Hp	Wo	sp/sz	Esfuerzo inducido	Esfuerzo Inclinado
Ancho pilar	Altura pilar	Ancho cámara	σp/sz	σp	σp
m	m	m	adim	Mpa	Mpa
12.00	20	20	7.11	54.4	15.62
20.00	20	15	3.06	23.4	10.25
25.00	20	15	2.56	19.6	9.37
16.00	20	20	5.06	38.7	13.18
16.00	20	20	5.06	38.7	13.18
25.00	20	20	3.24	24.8	10.54
15.00	20	25	7.11	54.4	15.62
20.00	20	20	4.00	30.6	11.71
25.00	20	25	4.00	30.6	11.71
15.00	20	30	9.00	68.9	17.57
20.00	20	30	6.25	47.8	14.64
25.00	20	30	4.84	37.0	12.88
30.00	20	30	4.00	30.6	11.71

Lunder y Pakalnis								Recuperación %
Wp	Hp	W/H	Cpav	k	Sp	Sp/UCS	FS	
m	m	adim	adim	adim	Mpa	adim	adim	
12.00	20	0.60	0.00	0.13	12	0.33	0.78	86%
20.00	20	1.00	0.06	0.54	16	0.42	1.52	67%
25.00	20	1.25	0.12	0.79	18	0.48	1.89	61%
16.00	20	0.80	0.03	0.33	14	0.37	1.05	80%
16.00	20	0.80	0.03	0.33	14	0.37	1.05	80%
25.00	20	1.25	0.12	0.79	18	0.48	1.68	69%
15.00	20	0.75	0.02	0.27	13	0.36	0.86	86%
20.00	20	1.00	0.06	0.54	16	0.42	1.33	76%
25.00	20	1.25	0.12	0.79	18	0.48	1.51	75%
15.00	20	0.75	0.02	0.27	13	0.36	0.76	89%
20.00	20	1.00	0.06	0.54	16	0.42	1.07	84%
25.00	20	1.25	0.12	0.79	18	0.48	1.38	79%
30.00	20	1.50	0.17	1.01	20	0.53	1.67	75%

Obert & Duvall					
Wp	Hp	W/H	Sp	Sp/UCS	FS
m	m	adim	Mpa	adim	adim
12.00	20	0.6	14	0.38	0.91
20.00	20	1	16	0.42	1.52
25.00	20	1.25	16	0.44	1.75
16.00	20	0.8	15	0.40	1.13
16.00	20	0.8	15	0.40	1.13
25.00	20	1.25	16	0.44	1.56
15.00	20	0.75	15	0.40	0.94
20.00	20	1	16	0.42	1.33
25.00	20	1.25	16	0.44	1.40
15.00	20	0.75	15	0.40	0.84
20.00	20	1	16	0.42	1.06
25.00	20	1.25	16	0.44	1.27
30.00	20	1.5	17	0.47	1.47





LEYENDA

- Sostenero con Cable Boling
- Perforación de Voladura
- Límite de Recano con > 5% Zn
- Límite Tajo Projectado
- Falla
- Labores Existentes
- Labores Projectados
- Sección de Exploración
- Sección de Análisis
- Tajo antiguo existente

ESCALA GRAFICA



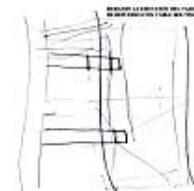
GEOMETRÍA DE TAJOS Y PILARES

Dimensionamiento Vértice de Columnas Tornos				Dimensionamiento Vértice de Pilares	
Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Rotación (°)	Pilar Costilla (m)	Pilar Puente (m)
28	45	33	45.93	28	12

NOTA:

LA PRESENTACION DE ESTE DISEÑO ES SOLO PARA EFECTOS DE INFORMACION Y NO GARANTIZA LA SEGURIDAD DE LA OPERACION. SE DEBE REALIZAR UN ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD PARA DETERMINAR LAS MEDIDAS DE PROTECCION Y SALVAMENTO DE LOS TRABAJADORES EN EL SITIO DE TRABAJO.

SE DEBE REALIZAR UN ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD PARA DETERMINAR LAS MEDIDAS DE PROTECCION Y SALVAMENTO DE LOS TRABAJADORES EN EL SITIO DE TRABAJO.



AZULCOCHA MINING S.A.		ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MÉTODO DE MINADO DE LA MINA AZULCOCHA	
SECCIÓN TÍPICA Y VISTA FRONTAL		MÉTODO DE SUBANILLES PARA CUERPOS INCLINADOS	
ESCALA: 1:500		PÁGINA: 6	
AZULCOCHA DEP.		REV. 01	

**UNSCH**FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 065-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 331-2023-FIMGC-D**, siendo veintinueve días del mes de agosto del 2023, a horas 9:30 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**, Jurado el **MSc. Ing. Roberto Juan GUTIERREZ PALOMINO**, Jurado - Asesor el **MSc. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada titulado: **"EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA PROPONER EL MÉTODO DE MINADO EN LA MINA AZULCOCHA 2022"**, presentado por el/la Sr./Srta., **RASORI EMERSON ORDOÑEZ MEJIA**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Minas**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por
Dr. Ing. Efraín Elías Porras
Flores
Fecha: 2023.09.03 17:47:18
-05'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente



Firmado digitalmente
por Dr. Johnny Henry
Ccatamayo Barrios
Fecha: 2023.08.30
05:54:25 -05'00'

Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS
Jurado



Firmado digitalmente por Mg.
Ing. José Agustín Esparta
Sánchez
Fecha: 2023.08.29 12:12:44
-05'00'

MSc. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ
Jurado Asesor



Firmado
digitalmente por
Roberto J.
Gutierrez Palomino

MSc. Ing. Roberto Juan GUTIERREZ PALOMINO
Jurado

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso

Departamento Académico de Matemática y Física

C.c.:
Bach. SAUL QUISPE DIAZ
Jurados (4)
Archivo





UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 060-2023-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 288-2023-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : RASORI EMERSON ORDOÑEZ MEJIA
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
Título de la Tesis : “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA PROPONER EL MÉTODO DE MINADO EN LA MINA AZULCOCHA 2022”
Evaluación de la Originalidad : 25 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2149246459

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 21 de agosto del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Departamento Académicos de Matemática y Física



Con depósito para Sustentación y Tramites
Cc. Archivo

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA PROPONER EL MÉTODO DE MINADO EN LA MINA AZULCOCHA 2022”

por Rasori Emerson Ordoñez Mejía

Fecha de entrega: 21-ago-2023 10:29p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2149246459

Nombre del archivo: Tesis_R_SORI_EMERSON_ORD_EZ_MEJ_A_EPIM..docx (20.57M)

Total de palabras: 13546

Total de caracteres: 73250

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA PROPONER EL MÉTODO DE MINADO EN LA MINA AZULCOCHA 2022”

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

23%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	14%
2	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
4	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	issuu.com Fuente de Internet	2%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	kupdf.net Fuente de Internet	1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	<1%

9

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

10

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo