Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

Evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el sostenimiento de un polvorín en el nivel magna de la Unidad Minera Ebenezer

Erik Becker Lino Santos
Dante Francel Vergaray Príncipe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital

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

ASESOR

Ing. Jesús Fernando Martínez Ildefonso

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios todopoderoso, por permitir la realización de esta tesis.

A nuestros padres por sus recomendaciones para conseguir este objetivo.

A la universidad Continental por permitir formarnos en sus aulas.

A los docentes de la EAP de Ingeniería de Minas por brindarnos todos sus conocimientos y experiencia profesional.

DEDICATORIA

Yo Erik, dedico esta tesis a mi padre Francisco Lino Crispín, y a mis hermanos.

Yo Dante, dedico esta tesis a mi madre Maximiliana Príncipe Príncipe, a mi padre Honorato Vergaray Moreno (en el cielo), a mi tía Silvia Príncipe Príncipe, a mi tío Teófilo Ascencio Castillo y a mis hermanos (as).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA I
ASESOR II
AGRADECIMIENTO III
DEDICATORIA IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS V
ÍNDICE DE TABLAS VIII
ÍNDICE DE FIGURAS IX
RESUMEN X
ABSTRACT XII
INTRODUCCIÓN XIV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO 16
1.1 Planteamiento y formulación del problema 16
1.1.1 Planteamiento del problema 16
1.1.2 Formulación del problema 17
1.2 Objetivos 17
1.2.1 Objetivo general 17
1.2.2 Objetivos específicos 18
1.3 Justificación e importancia 18
1.3.1 Justificación práctica 18
1.4 Hipótesis 18
1.4.1 Hipótesis general 18
1.4.2 Hipótesis específicas 18
1.5 Identificación de las variables 19
1.5.1 Variable independiente 19
1.5.2 Variable dependiente 19
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables 19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 20
2.1 Antecedentes del problema 20
2.1.1 Antecedentes nacionales 20
2.1.2 Antecedentes internacionales 21
2.2 Generalidades de la unidad minera Ebenezer 22
2.2.1 Ubicación y accesibilidad 22

2.3 Geología de la unidad minera Ebenezer 23
2.3.1 Geología regional 23
2.3.2 Geología estructural 25
2.3.3 Marco geológico 25
2.3.3.1. Alteraciones y mineralización 26
2.3.4 Cuerpos mineralizados 26
2.4 Bases teóricas 29
2.4.1 Índice de designación de la calidad del macizo rocoso, según Deere ... 29
2.4.2 Sistema de evaluación geomecánica de la matriz rocosa, según Bieniawski RMR 29
2.4.3 Sistema de clasificación Q de Barton 34
2.4.4 Manipulación y transporte de explosivos, según manual práctico de voladura EXSA 41
2.4.5 Evaluación de estabilidad de excavaciones 42
2.4.6 Índice de resistencia geológica según Hoek 42
2.4.7 Ley de armas de fuego, municiones, explosivos, productos pirotécnicos y materiales relacionados de uso Civil -SUCAMEC 45
2.5 Definición de términos básicos 49
CAPÍTULO III MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO 51
3.1 Método y alcances de la investigación 51
3.1.1 Método general o teórico de la investigación 51
3.1.2 Alcance de la investigación 52
3.2 Diseño de la investigación 52
3.3 Población y muestra 53
3.3.1 Población 53
3.3.2 Muestra 53
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 53
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos 53
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos 53
3.4.3 Procesamiento de datos 54
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 55
4.1 Análisis de la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer 55

4.1.1 Caracterización geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer 55
4.1.2 Diseño del Método de minado para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer 63
CONCLUSIONES..... 69
RECOMENDACIONES 71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables 19
Tabla 2. Accesibilidad a la unidad minera Ebenezer 23
Tabla 3. Guía de sostenimiento primario según el RMR 30
Tabla 4. Parámetros que considera la clasificación RMR 32
Tabla 5. Calidad del testigo “RQD” en la Q de Barton 35
Tabla 6. Valoración del índice de diaclasado Jn 35
Tabla 7. Valoración del índice de rugosidad, zonas con contacto entre dos caras 36
Tabla 8. Valoración del índice de rugosidad, zonas sin contacto de roca 36
Tabla 9. Valoración del índice de alteración de las discontinuidades 37
Tabla 10. Factor de reducción por la presencia de agua 38
Tabla 11. Valoraciones SRF 39
Tabla 12. Rocas competentes, problemas tensionales en rocas Ơc/Ơ, Ơ□/c, SRF 40
Tabla 13. Clasificación del macizo rocoso según Barton 41
Tabla 14. Clasificación del macizo rocoso y parámetros mecánicos del macizo rocoso 42
Tabla 15. Leyes promedias de la unidad minera Ebenezer 56
Tabla 16. Mapeo utilizado para recopilar información geotécnica de detalle para cada disparo, obteniendo la clasificación RMR, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer 57
Tabla 17. Replanteo del mapeo utilizado para recopilar información geotécnica de detalle, obteniendo la clasificaciónRMR, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer 61
Tabla 18. Volumen del explosivo dinamita 64
Tabla 19. Longitud de cajas de accesorios 64
Tabla 20. Capacidad del almacén de explosivos y accesorios 65
Tabla 21. Diseño de las cámaras del almacén de explosivos y accesorios. 65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación unidad minera Ebenezer..... 23
Figura 2. Caracterización del macizo rocoso..... 43
Figura 3. Índice geológico de resistencia GSI 44
Figura 4. Formación de planos menores hacia el sector SE respecto del eje del túnel N40°E, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer 58
Figura 5. Concentración de polos de las discontinuidades, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer 59
Figura 6. Concentración de polos de las discontinuidades más falsilla, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer 59
Figura 7. Plano del diseño del polvorín en la galería Magna, de la unidad minera Ebenezer 66
Figura 8. Plano isométrico del diseño del polvorín en la galería Magna, de la unidad minera Ebenezer..... 67

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se propone resolver el siguiente problema general: ¿cómo influye la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer?, y el objetivo general es determinar cómo influye la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer. La hipótesis a contrastar es: la evaluación geomecánica del macizo rocoso influye positivamente en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer.

La metodología de investigación es el método científico, tipo aplicada, de nivel descriptivo correlacional, de diseño cuasi experimental. La población es la unidad minera Ebenezer, y la muestra es la galería Magna de la misma unidad minera.

La información de estereogramas y la información estructural de campo *insitu*, permitió restructurar la validación del macizo rocoso a fin de tener un dato verídico del tipo de roca regular III B, a lo largo de los 52 metros de avance respectivamente. La resistencia del macizo rocoso a los esfuerzos de compresión uniaxial es en promedio de 14.79 Mpa, asumiendo el campo de esfuerzos K=1.2 obtenemos que los esfuerzos verticales y horizontales son 17.40 Mpa y 20.39 Mpa, lo que nos muestra que este tramo evaluado está sometido a esfuerzos por encima de la resistencia del macizo rocoso.

Según el análisis se debe utilizar el lanzado de shotcrete con la utilización de pernos helicoidales de 7 pies para el sostenimiento en todo el tramo a realizar el polvorín, la caracterización del macizo rocoso en función del RMR y el ancho de labor se debe lanzar con 2” de espesor y el espaciamiento entre perno es de 1.8 metros.

El diseño del polvorín parte de dos almacenes la primera para el almacenamiento de los explosivos cuyas dimensiones son el ancho es de 6.00 m, el largo de 28.00 m y el alto de 3.50 m siendo un área de 168 m^2 y un

volumen de 588 m^3, lo cual es ideal para las dimensiones de la caja del explosivo. El segundo almacén es para los accesorios del explosivo cuyas dimensiones son el ancho es de 5.50 m, el largo de 18.50 m y el alto de 3.50 m, siendo un área de 102 m^2 y un volumen de 356 m^3, también es ideal para las dimensiones de la caja de los accesorios del explosivo.

Palabras clave: evaluación geomecánica, macizo rocoso, sostenimiento, interior mina, polvorín.

ABSTRACT

The present research work aims to solve the following general problem: How does the geomechanical evaluation of the rock massif influence the support of a powder magazine at the Magna level of the Ebenezer Mining Unit, and the general objective is: To determine how the geomechanical evaluation of the rock mass influences the support of a powder magazine in the Magna level of the Ebenezer Mining Unit, the hypothesis to be tested is: The geomechanical evaluation of the rock massif positively influences the sustainment of a powder magazine at the Magna level of the Ebenezer Mining Unit.

The research methodology is the scientific method, applied type, descriptive correlational level, quasi-experimental design. The population is the Ebenezer Mining Unit, and the sample is the Magna Gallery of the Ebenezer Mining Unit.

The information of stereograms and the structural information of field insitu, the validation of the rock mass was restructured again in order to have a true data of the type of regular rock III B, along the 52 meters of advance respectively. The resistance of the rock mass to uniaxial compressive stresses averages 14.79 Mpa. Assuming the stress field K=1.2, we obtain that the vertical and horizontal stresses are 17.40 Mpa and 20.39 Mpa, which shows that this evaluated section is subjected to stresses above the resistance of the rock mass.

According to the analysis, shotcrete casting should be used with the use of 7-foot helicoidal bolts to support the entire section to be built, the characterization of the rock massif according to the RMR, the width of the work should be cast with 2” of thickness, and the spacing between bolts is 1.8 meters.

The design of the powder magazine is based on two warehouses, the first one for the storage of explosives whose dimensions are 6.00 m wide, 28.00 m long and 3.50 m high, with an area of 168 m^2 and a volume of 588 m^3, which is ideal for the dimensions of the explosive box. The second warehouse for the explosive accessories whose dimensions are 5.50 m wide, 18.50 m long and 3.50 m high,

with an area of 102 m^2 and a volume of 356 m^3, is also ideal for the dimensions of the explosive accessories box.

Key words: Geomechanical evaluation, rock mass, support, mine interior, powder magazine.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el plan de minado 2021 se ha solicitado la construcción de un polvorín en el nivel Magna de la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Ebenezer, cumpliendo la normatividad vigente, la misma que será realizada cumpliendo los estándares de calidad y protección ambiental.

El diseño del polvorín y su posterior implementación para el manejo integral de las mezclas explosivas comerciales y los accesorios de voladura se ha realizado según los requerimientos proporcionados por parte de la empresa minera Ebenezer, siguiendo la normativa actualizada de polvorines para minería subterránea Según DS N.º 024-2016-EM y su modificatoria DS N.º 023-2017-EM.

En tal sentido, es necesario conocer y realizar la caracterización geomecánica con la finalidad de evaluar las condiciones de estabilidad de labores subterráneas. Del mismo modo, el reglamento D.S. Nº 023-2017-EM, en el art. 279 nos menciona sobre las especificaciones para la construcción de los polvorines y los almacenes, según la legislación vigente, sobre los controles que se deben tener en cuenta y se debe contar con los permisos otorgados por la SUCAMEC.

El método de minado para la construcción del polvorín en el nivel Magna de la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Ebenezer; así como la resistencia del macizo rocoso a los esfuerzos de compresión uniaxial es en promedio de 14.79 Mpa. Asumiendo el campo de esfuerzos K=1.2 obtenemos que los esfuerzos verticales y horizontales son 17.40 Mpa y 20.39 Mpa, lo que nos muestra que este tramo evaluado está sometido a esfuerzos por encima de la resistencia del macizo rocoso.

Según el análisis se debe utilizar el lanzado de shotcrete con la utilización de pernos helicoidales de 7 pies para el sostenimiento en todo el tramo a realizar el polvorín, la caracterización del macizo rocoso en función del RMR y el ancho de

labor se debe lanzar con 2” de espesor y el espaciamiento entre perno es de 1.8 metros.

El diseño del polvorín parte de dos almacenes la primera para el almacenamiento de los explosivos cuyas dimensiones son el ancho es de 6.00 m, el largo de 28.00 m y el alto de 3.50 m siendo un área de 168 m^2 y un volumen de 588 m^3, lo cual es ideal para las dimensiones de la caja del explosivo. El segundo almacén para los accesorios del explosivo cuyas dimensiones son el ancho es de 5.50 m, el largo de 18.50 m y el alto de 3.50 m, siendo un área de 102 m^2 y un volumen de 356 m^3, también es ideal para las dimensiones de la caja de los accesorios del explosivo.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El sector minero a nivel mundial y en especial en el Perú es uno de los pilares de la economía y exportaciones y por ello se le debe dar la atención apropiada. Cada trabajo que se realiza en una mina subterránea conlleva a realizar trabajos de alto riesgo; riesgos que podrían convertirse en pérdidas de material, equipos o la vida del trabajador.

Actualmente en la minería, el índice de accidentabilidad es muy alto, se debe al desprendimiento de roca y por ello, para realizar faenas mineras subterráneas, se realizará su respectivo sostenimiento por el principio de metro avanzado, metro sostenido.

En tal sentido, es necesario conocer y realizar la caracterización geomecánica con la finalidad de evaluar las condiciones de estabilidad de labores subterráneas. Del mismo modo, el reglamento D.S. Nº023-2017-EM en el art. 279 nos menciona sobre las especificaciones para la construcción de los polvorines y los almacenes. Según la legislación vigente sobre los controles que se deben tener en cuenta y se debe contar con los permisos otorgados por la SUCAMEC.

En tal sentido de acuerdo con el plan de minado 2021 se ha solicitado la construcción de un polvorín en el nivel Magna de la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Ebenezer, cumpliendo la normatividad vigente, la misma que será realiza cumpliendo los estándares de calidad y protección ambiental.

El diseño del polvorín y su posterior implementación para el manejo integral las mezclas explosivas comercial y los accesorios de voladura se ha realizado según los requerimientos proporcionados por parte de la empresa minera Ebenezer, siguiendo la normativa actualizada de polvorines para minería subterránea Según DS N.º 024-2016-EM y su modificatoria DS N.º 023-2017-EM.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1.Problema general

¿Cómo influye la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer?

1.1.2.2.Problemas específicos

- ¿Cómo influye la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer?

- ¿Cuál es el método de minado para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar cómo influye la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar cómo influye la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer.

- Determinar el método de minado para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación práctica

Con el desarrollo de esta investigación se propone solucionar el problema de almacenamiento de los explosivos dando cumplimiento a la normatividad vigente (D.S. Nº 023-2017-EM, Art. 213, 214,279).

Para el diseño del polvorín es conveniente realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso, entre ellos debemos enfatizar en dos tablas, RMR (Rock Mass Rating) y RQD (Rock Quality Deere).

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La evaluación geomecánica del macizo rocoso influye positivamente en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer.

1.4.2 Hipótesis específicas

- La caracterización geomecánica del macizo rocoso influye positivamente en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer.

- El método de minado influye positivamente para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer.

1.5 Identificación de las variables

1.5.1 Variable independiente

Evaluación geomecánica del macizo rocoso

1.5.2 Variable dependiente

Sostenimiento de un polvorín

1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer

Tabla 1. ***Matriz de operacionalización de variables***

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
V.I: Evaluación geomecánica del macizo rocoso	Es la interpretación y valoración de la roca de manera cualitativa y cuantitativa, que permite estimar y clasificar el macizo rocoso.	Evaluación de la caracterización geomecánica	• Índices RMR, RQD y Q del macizo rocoso • Familias de discontinuidades • Parámetros de las discontinuidades
V.D: Sostenimiento de un polvorín	Es la fortificación del área de almacenaje de los explosivos y accesorios utilizados para el disparo de las distintas áreas de trabajo en interior mina.	Evaluación del procedimiento adecuado para la perforación. Evaluación de las herramientas de sostenimiento	• Longitud de perforación • Equipo de perforación • Pernos helicoidales de 7 pies • Malla de electro soldada • Shotcrete

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes nacionales

a) Tesis titulada: "*Diseño del sistema de polvorín e implementación de manejo integral del explosivo y accesorios en la Mina Inversiones Gartes S.A.C. Dimeprome – Puno*". El objetivo de la investigación fue diseñar el sistema de polvorín e implementar reglas de seguridad en la manipulación y transporte de mezclas explosivas comerciales y accesorios de voladura. (1)

Las conclusiones fueron, que el diseño adecuado del sistema de polvorín en el almacén de explosivos, debe de contar con la siguiente medidas: ancho 5,10 m., largo 12,0 m., altura 3,25 m y una gradiente de 0,3 %, y después de haber realizado un estudio geomecánico y clasificación del macizo rocoso, esto varia para cada tipo de roca que se va a trabajar. (1)

b) Tesis titulada: "*Análisis de riesgos en un polvorín auxiliar de explosivos en una empresa minera*"**.** El objetivo de la investigación fue determinar los peligros existentes y definir los controles de seguridad en concordancia con los resultados obtenidos durante la aplicación del método de *check list* en el polvorín. (2)

La conclusión fue que las herramientas para la manipulación y traslado de explosivos no cumplen con las especificaciones del D.S. 023- 2017-EM, y el Reglamento de Control de explosivos de uso civil OS 019 1971 IN. (2)

c) En la tesis "*Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea*". El objetivo de la investigación fue el preparativo de un modelo geomecánico en tres dimensiones. (3)

La conclusión fue que el estudio está clasificado predominantemente de roca tipo III regular y en otros lugares de roca mala. El dimensionamiento de minado en una mina subterránea es muy importante, a partir de esto podemos realizar un modelamiento en 3D, para cada trabajo que realicemos, así como el autor propone para el tipo de roca que se presenta en la mina que labora. (3)

2.1.2 Antecedentes internacionales

a) Tesis titulada: "*Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos Las Victorias*". El objetivo de la investigación fue realizar el estudio en los taludes y plantear soluciones para controlar la inestabilidad de los taludes

La conclusión fue que la caracterización del macizo rocoso, mediante el RMR, presenta un bajo rango de variabilidad con respecto a la profundidad, debido a que la condición de las juntas presentó en general pequeñas variaciones. El rango permanece de entre 60 a 70 hasta el piso 50 m. (4)

b) Tesis titulada: **"***Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 Cooperativa Cooprocarbon Sugamuxi municipio de Gámeza Boyacá***".** El objetivo de la investigación fue determinar la clasificación de la matriz rocosa, en el área de contrata 01-068-96. (5)

La conclusión**,** fue que en la zona de estudios hay presencia de arcillas de tipo Guaduas, areniscas de la formación Guaduas. Los que en la actualidad se

vienen realizando su explotación, dichos macizos rocosos que se encuentran en el municipio están siendo afectados por las diferentes fallas que presenta. (5)

c) Tesis titulada: **"***Caracterización Geotécnica y Determinación de Ángulos de Talud en Yacimiento Franke***",** el objetivo fue determinar las evaluaciones geomecánicas de la masa rocosa a base del índice de resistencia geológica. (6)

La conclusión**,** fue que el RMR quien nos entrega información adecuada, donde nos menciona existe una relación de asemejarlo al GSI. El autor de la tesis sobre la caracterización geotécnica y determinación de ángulos en talud hace una relación de la evaluación de RMR de Bienawski con la evaluación de índice de resistencia geológica ya son los más utilizados en las empresas mineras al momento de realizar la caracterización de la masa rocosa. (6)

2.2 Generalidades de la unidad minera Ebenezer

2.2.1 Ubicación y accesibilidad

La unidad minera Ebenezer está ubicada en el distrito y provincia de Cajatambo, departamento de Lima. Pertenece a la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Ebenezer y tiene las siguientes coordenadas geográficas:

- ✓ 10°20′08″S
- ✓ 76°50′03″O
- ✓ Su cota es 4200 m s. n. m.

Figura 1. Ubicación unidad minera Ebenezer
Tomado de Google Geart 2022

Tabla 2. ***Accesibilidad a la unidad minera Ebenezer***

Tramo	Distancia (km)	Carretera	Tiempo aproximado de viaje)
Lima - Cajatambo	255	Asfaltada	8 hr
Cajatambo - U.M. Ebenezer	14	Afirmada	0.5 hr

2.3 Geología de la unidad minera Ebenezer

2.3.1 Geología regional

- **Grupo Excélsior**.- Se presenta en la parte nor oriental formando el núcleo de la mineralización; dentro del área que abarca el estudio se le ha mapeado al NE de la unidad mina Ebenezer la mineralización consiste en filitas de color gris oscuro a pardo negro en parte con tonalidades amarillentas por la impregnación de minerales óxidos, por efecto del metamorfismo regional se han segregado una especie de

lentes irregulares de cuarzo. El fracturamiento ocurrido en la zona de exploación es intenso y los fallamientos muestran desarrollos ondulados por la plasticidad de la filitas. Esta unidad esta referida al Devónico.

- **Grupo Mitu.**- Aflora en el sector nor oriental del yacimiento sobreyaciendo con la discordancia erosional a las filitas del grupo Excélsior, esta estan enclavadas en rocas sedimentarias tales como conglomerados de gran espesor, areniscas y limolitas generalmente de color rojo, en la parte alta se presentan rocas igneas compuestas por restos volcanoclásticos e irregulares derrames volcánicos de rocas tipo andesítico a dacítico.

- **Grupo Pucará.**- Al borde del yacimiento minero sobreyace discordancia del tipo erosional del grupo Mitu , en la parte occidental de las propiedades se puede observar formaciones jóvenes por efecto de sobreescurrimientos de la formación de las montañas, la base está compuesta por rocas tipo limolitas las que se van alterando a margas y posteriormente calizas arcillosas (rocas sedimentarias).

- **Grupo Goyllarisquizga.**- Este grupo sobreyace discordantemente sobre el grupo Pucará y en forma concordante en la parte inferior de las calizas de la formación Chúlec. El espesor de todo el paquete es aproximado es 80 a 100 metros, diferenciado dos unidades; la primera parte compuesta de lutitas, limolitas y areniscas de grano fino arcillosas de poca consolidadas de color marrón rojizo cuyo espesor varia entre los 20 a 40 m, la segunda parte consiste en una capa alternada entre areniscas cuarzosas blancas y lutitas haciéndose hacia el techo progresivamente más calcáreas hasta llegar al las calizas Chúlec.

- **Grupo Machay.**- Aflora al nor oriente y occidente del área muestreada; al sur y al occidente del yacimiento se ha podido evaluar las formaciones Chúlec y Pariatambo, las cuales yacen paralelamente al grupo Goyllar y debajo de la formación Jumasha.

- ✓ **Formación Chúlec.-** Secuencia de rocas sedimentaris calcáreas compuesta por mantos delgados a medianos de rocas tipo caliza margosa, caliza arenosa en parte inferior, caliza fosilífera y caliza dolomítica fosilífera hacia la parte del techo, formaciones pertenecientes ha la formación Chúlec. Un nivel de caliza bioclástica marca la culminación de la formación Chúlec y el inicio de la secuencia Pariatambo; se estima que tiene un espesor de unos 400 m.

- ✓ **Formación Pariatambo.-** Compuesta de estratos delgados de calizas con material bituminosas fosilíferas con abundantes amonites (restos fosiles), en la parte alta se nota la presencia de las calizas que se alternan con delgados niveles irregulares y geodas de chert de color negro cerca ala zona de contacto con la formación Jumasha. El espesor varia entre los 50 a 110 m.

2.3.2 Geología estructural

El yacicimiento minero esta ubicado en segmento central de la cordillera de los Andes peruanos, es una estructura tectónica y se extiende hasta la quebrada de Cajatambo.

2.3.3 Marco geológico

En el área afloran rocas desde el grupo Excélsior hasta las formación Chúlec y rocas ígneas de composición de tipo diorítica.

El grupo Excélsior en el que se puede observa afloramientos aislados en las quebradas menores, esta compuesto de rocas metamorficas tipo filitas de color gris a gris verdoso y están totalmente fracturasa debido a su formación, esta forman parte de los núcleos de anticlinales menores cuyo linea de charnela tienen un azimut de N150°E, compuesta de una serie de pequeñas ventanas tectónicas.

El grupo Mitu que cubre la mayor área y que aflora en forma elongada en dirección NW que la orientación general del yacimiento, tiene un espesor aproximado de 850 m estimados en el encampane de la quebrada.

2.3.3.1. Alteraciones y mineralización

Las alteraciones que se evidencian en el área se pueden diferenciar en las relacionadas a los apófisis intrusivos y las relacionadas a las soluciones hidrotermales mineralizantes. Las primeras consisten en una alteración argílica moderada y un silicificación moderada a fuerte que constituyen un halo en las rocas intruidas, este halo tiene una amplitud de no mayor de 15 a 20 metros en los volcánicos.

La alteración en los calcáreos consiste una recristalización y marmolización moderada a fuerte conformando un halo de amplitud variable. La alteración hidrotermal relacionada a la mineralización desde el cuerpo mineralizado hacia el Mitu evidencia una zona argílica de intensidad moderada (kao-py) seguida de una propilitización débil (clt-qtz-cal-py) y una silicificación moderada, hacia la caja techo se observa una alteración argílica fuerte y una dolomitización de las calizas acompañada con venillas de ankerita y silicificación además de diseminación de pirita en los carbonatos.

La mineralización del sector es polimetálica de Pb-Zn-Ag-Cu y consiste en cuerpos estratiformes encajonados muy cerca al contacto Mitu-Pucará, vetas que cortan el mismo y cuerpos de magnetita relacionados a los apófisis dacíticos que afectan las calizas de la formación Condorsinga. La zona parece estar controlada por las estructuras NNE y E-W.

2.3.4Cuerpos mineralizados

- **Mantos**

Muy próximo al contacto Mitu - Pucará se ha desarrollado mineralización estratiforme habiéndose reconocido afloramientos discontinuos por una longitud aproximada de 2,250 metros sobre los que se encuentran numerosas labores mineras antiguas como cateos, medias barretas y pequeños cruceros. El azimuth promedio de la estructura es de N150°E con buzamientos desde 40° hasta 65° al NE. El centro de la zona mineralizada se encuentra en la falda del C° Rumishari, hacia el norte los afloramientos se hacen menos evidentes por la cobertura del suelo, sin

embargo donde aún se ubican remanentes se observan potencias menores que en la zona central, hacia el sur la mineralización podría estar restringida por la presencia de fácies arcilloso-arenaceas que se han reconocido por algo más de 1 km y que posiblemente se trate de un paleocanal.

La potencia de la estructura mineralizada varia desde 0.20 hasta 2.50 metros, con frecuencia se forman dos capas mineralizadas separadas por horizontes estériles de naturaleza tufaceo-arcillosa. La mineralogía consiste en esfalerita marmatítica y marrón, algo de galena, calcopirita, abundante pirita, cuarzo, calcita y baritina localmente.

La mineralización de sulfuros de mena se emplazan generalmente hacia el techo mientras los mantos o "lentes" del piso están casi exclusivamente compuestos de pirita gruesa y cuarzo. Las concentraciones de mena al techo alcanzan potencias de hasta 1.20 metros en las labores que se pudo reconocer y/o muestrear. Los afloramientos en superficie están totalmente oxidados, observándose limonitas, baritina, calcita, óxidos de manganeso, antlerita y malaquita. La alteración de las cajas es argílica moderada a fuerte y se presentan halos de silicificación en ambas cajas.

El horizonte superior donde se concentran los sulfuros de mena, tiene una potencia de 0.83 m, con las siguientes leyes: 0.52 % Cu, 1.84 % Pb, 4.55% Zn y 4.63 Oz Ag/t. El ensaye por elementos trazas reporta los valores anómalos siguientes en partes por millón (ppm): Bi=116; Sb=663; As=1000; Hg= 7.30.

- **Vetas**

Cortando el contacto e incluso el Basalto Montero se han determinado dos vetas angostas de rumbo NE y una veta con rumbo NW en el Mitu. La primera se ubica en la parte central del área mineralizada, con rumbo N67°E y buzamientos subverticales, la potencia promedio es de 0.40 m y se ha medido una longitud de 250 metros; existen algunas trincheras y cateos sobre la veta cuyo afloramiento consiste en brechas tanto en la caliza

como en el basalto donde los clastos están cementados por óxidos de manganeso, limonitas y un venilleo fino de pirita.

Esta estructura mineralizada se proyecta hacia el NE hasta el extremo de los apófisis de dacita, hacia el Mitu no desarrolla afloramiento visible, pero parece interceptarse con una falla mayor del rumbo N30°E que marca la quebrada Mondragón Sur y que pertenece al sistema NNE antes descrito; esta falla mayor es parte del sistema de fracturamiento que se proyecta hasta la zona de San Cristóbal. Los valores encontrados en esta veta son: 15.52 Oz Ag/t sin la presencia de metales base y anomalías de As (961 ppm) y Mo (25 ppm).

La segunda se ubica en el extremo sur del área mineralizada, es una estructura mayor que persiste por mas de 2 kilómetros, es una falla de desplazamiento dextral, tiene un rumbo N40°E y buzamiento de alto ángulo. Mineralización solamente se ha observado muy cerca al contacto Mitu-Pucará donde el relleno consiste en óxidos de Fe, limonitas, jarosita de textura esponjosa con retículos de sulfuros. Se han reportado valores en afloramiento de 1.84 % Zn, 4.37 Oz Ag/t, 2.43 % Cu y anomalías de Au(650 ppb), Sb (100 ppm), As (13800 ppm), Mo (60 ppm) y Hg (5.5 ppm).

Al N del Cº Quiviohuaganan hay una veta de 0.20 metros con rumbo de N10ºW y buzamiento vertical, se le ha seguido por mas de 100 metros. La mineralización está compuesta por gn, cpy, mal, óxidos de fe y abundante baritina como ganga y además se observa cloritización moderada en las cajas; en esta veta hay una labor a media barreta. El muestreo en la labor y en el afloramiento reporta leyes de 3.2 % Pb, 0.32 Oz Ag/t, 0.52 % Cu y anomalías de As (126 ppm).

- **Cuerpos de magna**

En el contacto entre los apófisis de dacita y las calizas se ha desarrollado cuerpos irregulares de magnetita masiva, de espesores variables entre 0.5 a 3 m, y con longitudes de hasta 70 m, la alteración en las calizas esta restringido a un halo de recristalización y marmolización variable no mayor

de 20 m. La mineralogía consiste en magnetita masiva, especularita, cuarzo, y diseminación variable de calcopirita, malaquita, calcantita y limonitas en los afloramientos imtemperizados. Los muestreos han reportado anomalías de diversos elementos.

2.4 Bases teóricas

2.4.1 Índice de designación de la calidad del macizo rocoso, según Deere

El RQD fue expresado y estudiado por un fabricante de maquinaria pesada, en que el año 1963 propuso como clasificación de la masa rocosa, el Índice RQD podemos definir con el % de recuperación de la muestra obtenida en un sondeo de diamantina, esta recuperación tiene que cumplir ciertos parámetros 100 mm o más enteras del tamaño total del sondaje obtenido, para la aplicar este método, International Society for Rock Mechanics sugiere que la muestra del testigo sea >54.7mm para un diamante de doble barril, para esto Deere propone una relación de un valor de RQD y la clase de roca. (7)

2.4.2 Sistema de evaluación geomecánica de la matriz rocosa, según Bieniawski RMR

En 1973 Bieniawski introdujo otra estrategia para ordenar la masa de la roca a través de un Índice de Clasificación de la Masa de la Roca, esta técnica de agrupación fue ajustada por el autor en 1989, y todavía se está utilizando, esta última estrategia está dada por un archivo matemático, estas informaciones se adquieren sumando cinco parámetros. (8)

2.4.2.1.Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski

Bieniawski (1989) distribuyó las sutilezas de una ordenación del macizo rocoso, denominada Sistema de Clasificación Geomecánica o Clasificación del Macizo Rocoso (RMR). A lo largo del tiempo, este marco se ha ajustado progresivamente a medida que se han analizado más casos registrados, y se observa que Bieniawski introdujo mejoras críticas en las evaluaciones asignadas a los distintos límites. (8) Los límites adjuntos se utilizan para caracterizar una masa de piedra con el marco RMR. El significado de las condiciones "totalmente positivas" a "verdaderamente negativas" aparece en el restante final; son sugerencias en principio propuestas en el marco RSR. (8)

- Resistencia a la compresión uniaxial del material pétreo. (8)
- Asignación de la calidad de la roca (RQD). (8)
- Separación de la rotura. (8)
- Estado de las discontinuidades. (8)
- Estado de las aguas subterráneas. (8)
- Dirección de las discontinuidades, (Hoek, 2000). (8)

2.4.2.2.Recomendaciones de sostenimiento según el RMR de Bieniawski

Este soporte está idealizado para una sección en herradura de 10 m de diámetro y que soporta una presión de 25 MPa, equivalente a 1000 m de cobertura, se muestra a continuación en la Tabla. (8)

Tabla 3. ***Guía de sostenimiento primario según el RMR***

Clase Macizo	Tipo de excavación	Soportes primarios		
		Pernos - malla	Hormigón lanzado	Perfil metálico
I	Sección completa, avance hasta de 3m	Generalmente no requiere soporte con la excepción de pernos ocasionales		
II	Sección completa, avance de 1 a 1,5 m. Soporte completo a 20 m del frente	Pernos sistemáticos de 3 m espaciados a 2,5 m. Malla ocasional en ciertas zonas del techo.	Hormigón lanzado sin fibra, 5cm en el techo si fuera necesario.	Ninguna
II	Sección completa, calota y banqueo. Avance de 1,5 m a 3m, instalación del soporte después de	Pernos sistemáticos de 4 m espaciados a 2m en techo y paredes.	Hormigón lanzado sin fibra, 5 a 10 cm en el techo, 3 cm en las paredes.	Ninguna

	cada voladura, soporte completo a 10 m del frente.	Malla en el techo		
IV	Sección completa, calota y banqueo. Avance de 1 a 1,5 m. Instalación del soporte junto a la excavación.	Pernos sistemáticos de 4 a 5 m de longitud, espaciados de 1 a 1,5 m. Malla en el techo y las paredes.	Hormigón lanzado sin fibra de 10 a 15 cm en el techo, 10 cm en las paredes.	Perfiles livianos espaciados a 1,5 m uno de otro.
V	Secciones múltiples, avance de 0,5 a 1,5 m. Instalación del soporte junto a la excavación. Hormigón lanzado luego de cada voladura.	Pernos sistemáticos de 5 y 6 m de longitud espaciados de 1 a 1,5 m. Pernos en la solera. Inclusive, Malla en el techo y las paredes.	Hormigón lanzado sin fibra de 10 a 15 cm en el techo, 10 cm en las paredes.	Perfiles medianos a pesados, espaciadas 0.8 m uno de otro, cerrados a través de la solera.

Tomado de Bieniawski

2.4.2.3.Parámetros que considera la clasificación RMR de Bieniawski

Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple o bien el ensayo de carga puntual (Point Load). (8)

a) RQD (Rock Quality Designation)

Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD (Rock Quality Designation) de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del sondeo. Evidentemente existen otros métodos para determinar el RQD.

b) Separación entre discontinuidades

Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas la de roca.

c) Estado de las discontinuidades

Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

d) Presencia de agua

La valoración máxima es de 15 puntos. La ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.

e) Orientación de las discontinuidades

Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre O y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde muy favorable hasta muy desfavorable.

Tabla 4*. Parámetros que considera la clasificación RMR*

de Bieniawski

A. Parámetros de calificación y puntajes									
Parámetro			**Rango de valores y puntajes**						
1	Resistencia de la roca intacta (MPa)	Índice de resistencia de carga puntual	> 10	4 – 10	2 - 4	1 - 2	Para este rango bajo se prefiere el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0
2	Calidad del testigo, RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Puntaje		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades (m)		> 2	0,6 - 2	0,2 – 0,6	0,06 – 0,2	< 0,06		
	Puntaje		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidades (Ver E)		•Superficies muy rugosas •No continuas •Sin separación •Roca pared no meteorizadas	•Superficie ligeramente rugosa •Separación <1mm •Roca pared	•Superficie ligeramente rugosa •Separación <1mm •Paredes altamente meteorizadas	•Superficies lisas, o •Relleno <5mm, o •Separación 1-5 mm •Continuas	•Relleno blando >5mm de espesor, o •Juntas abiertas •Continuas		
	Puntaje		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal de filtración por 10 m de túnel (lt/min)	Nulo	< 10	10 – 25	25 - 125	> 125		
		(Presión de agua en juntas)/Esfuerzo principal mayor, σ_1)	0	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteado	Flujo		
	Puntaje		15	10	7	4	0		

Tomado de Bieniawski

f) RMR (Rock Mass Rating)

Se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR (Rock Mass Rating) oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca, esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR (Rock Mass Rating), queda una estimación de la calidad del macizo rocoso, Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR (Rock Mass Rating) que varía entre 0–100. Los objetivos de esta clasificación son: (8)

- ✓ Determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso.
- ✓ Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- ✓ Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- ✓ Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

2.4.3 Sistema de clasificación Q de Barton

Denominada clasificación de Barton fue desarrollada en Noruega en 1974; por Barton, Lien y Lunde, en el Instituto Geotécnico Noruego. Se basó su estudio en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia, en 1974. La clasificación Q, de Barton asigna a cada terreno un índice de calidad Q, tanto mayor, cuanto mejor, es la calidad de la roca. Su variación no es lineal como la del RMR, sino exponencial y oscila entre Q = 0.001; para terrenos muy malos y Q=1000; para terrenos muy buenos; el valor de Q se obtiene de la expresión. (9)

$$\mathrm{Q} = \frac{RQD}{Jn} x \frac{\mathrm{Jr}}{Ja} + \frac{\mathrm{Jw}}{SRF}$$

Donde:

- ✓ RQD: Rock Quality Designation (%)
- ✓ Jn: Número de sistemas de discontinuidades
- ✓ Jr: Número de rugosidad de discontinuidades
- ✓ Ja: Número de alteración de discontinuidades
- ✓ Jw: Agua en discontinuidades
- ✓ SRF: Factor de reducción por esfuerzos

$\frac{RQD}{Jn}$: Tamaño de los bloques

$\frac{Jr}{Ja}$: Resistencia al corte entre bloques

$\frac{Jr}{Ja}$: Esfuerzos activos

2.4.3.1.Parámetros que considera la clasificación Q de Barton

RQD es el índice de designación de la calidad de la roca, o al menos, la proporción en porcentaje entre la cantidad de las longitudes centrales de una perforación más prominente de 10 cm y la longitud total. Barton demuestra que es adecuado tomar la RQD, en aumentos de 5 en 5, y que básicamente se toma RQD=10. (9)

- ✓ Jn difiere en el rango de 0,5 y 20 y depende de la cantidad de familias de juntas en el macizo. (9)

- ✓ Jr: cambia en algún lugar en el rango de 1 y 4 y depende de la desagradabilidad de las articulaciones. (9)
- ✓ Ja: cambia en algún lugar en el rango de 0,75 y 20 y depende del nivel de ajuste de los divisores de juntas de piedra. (9)
- ✓ Jw: cambia en algún lugar en el rango de 0,05 y 1, dependiente de la presencia de agua en el paso. (9)
- ✓ SRF, representa el Factor de Reducción de Tensión y depende de la condición tensional de la piedra que atraviesa el paso. (9)
- ✓ Para obtener cada uno de los últimos cinco parámetros, Barton proporciona tablas en las que los valores relativos se obtienen por la representación sumada de la masa de la piedra. Además, los coeficientes de los elementos tienen un significado excepcional. (9)
- ✓ (RQD/Jn): Indica el tamaño de la plaza. (9)
- ✓ (Jr/Ja): Resistencia al corte entre bloques. (9)
- ✓ (Jw/SRF): Influencia del estado de presión. (9)

Tabla 5. ***Calidad del testigo "RQD" en la Q de Barton***

A	Muy mala	0.25
B	Mala	25-50
C	Media	50-75
D	Buena	75-90
E	Excelente	90-100

Tomado de Deere, Peck, Parker, Monsees, & Schmidt

Tener en cuenta que cuando se obtienen valores RQD inferiores o iguales a 10, se toma el valor de 10; para calcular Q. Los intervalos de 5 unidades para RQD, es decir 100, 95, 90 se tiene suficiente precisión.

Tabla 6. ***Valoración del índice de diaclasado Jn***

A	Roca masiva, sin diaclasa o fisuración escasa.	0.5 - 1.0
B	Una familia de diaclasa.	2
C	Una familia y alguna diaclasa aleatoria.	3
D	Dos familias de diaclasas.	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias.	6

F	Tres familias de diaclasas.	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro a más familias diaclasa aleatoria, roca fracturada roca en terrenos.	15
J	Roca triturada, terrosa.	20

Tomado de Deere et al

Nota: En intersección de túneles se utiliza la expresión (3 Jn), En las bocas de los túneles se utiliza la expresión (2 Jn)

- **Valorización del índice de rugosidad Jr de las discontinuidades**

a) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad.

b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm. Se muestra en la Tabla.

Tabla 7. ***Valoración del índice de rugosidad, zonas con contacto entre dos caras***

A	Diaclasa continúa.	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	3
C	Diaclasas onduladas lisas.	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisos.	1.5
E	Diaclasas planas, rugosas o irregulares.	1.5
F	Diaclasas planas, lisos	1.0
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas.	0.5

Tomado de Barton & Bandis

Nota: Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden.

No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante.

c) Sin contacto de roca después de un cizalle de 10 cm. (Ver la tabla siguiente)

Tabla 8. ***Valoración del índice de rugosidad, zonas sin contacto de roca***

H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad.	1.0
J	Zona arenosa, de grava o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad.	1.0

Tomado de Barton, Lien, & Lunde

Nota: Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3m, se debe aumentar el índice Jr en una unidad. En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones, y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor Jr. = 0.5. (9)

Tabla 9*. Valoración del índice de alteración de las discontinuidades*

Descripción		ø	Ja
Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedio).			
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos impermeable, cuarzo.	-	0.75
B	Planos de discontinuidades inalteradas, superficies ligeramente manchadas.	25-35°	1.0
B	Planos de discontinuidades ligeramente alterados, presentan minerales no reblandecibles, partículas	25-35º	2.0
D	Recubrimiento de arcillas limosas o arenosas fracción pequeña de arcilla (no blanda).	20-25º	3.0
E	Recubrimiento de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica, también clorita, talco, yeso, grafito, etc. y pequeñas cantidades de arcilla expansiva montmorillonita.	8-16º	4.0
Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores).			

F	Partículas arenosas, rocas desintegrada libre de arcilla, etc.	25-30	4.0
G	Fuertemente sobre consolidados, con relleno de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores inferiores 5mm).	12-16º	6
H	Sobre consolidada media a baja, con reblandecimiento, relleno de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores interiores a 5 mm).	12-16º	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, es decir tipo montmorillonita (continuos, pero con espesores a 5 mm). El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansiva.	6-12º	8-12
No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad entre un desplazamiento cortante (relleno de mineral de gran espesor).			
KLM	Zonas o bandos de roca desintegrada o triturada y arcillas. (Ver G, H y J para la descripción de condiciones de arcillas).	6-24º	6.8 8-12
N	Zonas o bandas de arcilla limosos o arenosas con pequeñas fracciones de arcilla no reblandecibles.	-	5.0
O, P, R	Zonas o bandas continúas de arcilla de espesor grueso. (Ver clase G, H y J para describir condiciones de arcilla.)	6-24º	10,13 ó 13-20

Tomado de Barton et al

Los valores expresados para los parámetros Jr y Ja se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad tanto por la orientación de estas, como su resistencia al corte. (Esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión T =on Tg-1 (Jr/Ja). El agua induce a tomar en cuenta un factor de reducción, ver Tabla. (9)

Tabla 10*. Factor de reducción por la presencia de agua*

	Descripción	Presión de agua Kg/cm^2	Jw
A	Excavación seca o pequeñas afluencias.	<1	1.0
B	Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades.	1-25	0.66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno.	25-10	0.50
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de rellenos de diaclasas.	25-10	0.33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar voladores decreciendo en el tiempo.	>10	0.2-0.1
F	Afluencia excepcionalmente alto o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable.	>10	0.2-0.05

Tomado de Barton N

Nota: Los valores C, D, E y F, son meramente estimativos, se acometen medidas de drenaje puede incrementarse el valor Jw. No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación del hielo. (9)

- **Valoración de las condiciones tensionales de la roca (SRF)**

Las zonas débiles intersecan a la excavación pudiendo producirse desprendimiento de roca a medida que la excavación vaya avanzando. La valoración SRF se da de acuerdo con las condiciones generales del macizo rocoso, pudiendo presentarse en 7 casos, los cuales se muestran a continuación en la Tabla. (9)

Tabla 11. ***Valoraciones SRF***

	SRF
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad).
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación ≤50 m).
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación > 50m).
D	Múltiples zonas de fractura en roca competente (libre de arcillas) roca de contorno suelta (a cualquier profundidad).
E	Zona de fractura aislada en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación ≤ 50m).
F	Zona de fractura aislada en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación > 50m).
G	Terreno suelto, diaclasa abiertos, fuertemente fracturado, en terrenos, etc. (a cualquier profundidad).

Tomado de Barton et al

Nota: Se reducen los valores expresados SRF entre un 20-50% si las zonas de fractura solo ejercen cierta influencia, pero no intersecan a la excavación. Ver Tabla. (9)

Tabla 12. ***Rocas competentes, problemas tensionales en rocas Oc/O, O/c, SRF***

H	Tensiones pequeñas cerca de las superficies diaclasa abierta.
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables.
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta normalmente favorable para la estabilidad, puede sr desfavorable para la estabilidad de los hastiales.
L	Lajamiento modelado de roca después de 1 hora en rocas masivas.
M	Lajamiento y astillado de la roca después de algunos minutos en rocas masivas.
N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en rocas masivas.

Tomado de Barton et al

Una vez asignado los valores a todos los parámetros que interviene, se calcula el valor numérico del índice, Q con la siguiente formula:

$$\boldsymbol{Q} = \frac{RQD}{Jn}\ x\ \frac{Jr}{Ja}\ x\ \frac{Jw}{SRF}$$

Este valor de Q, nos indica la descripción de la calidad del macizo rocoso. Ver Tabla.

Tabla 13. ***Clasificación del macizo rocoso según Barton***

Descripción	Valor "Q"
Excepcionalmente buena	400 - 1000
Extremadamente buena	100 - 400
Muy buena	40 – 100
Buena	10 – 40
Regular	4 – 10
Mala	1 – 4
Muy mala	0.1 - 1
Extremadamente mala	0.01 – 0.1
Excepcionalmente mala	0.001 – 0.01

Tomado de Barton

2.4.4Manipulación y transporte de explosivos, según manual práctico de voladura EXSA

La voladura más que ingeniería es un arte de máxima rigurosidad y seguridad a la hora s su manipulación y uso tiene que ser utilizados de maneras responsable y con los permisos correspondientes con su debida supervisión para lograr un resultado óptimo con cero accidentes. Estas medidas deberán adoptar las personas involucradas en el carguío y disparo de los taladros cargados. Cuando uno está trabajando y manipulando no se debe fumar, no golpear, ni dar trato violento o brusco a las cajas con contenidos de mezclas explosivas comerciales y los iniciadores respectivos debido a que estos son sensibles a los golpes y al fuego, también estas se deben utilizar de acuerdo con la llegada es decir se tiene que utilizar los más antiguos no los más recientes. (10)

2.4.5 Evaluación de estabilidad de excavaciones

La siguiente valoración es aplicada a os trabajos de avance con secciones de 4.50 m x 4.50 m y para las secciones de 4.00 m x 4.00 m respectivamente. En la tabla siguiente se muestra la clasificación del macizo rocoso y parámetros mecánicos del macizo rocoso

Tabla 14. ***Clasificación del macizo rocoso y parámetros mecánicos del macizo rocoso***

Clasificación geomecánica		Parámetros mecánicos	
Propiedad	Valor	Parámetro	Valor
Litología	Galena	Módulo de Elasticidad (E)	*5430*
RMR	60	Parámetro mb	*1.48*
Tipo de roca	III Regular	Parámetro “s”	*0.0021*
GSI	MF/R	Esfuerzo Vertical σv o σz	*11.93*
GSI numérico	50	Esfuerzo máximo σ1	*13.54*
RCU (Mpa)	120.54	Relación K	*0.45*
Profundidad	475	Esfuerzo mínimo σ3	*5.14*
Condición hidrogeológica	fluyendo	Relación de poisson v	*0.27*

2.4.6 Índice de resistencia geológica según Hoek

La clasificación geomecánica GSI índice de resistencia geológica desarrollada por Hoek, 1995, Es un índice basado en observaciones geológicas y que además cubre el rango de las rocas de mala calidad; evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado de fracturamiento y las características de discontinuidades. Con el fin de ampliar al rango de aplicación del criterio generalizado, sobre a todo a macizos rocosos de mala calidad, y emplear parámetros más geológicos para la evaluación de su resistencia, Hoek (1994) y Hoek et al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades**.**

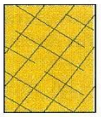
CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (*blockiness*) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación. ESTRUCTURA	CONDICIÓN DEL FRENTE	MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
 BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.		**BR/MB**	**BR/B**	**BR/M**	**BR/P**	**BR/MP**
BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		**BI/MB**	**BI/B**	**BI/M**	**BI/P**	**BI/MP**
BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.		**BC/MB**	**BC/B**	**BC/M**	**BC/P**	**BC/MP**
FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.		**FI/MB**	**FI/B**	**FI/M**	**FI/P**	**FI/MP**

Figura 2. Caracterización del macizo rocoso
Tomado de Hoek y Hoek et al

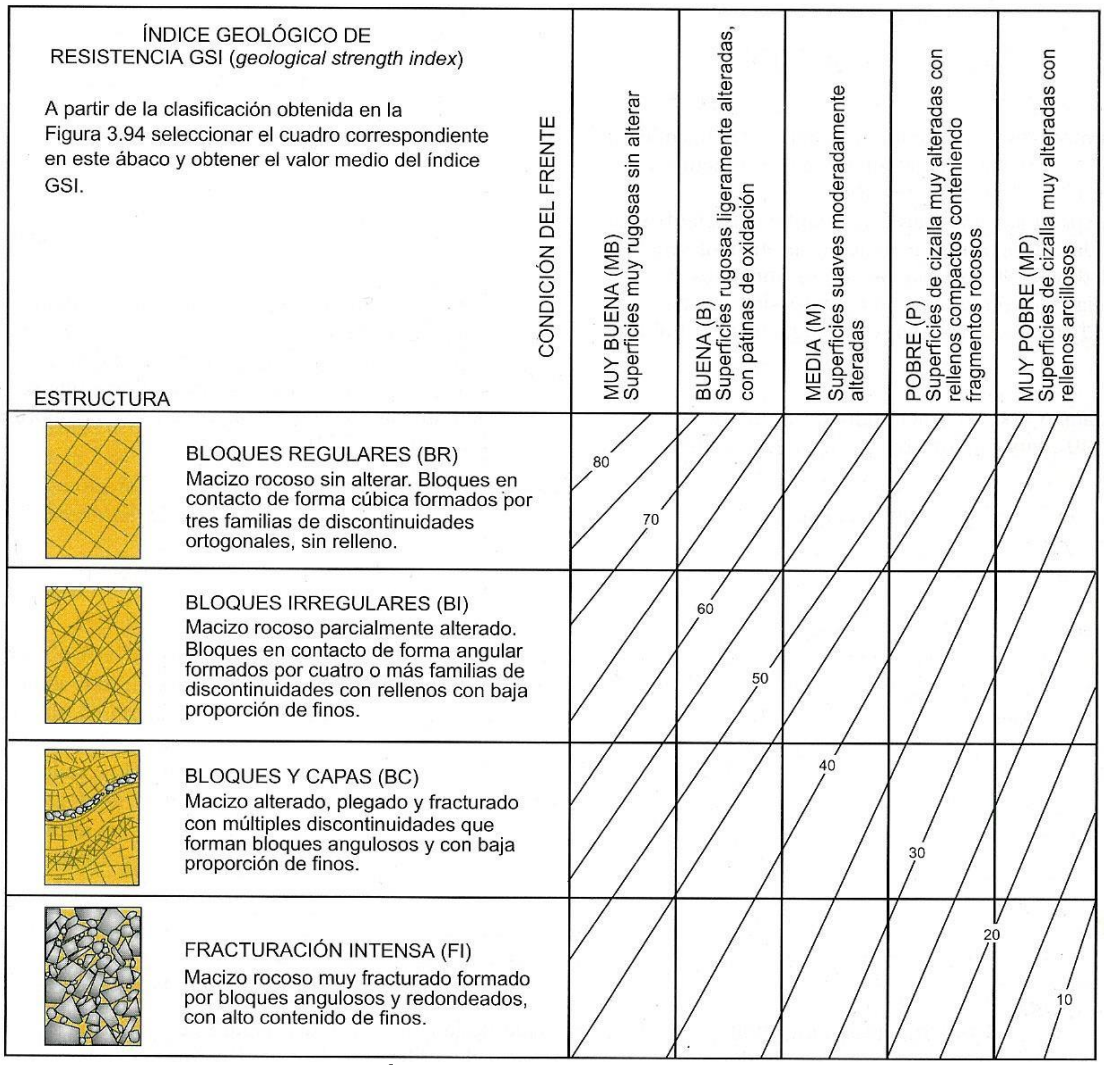


Figura 3. Índice geológico de resistencia GSI
Tomado de Hoek y Hoek et al

Para GSI>25 (macizos de media a buena calidad) este índice puede obtenerse a partir del RMR, mediante la correlación siguiente, en cuyo caso debe asignarse un valor de 15 para las condiciones de agua del macizo rocoso y un valor de 0 al parámetro de ajuste para la orientación de las discontinuidades: GSI=RMR (89)-5. (11)

En macizos rocosos de mala calidad, es difícil obtener con precisión el valor del índice RMR. Con la intención de obtener un índice basado en observaciones geológicas y que además cubriese el rango de las rocas de mala calidad, surge el índice GSI, “Geolical Streght Index” (Hoek, Kaiser y Bwden, 1995). Este índice evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado de fracturamiento y las

características de las discontinuidades. También tiene en cuenta a la estructura geológica, el tamaño de los bloques y la alteración de las discontinuidades.

Las relaciones entre el índice GSI y el índice RMR, dependiendo de la versión del índice RMR utilizado (1976 o 1989), se detallan a continuación: (11)

- Si el RMR (76) >18, GSI=RMR (76)
- Si RMR (76) <18, no se puede utilizar el RMR (76) para la obtención del GSI.
- Si RMR (89)>23, GSI=RMR (89)-5

RMR (89) <23, no se puede utilizar el RMR (89) para la obtención del GSI.

De acuerdo con el reporte de Geomecánica realizado, el macizo rocoso donde se efectuó los cortes directos in-situ en roca con 21 fracturas por metro lineal, ligeramente rugosas, ligeramente abiertas, de baja resistencia a la compresión se rompe con un golpe de picota de geólogo, se encuentra con manchas de óxidos y presencia de sales. (11)

Tomando en consideración la Figura, la estructura se encuentra como de Bloques y Capas (BC) es equivalente a un macizo rocoso alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos. La condición del macizo rocoso es equivalente a Pobre (P) son superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos. (11)

2.4.7Ley de armas de fuego, municiones, explosivos, productos pirotécnicos y materiales relacionados de uso Civil -SUCAMEC

2.4.7.1.Instalaciones para el almacenamiento de explosivos y materiales relacionados

Para efectos del presente reglamento se considera polvorín o almacén a los locales o instalaciones aprobadas o certificados por la SUCAMEC en los cuales se puede depositar explosivos o materiales relacionados propios o de terceros.
La autorización de almacenamiento por cada polvorín o almacén se otorga por el plazo máximo de un (1) año calendario contado desde su emisión. No obstante, mediante Directiva aprobada por Resolución de Superintendencia se regula los casos que requieran una vigencia mayor, siendo el plazo máximo de

cinco (5) años calendario, contado desde su emisión. Este plazo puede ser renovado de acuerdo con los requerimientos y necesidades de su titular. (12)

Los polvorines o almacenes deben contar con las medidas de seguridad y cumplir con las especificaciones descritas en el presente reglamento y en la directiva correspondiente aprobada mediante Resolución de Superintendencia, en concordancia con la normatividad de la materia.

Las instalaciones de almacenamiento deben preferentemente estar ubicadas dentro del perímetro de la zona donde se desarrolle la actividad que requiere el uso de explosivos, o en una zona cercana a ella, de modo que su traslado hacia la zona de operación o voladura propiamente dicha no represente un riesgo elevado de desvío o siniestro. En caso contrario, cada uno de dichos movimientos de material debe contar con autorización de traslado y la correspondiente guía de tránsito. (12)

2.4.7.2.Obligatoriedad de contar con polvorín o almacén

Las personas naturales o jurídicas que deseen comercializar, importar, exportar, adquirir o utilizar explosivos o materiales relacionados, están obligadas a contar previamente con autorización para el almacenamiento de dichos productos, a contratar los servicios especializados de empresas autorizadas para el almacenamiento y que cuenten con un polvorín o almacén aprobados, o arrendar dichas instalaciones a terceros que cuenten con autorización de almacenamiento e instalaciones adecuadas y aprobadas, siendo cualquiera de estas condiciones necesaria y obligatoria para el desarrollo de cualquier actividad vinculada con explosivos o materiales relacionados de uso civil.

El almacenamiento de explosivos o materiales relacionados de uso civil en instalaciones militares se realiza a través de convenios con las dependencias militares competentes, conforme a lo señalado en el artículo 224 del presente reglamento. (12)

Ley de armas de fuego, municiones, explosivos, productos pirotécnicos y materiales relacionados de uso civil

2.4.7.3.Obligación de informar ingresos y egresos de explosivos o materiales relacionados

Los titulares de una autorización de almacenamiento de explosivos o materiales relacionados, así como los arrendatarios o cesionarios de las instalaciones de estos están obligados a llevar un registro de los ingresos y egresos diarios de dichos productos a sus respectivos polvorines o almacenes, el cual debe ser presentado a la SUCAMEC en la forma y plazos establecidos en la respectiva Directiva. (12)

2.4.7.4.Clasificación de los polvorines o almacenes

De acuerdo con sus características y medidas de seguridad, los polvorines o almacenes a ser utilizados para el almacenamiento de explosivos o materiales relacionados se clasifican en: (12)

a) **Polvorines permanentes**: son aquellas instalaciones superficiales o subterráneas cuya infraestructura o medidas de seguridad les permiten ser utilizados durante periodos prolongados. Se vinculan con actividades que requieren el uso constante de explosivos o materiales relacionados. Pueden ser de material noble o del tipo contenedor.

b) **Polvorines provisionales**: son aquellos ubicados dentro de la obra u operación de o en áreas aledañas, en los cuales solo se puede almacenar explosivos o materiales relacionados que se utilice durante la jornada, sin que por ningún motivo puedan permanecer almacenados dentro de ellos fuera de dicha jornada. En el caso de actividades relacionadas con la explotación o exploración de hidrocarburos, la autorización de almacenamiento en polvorines provisionales puede considerar la naturaleza y duración del proyecto.

c) **Polvorines móviles:** aquellos donde se almacene explosivos o materiales relacionados utilizados en obras de corto período y que, al vencimiento o avance de estas, pueden ser trasladados o cambiados de ubicación, siempre que no contengan explosivos o materiales relacionados.

d) Polvorines especiales: tanques, canchas o silos donde se almacena explosivos o materiales relacionados a granel, en gel o emulsión.

e) Almacenes:

- ✓ Almacenes tipo bidón o cisterna: aquellos donde se almacena y traslada emulsión matriz de nitrato de amonio por un periodo máximo de quince (15) días calendario.

- ✓ Almacenes de tránsito para explosivos o materiales relacionados: instalaciones donde se puede almacenar explosivos o materiales relacionados que ingresen al país antes de su internamiento y nacionalización, que vayan a ser exportados o que se encuentren dentro de territorio nacional en tránsito hacia otro país. El almacenamiento de este tipo de productos puede ser por un período máximo de treinta (30) días calendario, contado desde su ingreso al almacén.

- ✓ Almacenes permanentes: instalaciones permanentes donde se puede almacenar insumos que no estén destinados a la fabricación de explosivos. (12)

2.4.7.5.Medidas de seguridad y distancias mínimas entre instalaciones de almacenamiento

Las instalaciones aprobadas para el almacenamiento de explosivos o materiales relacionados deben ubicarse en lugares alejados de edificaciones, viviendas, conjuntos habitacionales, carreteras, vías férreas, zonas de riesgo, centros o locales de concentración humana y, además, deben respetar las medidas y distancias mínimas de seguridad requeridas para su adecuada ubicación e instalación.

Estas instalaciones deben ser acondicionadas y tener las características requeridas según el grado de peligrosidad, riesgo de explosión o reacción o compatibilidad de los explosivos o materiales relacionados a ser almacenados en ellas. Las medidas de seguridad y distancias mínimas para la ubicación de las instalaciones destinadas al almacenamiento de explosivos y materiales

relacionados, así como los respectivos parámetros técnicos para su acondicionamiento y funcionamiento se establecen en Directiva, aprobada mediante Resolución de Superintendencia. (12)

2.5 Definición de términos básicos

a) **Accesorio de voladura. -** Los accesorios de voladura son aquellos elementos que constituyen un sistema de iniciación para cualquier tipo de mezclas explosivas comerciales de las que podemos tener de diferentes fabricantes, como son Exsa, Famesa, Enaex entre otros.

b) **Agente de voladura. -** Son aquellos productos de gran potencia explosiva, que también se suele llamar mezclas explosivas de las que se pueden clasificar de acuerdo con su potencia de explosión en altos explosivos y bajos explosivos, que necesita de un "prime"' para generar una detonación y explosión.

c) **Barricada. -** Es una pared que pueden ser construido o natural, los cuales van a servir para remeter las ondas expansivas producidas cuando haya explosión.

d) **Estabilidad. -** Podemos definir como el equilibrio que cuenta cada elemento, en el caso de las rocas, es el equilibrio que va a tener sin sufrir ningún tipo de fractura o deslizamiento.

e) **Geomecánica. -** Es el estudio del comportamiento del macizo rocoso que incluye estudio geológico.

f) **Herramientas no ferrosas. -** Son aquellos materiales que están fabricados de un material que no puede producir chispas al golpear o al utilizarlo, estos pueden fabricarse de madera, aluminio entre otros.

g) **Macizo rocoso. -** Es la masa rocosa que compone a la tierra, es la roca intacta que se presenta en su conjunto.

h) Manipulador de explosivos. - Es la persona encargada de la manipulación y transporte de los explosivos y accesorios de voladura, debe contar con licencia emitida por la SUCAMEC y estar capacitado para dicho trabajo.

i) Polvorín. - Es una construcción o espacio que está acondicionado para almacenar las mezclas explosivas comerciales y debe contar con autorización y medidas de seguridad.

j) Polvorín subterráneo. - Es una construcción o espacio que está acondicionado para almacenar las mezclas explosivas comerciales, a diferencia del polvorín clásico esta construcción se realiza dentro de las labores mineras subterráneas aprovechando los espacios dejados.

k) Polvorín auxiliar. - Es aquel que se encuentra dentro de la mina y se utiliza solamente para almacenar explosivos que se usan durante el trabajo del día no requiere autorización de la SUCAMEC.

l) SUCAMEC. - Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil. Es la encargada de supervisar y emitir licencias y permisos para el uso y manejo de mezclas explosivas comerciales e iniciadores de tronadura para cualquier rubro.

m) Techo deleznable. - Es un material que se rompe con facilidad a razón que tiene poca resistencia estos pueden erosionar con mayor facilidad que otros materiales de mayor resistencia.

n) Tratamiento ignifugo. - Es tipo de tratamiento de se les da a los materiales esto pueden ser a base de pintura, barniz u otro componente químico que reduzca el riesgo de una posible combustión.

CAPÍTULO III
MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Método general o teórico de la investigación

a) Método general

El método general de la investigación es el método científico basado en el desarrollo sistemático y ordenado, proceso que regirá para la recolección de datos de campo, procesamiento de la información y tabulación de conclusiones.

b) Método específico

El método científico, el establecimiento de normas duraderas, además, no crea consecuentemente información, sino que requiere todo un proceso de evaluación que intente conseguir la variedad de habilidades y datos, por lo que se ha propuesto un plan de trabajo en el que se atienden los focos adjuntos: planteamiento de la cuestión, reconocimiento de las realidades, revelación de la cuestión y detalle de la misma.

- Desarrollo del modelo hipotético: selección de ejemplos pertinentes, innovación de teorías focales, interpretación en lenguaje numérico.

- Admisión de métodos específicos: búsqueda de respaldos objetivos y observacionales.

- Comprobación de la teoría: diseño de la prueba, ejecución de la prueba, elaboración de la información, inducción del fin.

- Presentación de los extremos en la hipótesis: comparación de los extremos con las previsiones, corrección del modelo, siempre que sea vital, e ideas de trabajos anteriores o posteriores.

3.1.2 Alcance de la investigación

a) Tipo de investigación

En la etapa de búsqueda del tema de investigación, etapa que se presenta previa a la formulación de un plan o proyecto, es importante interrogarse acerca de la naturaleza y los propósitos de la investigación a desarrollar, de tal manera que nos lleve a asignarle un carácter tipo a dicho estudio.

El tipo de investigación es aplicada, debido que su función es aplicar los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema de la construcción del polvorín para la unidad minera.

b) Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo - correlacional, el propósito consiste en describir las características del macizo rocoso para establecer la relación que existe entre las variables.

En la investigación descriptivo-correlacional, lo primero que se realiza es describir los datos respondiendo las preguntas para luego poder establecer el grado de relación que existe entre los variables.

3.2 Diseño de la investigación

La palabra “diseño” se refiere al plan o estrategia concebida para obtener información que se desea. El diseño señala al investigador lo que debe hacer para alcanzar sus objetivos de estudio y para contestar las interrogantes de conocimiento que se ha planteado.

El trabajo de investigación es no experimental y de corte transversal. Se utilizó los antecedentes de investigadores que han descrito, correlacionado y explicado las características y propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso que inciden en el diseño y construcción del polvorín.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Unidad minera Ebenezer

3.3.2 Muestra

Galería Magna, de la unidad minera Ebenezer

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Para la recolección de los datos de campo se emplearán las técnicas de:

- ✓ Entrevistas
- ✓ Encuesta
- ✓ Observación
- ✓ Libros de datos
- ✓ Diagrama de flujo

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Entre los instrumentos y equipos podemos citar los siguientes:

- ✓ Equipo topográfico (Estación Total)
- ✓ Equipo de laboratorio de mecánica de rocas
- ✓ Cámara fotográfica y filmadora
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Formatos para la toma de datos de campo
- ✓ Martillo de Schmidt
- ✓ Peine Barton
- ✓ Wincha
- ✓ Libreta de campo

3.4.3 Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos obtenido se realizará utilizando los siguientes programas, herramientas y Software.

- ✓ Excel
- ✓ Word
- ✓ Civil 3D
- ✓ Dips
- ✓ Geotable
- ✓ Cartilla de Bieniawski

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer

La caracterización geomecánica del macizo rocoso, va de la mano de la toma de datos de los frentes de avance del túnel o galería principal, en el cual se va a realizar las cámaras del polvorín para la Unidad Minera Ebenezer, en la siguiente sección se detalla la clasificación Geomecánica del macizo rocoso.

4.1.1 Caracterización geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer

4.1.1.1Resultados del tratamiento y análisis de la información

a) La presente investigación se ha preparado como resultado del mapeo geológico regional programado en el presente año con la finalidad de evaluar y definir áreas prospectivas en las propiedades de la unidad minera Ebenezer, en el área Magna.

b) En el mes de febrero se inicio la Fase-I de reconocimiento regional, que incluye el mapeo geológico estructural a escala 1=10,000 y muestreo geoquímico de afloramientos y labores mineras antiguas en las zonas externas del área central del sistema Magna. La extensión final mapeada es de 20 has.

c) El mapeo se ha realizado sobre planos base por restitución fotogramétrica, los mismos que obran en la oficina de exploraciones – Lima. Se ha contado con la ayuda de fotografías aéreas para el mapeo e interpretación de estructuras mayores; los muestreos realizados incluyen muestras de canal y chips rocks sobre afloramientos de estructuras mineralizadas, zonas de alteración y otras de interés, también se han muestreado algunas labores antiguas por canal, que han sido analizadas inicialmente en el laboratorio (Cu-Pb-Zn-Ag-Fe) y las contramuestras han sido enviadas a Lima a los laboratorios Act Labs y CIMM para los ensayes geoquímicos respectivos.

Tabla 15*. Leyes promedias de la unidad minera Ebenezer*

Elemento	Anomalía
Au ppb	851 - 958
Cu. %	0.76 - 3.00
Zn. %	0.56 - 0.92
As ppm	392 - 3400
Mo ppm	58

4.1.1.2 Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la unidad minera Ebenezer

Se realizó el levantamiento de la información para la caracterización geomecánica para la implementación de la cámara de los explosivos y la cámara de los accesorios del explosivo, se todo lo datos estructurales entre fallas y discontinuidades del macizo rocoso como los demás parámetros primordiales para poder caracterizar el macizo rocoso en el nivel magmático de la unidad minera Ebenezer.

En la siguiente tabla se muestra el mapeo utilizado para recopilar información geotécnica de detalle para cada disparo, obteniendo la clasificación RMR, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer.

Tabla 16. ***Mapeo utilizado para recopilar información geotécnica de detalle para cada disparo, obteniendo la clasificación RMR, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer***

UNIDAD MINERA EBENEZER

LUGAR:	Unidad Minera Ebenezer
NIVEL:	nivel Magna
LABOR:	Camara - Polvorin interior mina
POR:	E.R
FECHA:	23/01/2020
HOJA:	1

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA RUMBO.	BUZAMIENTO	TRAMO DESDE	HASTA
1	N40°E	03°	67.40	70.00

TIPO DE ROCA A	%	B	%	FRECUENCIA FRACTURA N° Fract./ml.
Tufo Volcanico con azufre nativo	10	Tufo volcanico	90	16

TIPO ESTRUC.	ORIENTACION DIR. BUZAMIENT.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	RELLENO TIPO	ESPESOR	COMENTARIOS
D	120	64	10	LIMP.	< 5 mm.	
D	135	85	15	LIMP.	< 5 mm.	
D	175	85	12	LIMP.	< 5 mm.	
D	140	88	15	LIMP.	< 5 mm.	
F	5	75	12	RELLENO	< 5 mm.	
D	95	78	10	LIMP.	< 5 mm.	
D	145	50	12	LIMP.	< 5 mm.	

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)					VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7) X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10) X	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	8
	PERSISTENCIA	<1m long. (6) X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4
CONDICION DE	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4) X	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3) X	Lisa (1)	Espejo de Falla (0)	4C	1
JUNTAS	RELLENO	Limpia (6)	Dura<5mm (4)	Dura>5mm (2) X	Suave<5mm (1)	Suave>5mm (0)	4D	1
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3) X	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRANEA		Seca (15) X	Humeda (10)	Mojada (7)	Goteo (4)	Fluja (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (suma de valoracion de 1 al 5)								49
AJUSTE POR ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES							-5	44
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		III-B
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO DE CONTORNO

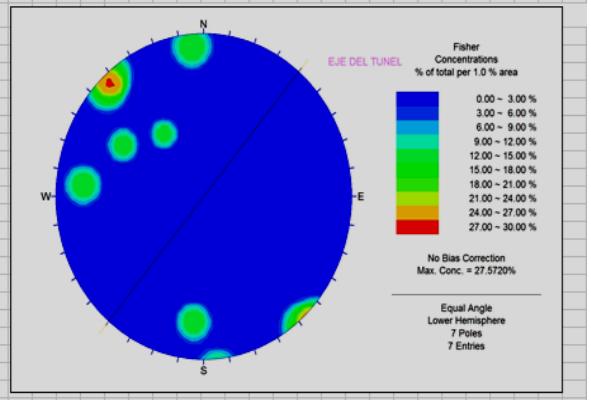
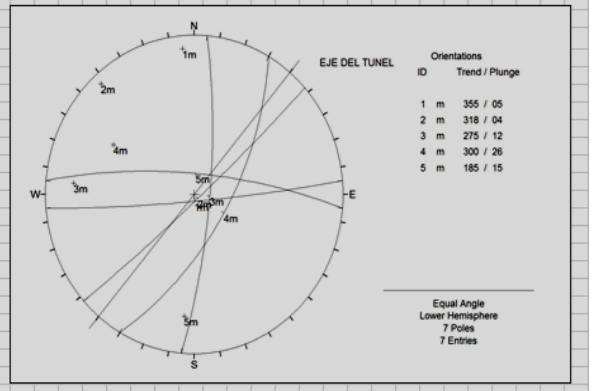


DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO DE PLANOS PRINCIPALES



GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

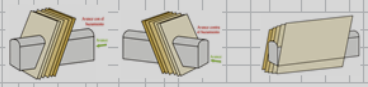
GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de alteración en el material rocoso. Quizás lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica alteración. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

AJUSTE DE LA VALORACION POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES

PARAMETRO		MUY FAVOR.	FAVORABLE	REGULAR	DESF.	MUY DESF
VALORACIONES	TUNELES Y MINAS	0	-2	-5	-10	-12
	CIMENTA.	0	-2	-7	-15	-25
	TALUDES	0	-2	-25	-50	

EFECTO DE LA ORIENTACION Y BUZ. DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELERIA

Rumbo perpendicular al eje del Túnel		Rumbo paralelo al eje del Túnel	
Con el Buz. 45°-90°	Con el Buz. 20°- 45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Moderado
Contra el Buz. 45°-90°	Contra el Buz. 20°-45°	Buzamiento 0°-20°, indep. Del rumbo	
Moderado	Desfavorable	Moderado	



ABREVIA.	ESPACIAMIENTO
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
Ox	OXIDO
Bx	BRECHA
Arc	ARCILLA
Pnz	PANIZO
Cal	CALCITA

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mz	Monzonita
Min	Mineral
Cz	Caliza
Di	Diorita
Ar	Arenisca

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	DIACLASA
Fn	FALLA
V	VETA
E	ESTRATO
Vn	VENILLA
Gt	GRIETAS

COMENTARIOS ADICIONALES

Interpretación:

Por cada mapeo realizado en campo *insitu* se tiene una información estereográfica mediante el *software* Dips, para poder analizar el ingreso en la profundización del túnel en el cual se va desarrollar las cámaras del polvorín para la unidad minera Ebenezer.

En la siguiente figura se muestra la formación de planos menores hacia el sector SE respecto del eje del túnel N40°E, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer,

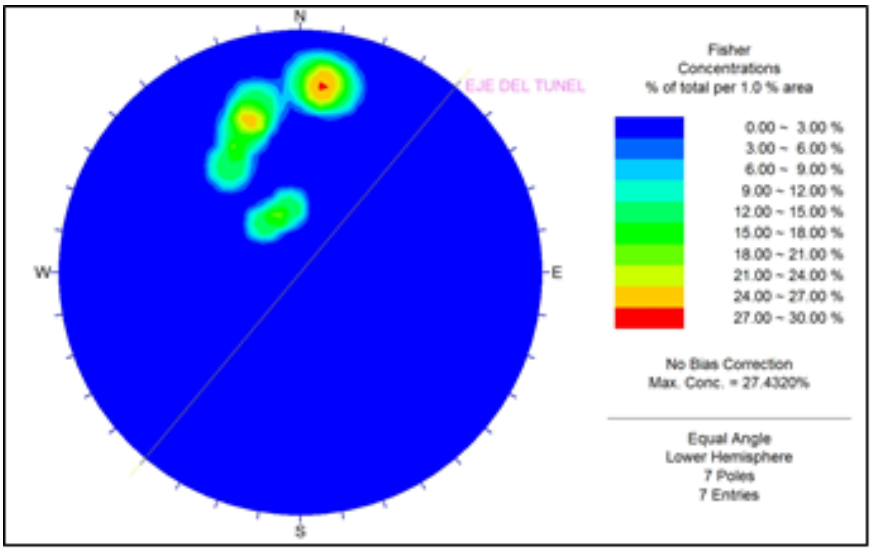


Figura 4. Formación de planos menores hacia el sector SE respecto del eje del túnel N40°E, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer

Interpretación:

En el gráfico se observa la formación de planos menores hacia el sector SE, respecto del eje del túnel N 40°E. La misma corresponde al mapeo realizado a la progresiva 0.0 + 11.69, este se aprecia en el primer disparo retomando la excavación.

En la siguiente figura, se muestra la concentración de polos de las discontinuidades a nivel magmático de la unidad minera Ebenezer.

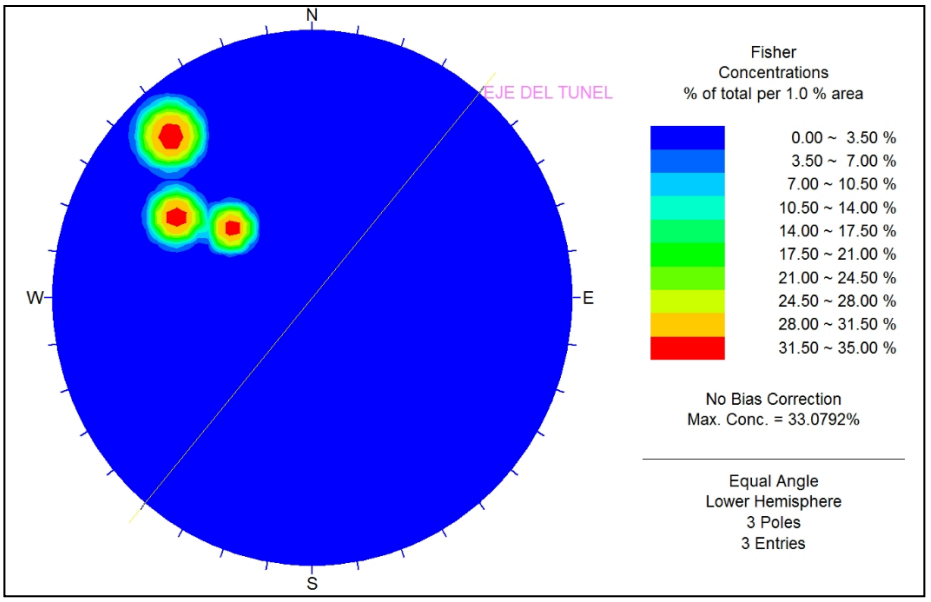


Figura 5. Concentración de polos de las discontinuidades, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer

Interpretación:

En el gráfico se observa que presenta la progresiva de 0.0 + 30.00, aquí se observa tres familias bien definidas hacia el sector SE respecto del túnel.

En la siguiente figura se muestra la concentración de polos de las discontinuidades más falsilla, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer.

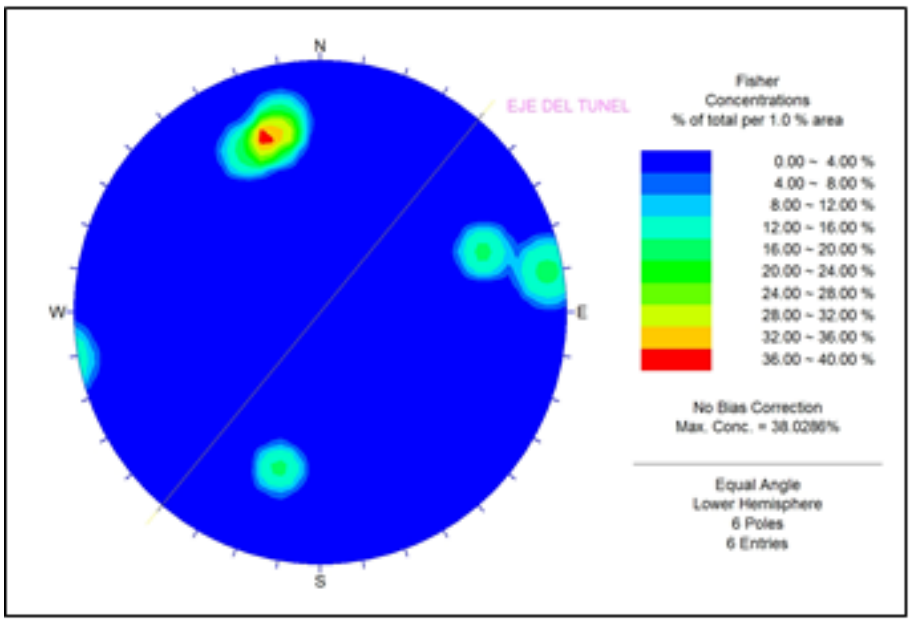


Figura 6. Concentración de polos de las discontinuidades más falsilla, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer

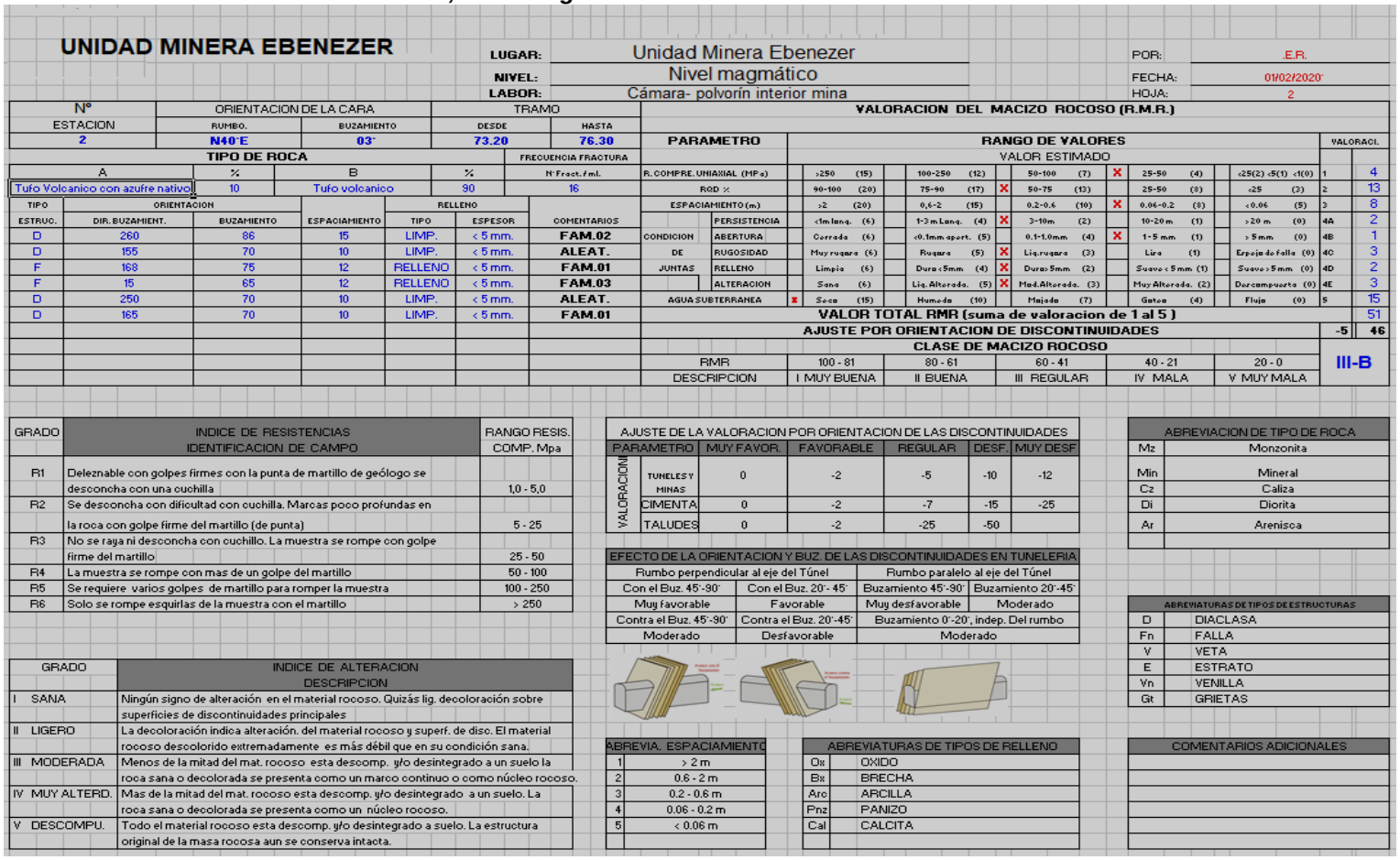
Interpretación:

En el gráfico se observa que presenta la progresiva de 0.0 + 76 m, aquí se tiene una familia bien identificada en el sector E_W.

Se han tomado controles a partir de esta información de estereogramas, así como de información estructural de campo. Para el volver a restructurar la validación del macizo rocoso.

En la siguiente figura se muestra el replanteo del mapeo utilizado para recopilar información geotécnica de detalle para cada disparo, obteniendo la clasificación RMR, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer.

Tabla 17. ***Replanteo del mapeo utilizado para recopilar información geotécnica de detalle para cada disparo, obteniendo la clasificación RMR, nivel magmático de la unidad minera Ebenezer***



UNIDAD MINERA EBENEZER

LUGAR:	Unidad Minera Ebenezer	POR:	E.R.
NIVEL:	Nivel magmático	FECHA:	01/02/2020
LABOR:	Cámara- polvorín interior mina	HOJA:	2

N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA RUMBO.	BUZAMIENTO	TRAMO DESDE	HASTA
2	N40°E	03°	73.20	76.30

TIPO DE ROCA

A	%	B	%	FRECUENCIA FRACTURA N°Fract./ml.
Tufo Volcanico con azufre nativo	10	Tufo volcanico	90	16

TIPO ESTRUC.	ORIENTACION DIR. BUZAMIENT.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	RELLENO TIPO	ESPESOR	COMENTARIOS
D	260	86	15	LIMP.	< 5 mm.	FAM.02
D	155	70	10	LIMP.	< 5 mm.	ALEAT.
F	168	75	12	RELLENO	< 5 mm.	FAM.01
F	15	65	12	RELLENO	< 5 mm.	FAM.03
D	250	70	10	LIMP.	< 5 mm.	ALEAT.
D	165	70	10	LIMP.	< 5 mm.	FAM.01

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)					VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	X 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	X 50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	X 0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	8
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	X 3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X 1-5 mm (1)	>5mm (0)	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	X Dura>5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	2
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	X Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA		X Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Goteo (4)	Fluja (0)	5	15
						VALOR TOTAL RMR (suma de valoracion de 1 al 5)		51
						AJUSTE POR ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES	-5	46
						CLASE DE MACIZO ROCOSO		III-B
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de alteración en el material rocoso. Quizás lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica alteración. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

AJUSTE DE LA VALORACION POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES

	PARAMETRO	MUY FAVOR.	FAVORABLE	REGULAR	DESF.	MUY DESF
VALORACION	TUNELES Y MINAS	0	-2	-5	-10	-12
	CIMENTA	0	-2	-7	-15	-25
	TALUDES	0	-2	-25	-50	

EFECTO DE LA ORIENTACION Y BUZ. DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELERIA

Rumbo perpendicular al eje del Túnel		Rumbo paralelo al eje del Túnel	
Con el Buz. 45°-90°	Con el Buz. 20°- 45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Moderado
Contra el Buz. 45°-90°	Contra el Buz. 20°-45°	Buzamiento 0°-20°, indep. Del rumbo	
Moderado	Desfavorable	Moderado	

ABREVIA.	ESPACIAMIENTO
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
Ox	OXIDO
Bx	BRECHA
Arc	ARCILLA
Pnz	PANIZO
Cal	CALCITA

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mz	Monzonita
Min	Mineral
Cz	Caliza
Di	Diorita
Ar	Arenisca

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	DIACLASA
Fn	FALLA
V	VETA
E	ESTRATO
Vn	VENILLA
Gt	GRIETAS

COMENTARIOS ADICIONALES

Interpretación:

Los datos de campo son plasmados en el formato de mapeo a detalle, el cual es elaborado a cada disparo producido, pero gracias a este análisis podemos ver que se tendrá, el mismo tipo de roca regular III B, a lo largo de los 52 metros de avance respectivamente, pero también es recomendable al notar deficiencias en la perforación y voladura. Se debe de realizar el replanteo del mapeo geomecánico para ir ajustando el diseño de la malla de perforación y voladura. Puesto en conocimiento esta metodología los trabajos para la realización de las cámaras del polvorín, en el nivel magmático será muy beneficiosos para el proyecto a realizar, en la unidad minera Ebenezer.

4.1.1.3 Cálculo del tipo de sostenimiento para el nivel magmático de la unidad minera Ebenezer

Se realizaron los siguientes cálculos:

1. La resistencia del macizo rocoso a los esfuerzos de compresión uniaxial es en promedio de 14.79 Mpa.
2. Asumiendo el campo de esfuerzos K=1.2 obtenemos que los esfuerzos verticales y horizontales son 17.40 Mpa y 20.39 Mpa, lo que nos muestra que este tramo evaluado está sometido a esfuerzos por encima de la resistencia del macizo rocoso.

Según este análisis se recomienda utilizar el lanzado de shotcrete con la utilización de pernos helicoidales de 7 pies para el sostenimiento en todo el tramo a realizar el polvorín.

$$e = \frac{8B}{150}\left\{53 - \frac{3}{4}RMR\right\}$$

$$RMR = 50$$
$$B = 5$$
$$e = 4.5cm$$
$$e = 2$$

Wickham et al.(1972): Método cuantitativo para describir la calidad de un macizo rocoso y para seleccionar el sostenimiento, en base a la Valoración de la Estructura Rocosa (RSR - Rock Structure Rating). Primer sistema que hace referencia al shotcrete. (13)

Las características en función del RMR y el ancho de labor se debe lanzar con 2” de espesor

El espaciamiento entre pernos se calcula en la siguiente fórmula

$$e = \frac{\text{capacidad de anclaje del perno(15tn)}}{h x \rho}$$

h= potencia de bloques 2.8m

ρ= densidad de roca 2.9 tn/m3

e= 1.8m

Se señala que el espaciamiento entre perno es de 1.8 metros.

4.1.2 Diseño del Método de minado para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer

El método de minado por corte y relleno ascendente es un tipo de método de minado el cual es muy fácil de pasar otro método es factible para la realización del polvorín en el nivel magmático de la unidad minera Ebenezer.

4.1.2.1.Diseño detallado del polvorín según el DS-024-2016 EM

El polvorín es el desarrollo dentro del rincón de una tienda como un barrio moldeado para la capacidad de los explosivos modernos.

Las actividades anteriormente mencionadas dependen de la premisa legítima: directrices internas, PETS y otras; éstas nos muestran. Haciendo la diferencia entre estos dos exámenes dirigidos en este trabajo muestra que el plan del

polvorín es vital para la capacidad de tratamiento adecuado de los explosivos y la franja de tiro como se indica en el reglamento establecidoDS-024-2016 EM y satisfactorio con los instrumentos de la junta. Límites La configuración actual del polvorín fue realizada por las necesidades actuales de explosivos por parte de la Organización DIMEPROME S.A.C. y siguiendo las directrices actuales para el desarrollo de polvorines fundamentales como indica el DS-024-2016 EM.

La empresa Exsa S.A. en sus especificaciones de los explosivos se detalla en la ficha técnica del explosivo el cual se toma como referencia en las tablas siguientes.

Tabla 18. ***Volumen del explosivo dinamita***

Explosivo	Dinamita
Largo (Cm)	44,60
Ancho (Cm)	30,80
Alto (Cm)	31,30

Tomado de EXSA (10)

Para la correcta conservación de la dinamita, las dimensiones recomendadas son: largo 44,50 cm, ancho 38,00 cm y altura 39,00 cm.

Tabla 19*. Longitud de cajas de accesorios*

Explosivo	Accesorios
Largo (Cm)	44,50
Ancho (Cm)	38,00
Alto (Cm)	39,00

Tomado de EXSA (10)

Las capacidades del diseño del almacén de explosivos y de accesorios del polvorín son para 300 cajas de explosivos y 200 cajas de accesorios.

Tabla 20. ***Capacidad del almacén de explosivos y accesorios***

Almacén	Explosivos	Accesorio
Explosivo	Exsa	Mecha lenta
Cajas	310	210
Bloques	6	6
Cantidad	102300,00 unidades	40 060,00 m

Tomado de EXSA (10)

El diseño del polvorín se basa en la normatividad aplicada al sector minero según DS-024- 2016-EM. (Ver Anexo Nº02).

4.1.2.2.Parámetros de diseño del polvorín

Según las normas del DS – 024 – 2016 – EM, o las demás normas complementarias el diseño de un polvorín debe constar con dos compartimientos, la primera área para el almacenado de explosivos y la segunda área para el almacén de accesorios de los explosivos, para evitar accidentes.
Las dimensiones del polvorín propuesto es los siguiente como se muestra en la tabla.

Tabla 21*. Diseño de las cámaras del almacén de explosivos y accesorios.*

Descripción	Dimensiones	Unidad
Polvorín para los explosivos		
Ancho	6	m
Larga	28	m
Alto	3.5	m
Área	168	m^2
Volumen	588	m^3
Polvorín: accesorios		
Ancho	5.5	m
Larga	18.5	m
Alto	3.5	m
Área	102	m^2
Volumen	356	m^3
Gradiente	0.35	%

Interpretación:

El diseño del polvorín parte de dos almacenes la primera para el almacenamiento de los explosivos cuyas dimensiones son el ancho es de 6.00 m, el largo de 28.00 m y el alto de 3.50 m siendo un área de 168 m^2 y un volumen de 588 m^3, lo cual es ideal para las dimensiones de la caja del explosivo.

El segundo almacén para los accesorios del explosivo cuyas dimensiones son el ancho es de 5.50 m, el largo de 18.50 m y el alto de 3.50 m, siendo un área de 102 m^2 y un volumen de 356 m^3, también es ideal para las dimensiones de la caja de los accesorios del explosivo.

Las dimensiones son adecuadas para poder almacenar los explosivos y accesorios de voladura también se debe cumplir con las normas establecidas para poder implementarla lo cual pasa por una evaluación del diseño del polvorín en función a la seguridad de los trabajadores en su manipulación.

En la siguiente figura se muestra el diseño del polvorín en la galería Magna, de la unidad minera Ebenezer.

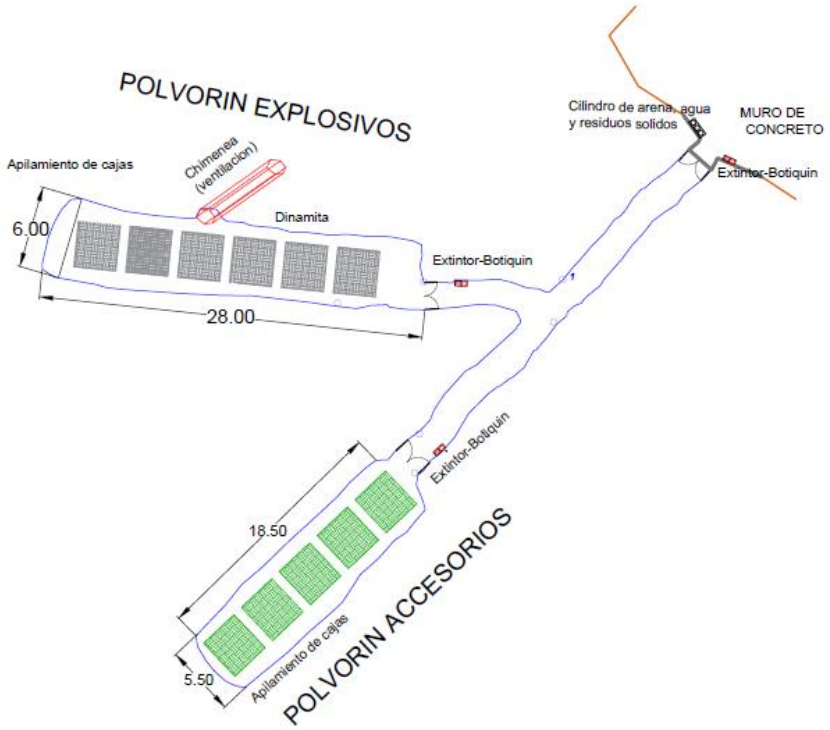


Figura 7. Plano del diseño del polvorín en la galería Magna, de la unidad minera Ebenezer

En la siguiente figura se muestra el plano isométrico del diseño del polvorín en la galería Magna, de la unidad minera Ebenezer.

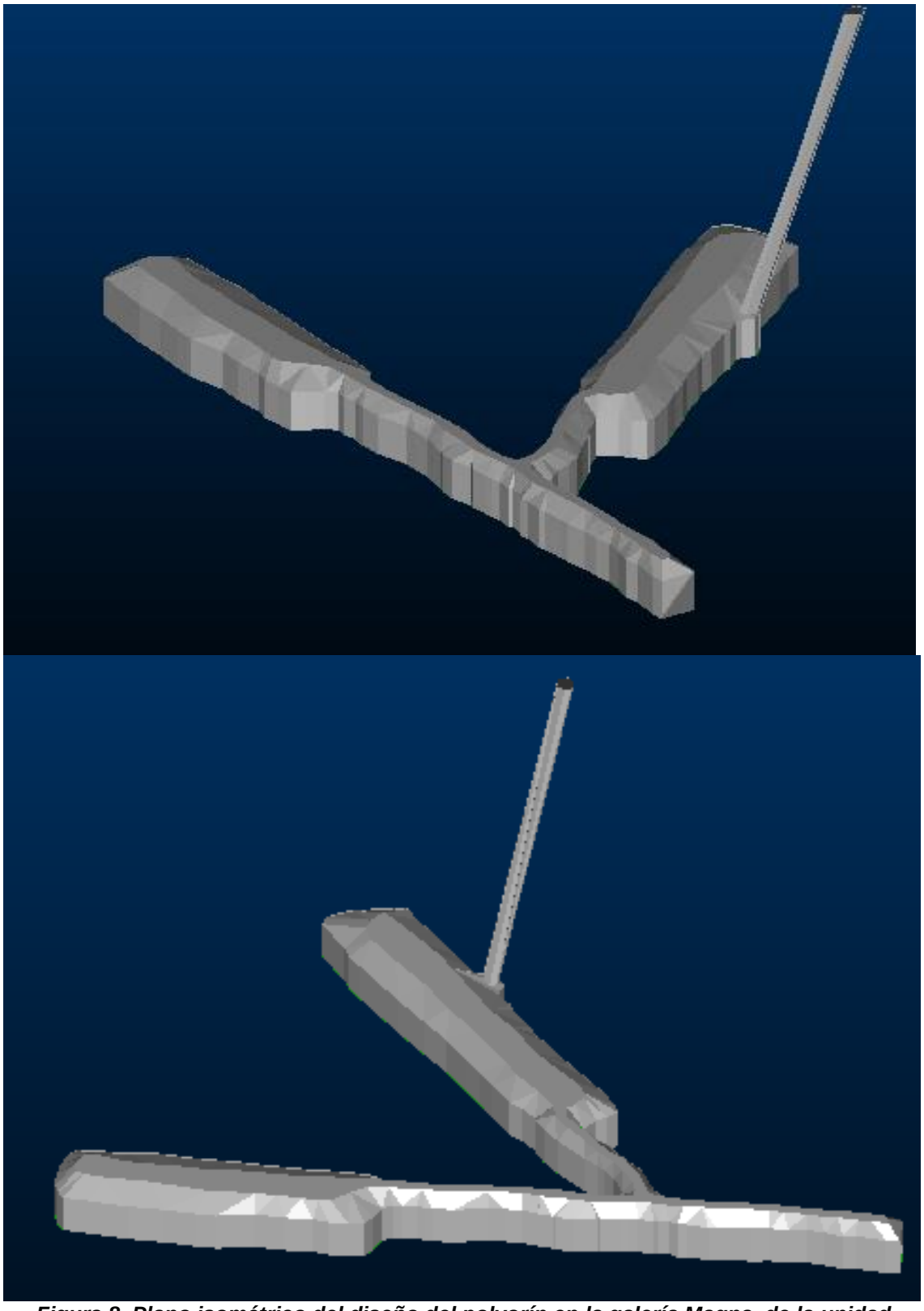


Figura 8. Plano isométrico del diseño del polvorín en la galería Magna, de la unidad minera Ebenezer

Interpretación:

En el ingreso principal se tiene un muro de concreto en el extremo derecho los cilindros de arena, agua y residuos sólidos. En el extremo izquierdo el extintor y botiquín a los 17 metros de ingreso se ubica la ramificación de los dos ingresos a las dos cámaras.

En la derecha está la cámara para los explosivos, al ingreso de la cámara al lado derecho se ubica el extintor y el botiquín de emergencias dicha cámara cuenta con un área de 168 m^2.

La otra ramificación a la izquierda se ubica la cámara de accesorios, en el ingreso de la cámara, al lado izquierdo se ubica el extintor y el botiquín de emergencia, esta cámara cuenta con un área 102 m^2, en cual se estaría cumpliendo el DS-024- 2016-EM, sin problemas respectivamente. En los anexos 4, 5, 6, 7 se muestran el diseño a detalle del almacenaje en el polvorín

CONCLUSIONES

1. Por cada mapeo realizado en campo insitu se tiene una información estereográfica mediante el *software Dips*, para poder analizar el ingreso en la profundización del túnel en el cual se va desarrollar las cámaras del polvorín, la formación de planos menores hacia el sector SE, respecto del eje del túnel N 40°E. La misma corresponde al mapeo realizado a la progresiva 0.0 + 11.69, este se aprecia en el primer disparo retomando la excavación, en la progresiva de 0.0 + 30.00, aquí se observa tres familias bien definidas hacia el sector SE respecto del túnel y en la progresiva de 0.0 + 76 m, aquí se tiene una familia bien identificada en el sector E_W.

2. La toma de los controles se dio a partir de la información de estereogramas y la información estructural de campo *insitu,* se volvió a restructurar la validación del macizo rocoso a fin de tener un dato verídico del tipo de roca al cual vamos a trabajar, el cual es elaborado a cada disparo producido, pero gracias a este análisis podemos ver que se tendrá, el mismo tipo de roca regular III B, a lo largo de los 52 metros de avance respectivamente.

3. La resistencia del macizo rocoso a los esfuerzos de compresión uniaxial es en promedio de 14.79 Mpa, asumiendo el campo de esfuerzos K=1.2 obtenemos que los esfuerzos verticales y horizontales son 17.40 Mpa y 20.39 Mpa, lo que nos muestra que este tramo evaluado está sometido a esfuerzos por encima de la resistencia del macizo rocoso. Según el análisis, se debe utilizar el lanzado de shotcrete con la utilización de pernos helicoidales de 7 pies para el sostenimiento en todo el tramo a realizar el polvorín, la caracterización del macizo rocoso en función del RMR y el ancho de labor se debe lanzar con 2” de espesor y el espaciamiento entre perno es de 1.8 metros.

4. El diseño del polvorín parte de dos almacenes. La primera para el almacenamiento de los explosivos cuyas dimensiones son el ancho es de 6.00 m, el largo de 28.00 m y el alto de 3.50 m siendo un área de 168 m^2 y un volumen de 588 m^3, lo cual es ideal para las dimensiones de la caja del

explosivo. El segundo almacén para los accesorios del explosivo cuyas dimensiones son el ancho es de 5.50 m, el largo de 18.50 m y el alto de 3.50 m, siendo un área de 102 m^2 y un volumen de 356 m^3, también es ideal para las dimensiones de la caja de los accesorios del explosivo

5. En el ingreso principal se tiene un muro de concreto en el extremo derecho los cilindros de arena, agua y residuos sólidos. En el extremo izquierdo el extintor y botiquín a los 17 metros de ingreso se ubica la ramificación de los dos ingresos a las dos cámaras. En la derecha está la cámara para los explosivos, al ingreso de la cámara al lado derecho se ubica el extintor y el botiquín de emergencias dicha cámara cuenta con un área de 168 m^2. La otra ramificación a la izquierda se ubica la cámara de accesorios, en el ingreso de la cámara, al lado izquierdo se ubica el extintor y el botiquín de emergencia, esta cámara cuenta con un área 102 m^2, en cual se estaría cumpliendo el DS-024- 2016-EM.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un análisis geomecánico del macizo rocoso para poder aplicar el tipo de sostenimiento adecuado para cada labor a realizar en la empresa minera.

2. Para prevenir los desprendimientos de rocas se requiere el uso de la geomecánica junto con la prueba de reconocimiento de peligros y riesgos y proceder con la aplicación de la geomecánica (RMR y GSI) del macizo rocoso de las labores geomecánicas.

3. Capacitar al personal con temas de Geomecánica de la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada EBENEZER a fin de tener una mejora continua en las operaciones o en la preparación de las labores de la mina.

4. Siempre tener en cuenta las recomendaciones de las normas legales acerca del diseño de los polvorines también es favorable realizar dos áreas de almacenamiento uno para los explosivos y la otra área para el almacenamiento de los accesorios de los explosivos.

5. Es recomendable que, al notar deficiencias en la perforación y voladura, se debe de realizar el replanteo del mapeo geomecánico para ir ajustando el diseño de la malla de perforación y voladura, ya que esta metodología ayudará a mejorar los trabajos respectivos para la realización de las cámaras del polvorín, del nivel magmático siendo muy beneficiosos para el proyecto a realizar, en la unidad minera Ebenezer.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MAMANI, Jesús. Diseño del sistema de polvorín e implementación de manejo integral del explosivo y accesorios en la Mina Inversiones Gartes S.A.C. Dimeprome - Puno.Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2017, 132 pp.

2. VELA, Luis. Análisis de riesgos en un polvorín auxiliar de explosivos en una empresa minera. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.

3. PANTALEÓN, Hernán y CARBAJAL, Christian. Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017, 116 pp.

4. CARTAYA, Maday y BLANCO, Roberto. Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos "Las Victorias". Monografía (Título de Ingeniero Civil). Cuenca : Universidad de Cuenca, 2013, 80 pp.

5. RINCÓN, Bertha. Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocarbon Sugamuxi” municipio de Gámeza Boyacá. Monografía (Título de Ingeniero Geólogo). Boyacá : Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2016, 87 pp.

6. MORALES, Mario. Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke. Memoria (Título de Ingeniero Civil de Minas).Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2009, 108 pp.

7. GEOTECNIA FÁCIL. *Fórmula RQD en sondeos.* [fecha de consulta: 23 de enero de 2022]. Disponible en: https://geotecniafacil.com/formula-rqd-sondeos/

8. BIENIAWSKI, Richard. *Rock Mass Classification in Rock Engineering. In proceedings of symposium on Exploration for Rock Engineering.* 1976.

9. BARTON, N., LIEN, R., and LUNDE, J. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*. Mecánica de rocas.* [en línea]. Agosto, 1974, 6, 189–236 [fecha de consulta: 10 de enero de 2022].Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/BF01239496#citeas

10. EXSA. *Centro tecnológico de voladura y manual práctico de voladura.* [en línea]. Exsa, 2017. [fecha de consulta: 10 de enero de 2022].Disponible en: https://issuu.com/ccastilloma/docs/3._manual_practico_de_voladura_exsa

11. GONZALES, Luis. *Caracterización del mazcizo rocoso y clasificación geomecánica.* [en línea] 2014 [fecha de consulta: 15 de enero de 2022].Disponible en: https://es.scribd.com/presentation/375236869/ Caracterizacion-Del-Macizo-Rocoso-y-Clasificacionn-Geomecanica-2016

12. D. S. N°010-2017-IN.Decreto Supremo que Aprueba el reglamento de Ley N° 30299, Ley de armas de fuego, municiones, explosivos, productos pirotécnicos y materiales relacionados de uso civil. *Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 1 de abril de 2017.*

13. Al, Wickham.Et. *Método cuantitativo para describir la calidad de un macizo rocoso y para seleccionar el sostenimiento, en base a la Valoración de la Estructura Rocosa (RSR - Rock Structure Rating).* EE:UU : s.n., 1972.

ANEXOS

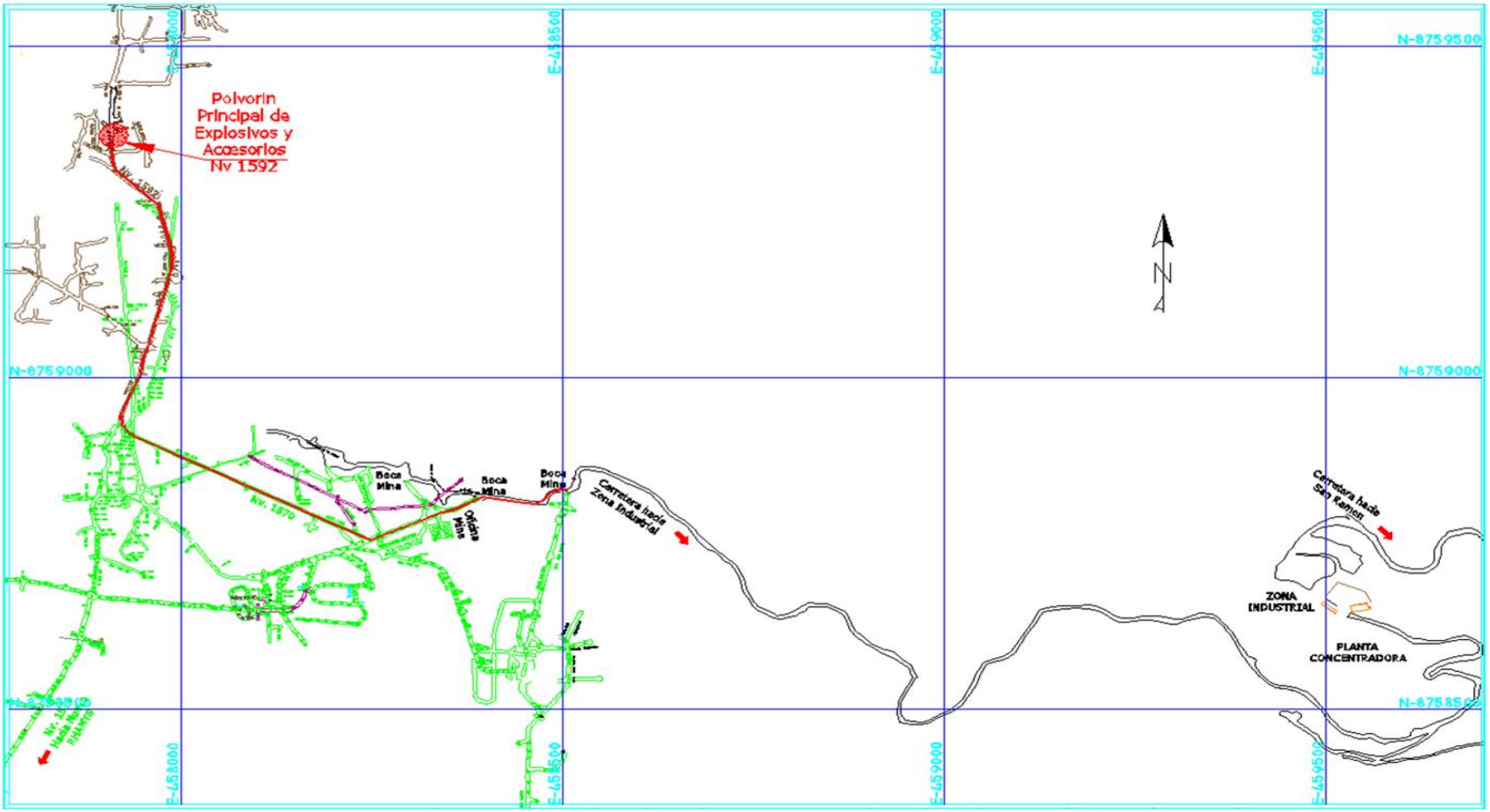
Anexo 1

Matriz de Consistencia

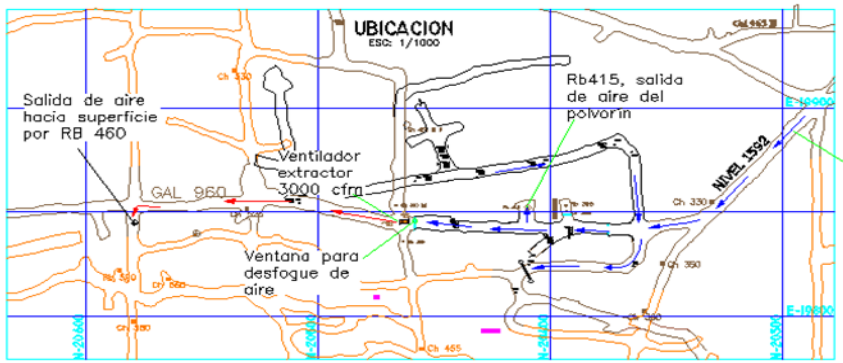
Evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la unidad minera Ebenezer

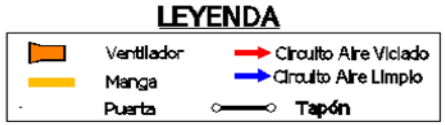
Problema general	**Objetivo general**	**Hipótesis general**
¿Cómo influye la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer?	Determinar cómo influye la evaluación geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer	La evaluación geomecánica del macizo rocoso influye positivamente en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
¿Cómo influye la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer?	Determinar cómo influye la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer.	La caracterización geomecánica del macizo rocoso influye positivamente en el sostenimiento de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer.
¿Cuál es el método de minado para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer?	Determinar el método de minado para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer.	El método de minado influye positivamente para realizar la excavación de un polvorín en el nivel Magna de la Unidad Minera Ebenezer.

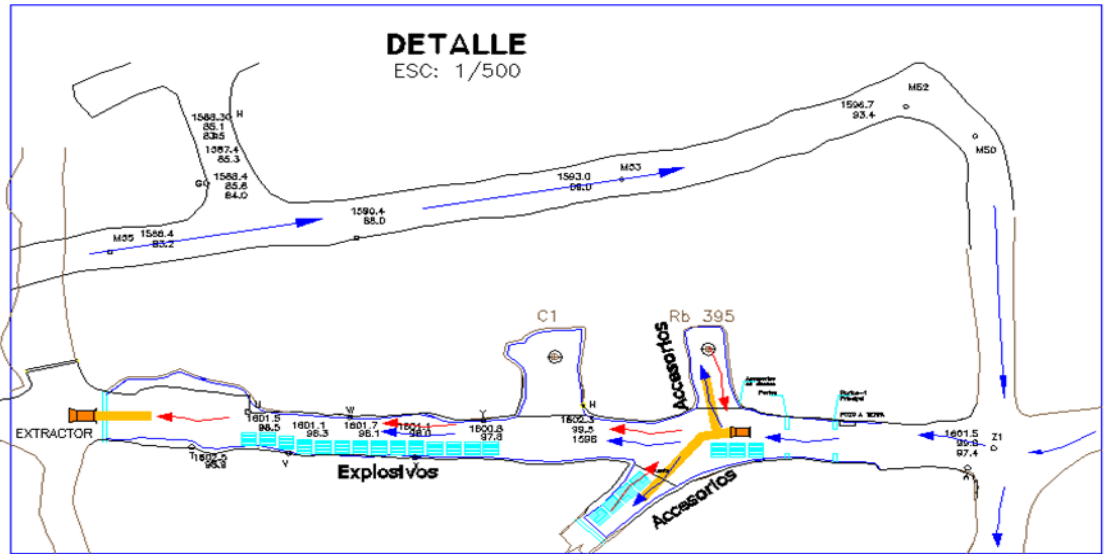
Plano del nivel Magna de la unidad minera Ebenezer



Accesos al polvorín del nivel Magna de la unidad minera Ebenezer



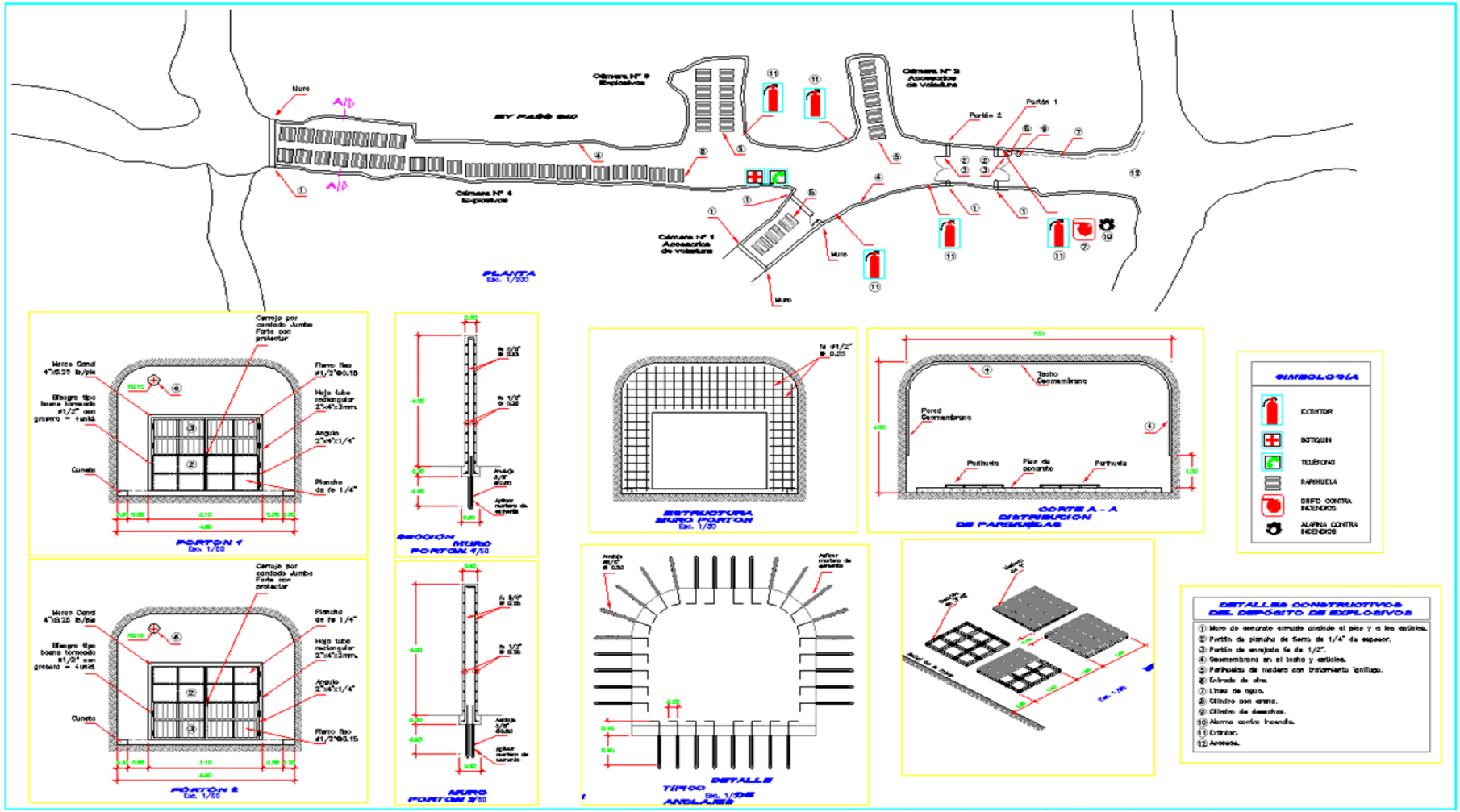




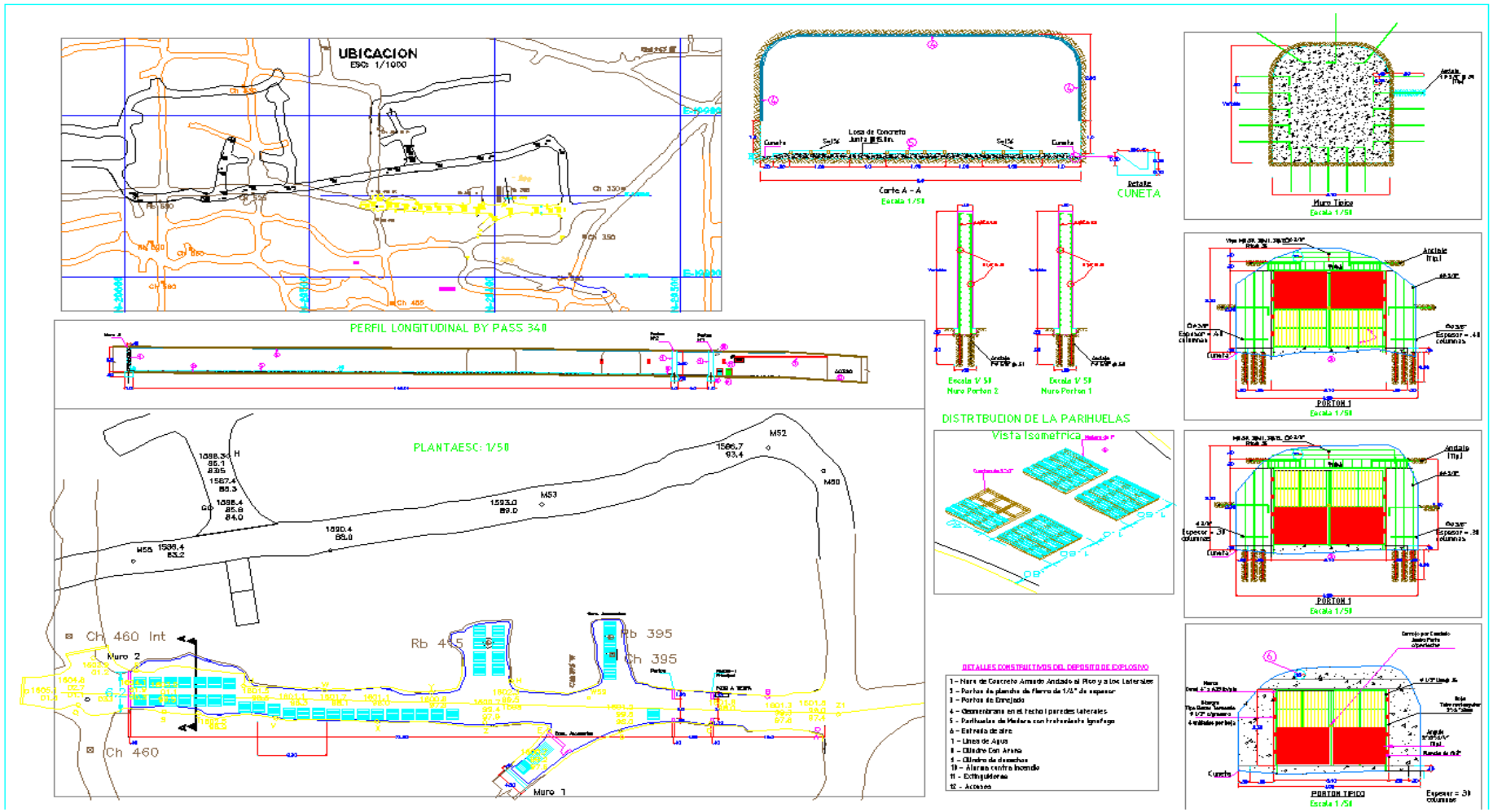
Este Polvorin se encuentra ubicado fuera de las areas de operaciones en la zona norte mina antigua nivel 1592.

El ingreso de aire fresco es por el nivel 1592, la salida de aire viciado hacia la superficie es por la RB 460, mediante el uso de un extractor de 12,000 cfm. y un ventilador auxiliar como impulsor de 12,000 cfm.

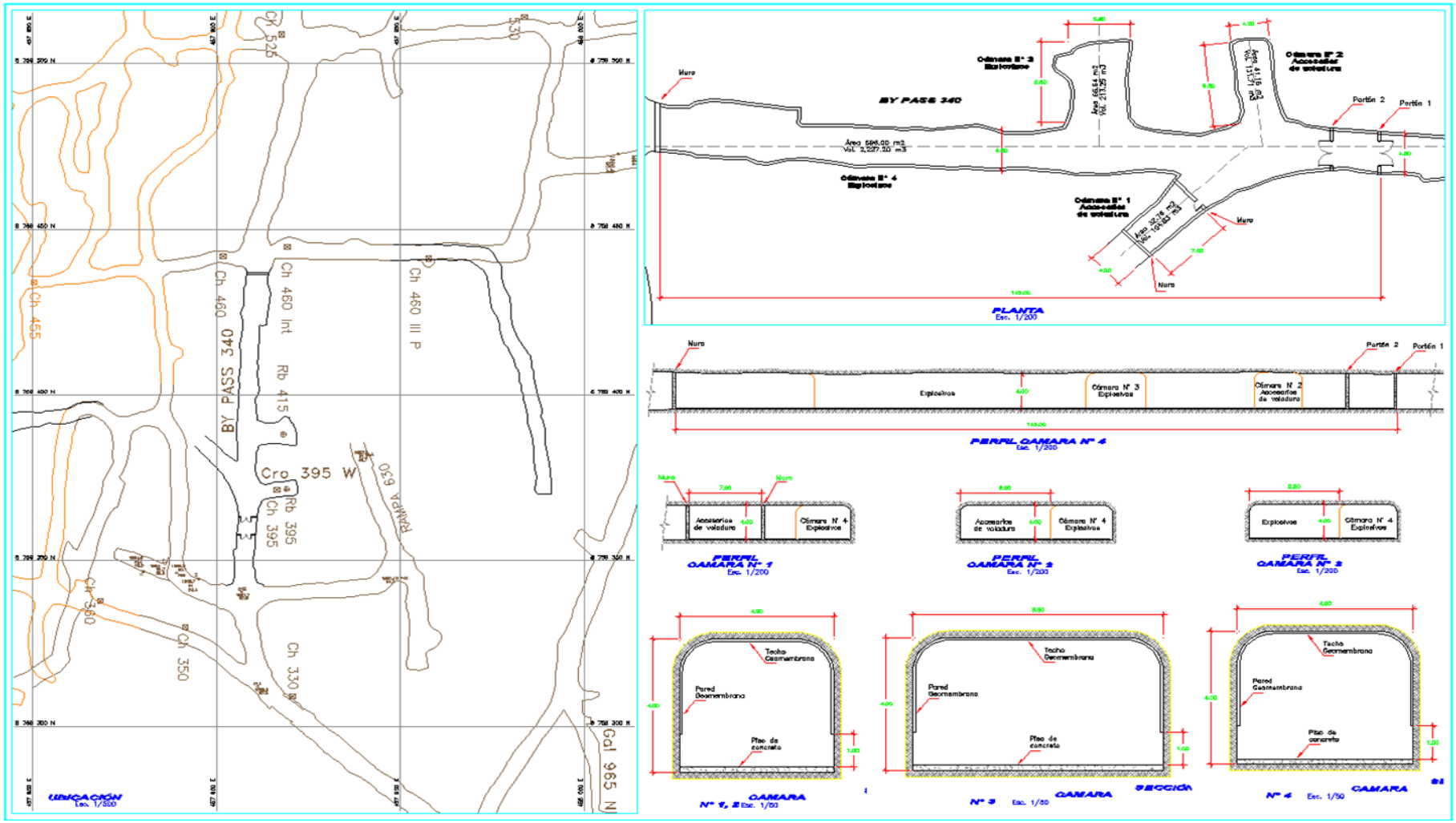
Diseño del almacenaje de los explosivos como accesorios del polvorín del nivel Magna de la unidad minera Ebenezer



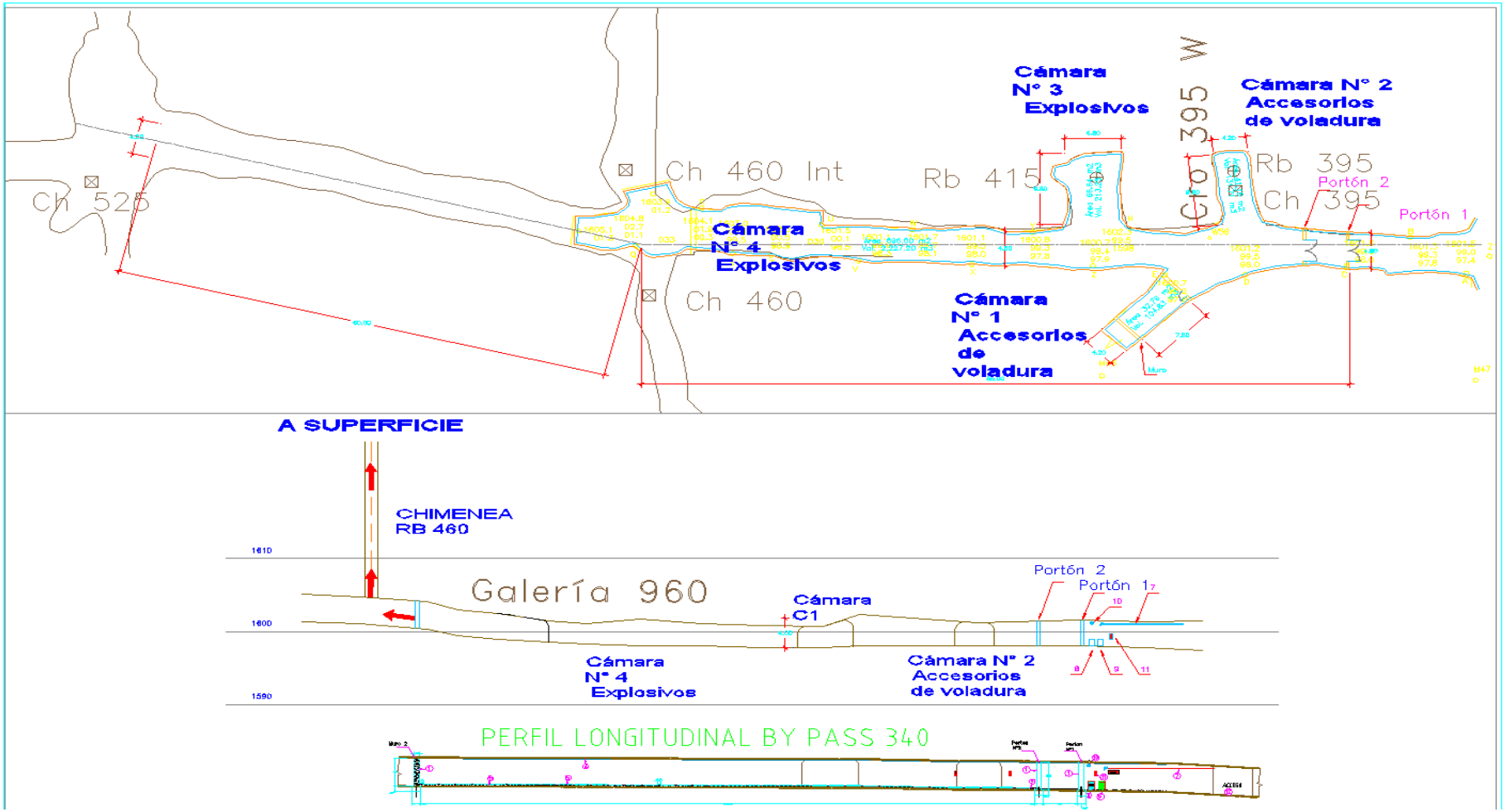
Diseño del sostenimiento y caracterización geomecánica del polvorín del nivel Magna de la unidad minera Ebenezer



Diseño de los accesos al polvorín del nivel Magna de la unidad minera Ebenezer



Diseño de la ventilación del polvorín del nivel Magna de la unidad minera Ebenezer


Ch 525
Ch 460 Int
Rb 415
Cámara
N° 3
Explosivos
Cámara N° 2
Accesorios
de voladura
Cru 395 W
Rb 395
Ch 395
Portón 2
Portón 1
Cámara
N° 4
Explosivos
Ch 460
Cámara
N° 1
Accesorios
de
voladura
A SUPERFICIE
CHIMENEA
RB 460
1610
1600
1590
Galería 960
Cámara
C1
Portón 2
Portón 1
Cámara
N° 4
Explosivos
Cámara N° 2
Accesorios
de voladura
PERFIL LONGITUDINAL BY PASS 340