



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA
PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO EN EL ÁREA MINERA
PATRICIA, EL GUABO – EL ORO”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autores:

DANIEL ALEJANDRO MALDONADO ROGEL

Director:

ING. LEONARDO NÚÑEZ RODAS

CUENCA – ECUADOR

2022

Dedico el presente trabajo de investigación a mi familia, por ser el pilar fundamental a lo largo de mi formación como persona y profesional, por sus consejos y apoyo en cada momento. De igual manera a mis docentes y todos los profesionales que de una u otra manera aportaron con sus conocimientos; gracias por su ayuda y tiempo brindado.

Agradezco a Dios por haberme acompañado en esta etapa de mi vida y darme fortaleza para seguir adelante y no darme por vencido en cada momento difícil que pasé. Gracias a Él he podido conseguir todos los objetivos que me he planteado.

A mi madre por siempre apoyarme en todo y acompañarme en los días de exámenes. Agradezco por la fuerza que siempre me ha dado para seguir y, a mi padre, por darme consejos cada día y con base en su experiencia profesional enseñarme y apoyarme para que sea un excelente profesional. Agradezco que él haya podido ser un apoyo incondicional en el transcurso de mi vida.

A mis docentes que me supieron apoyar a lo largo de mi proceso académico.

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	2
MARCO TEÓRICO	2
1.1. Descripción del área de estudio.....	2
1.1.1. Ubicación y acceso	4
1.1.2. Clima.....	5
1.1.3. Geología local.....	6
1.2. Génesis del yacimiento.....	7
1.3. Yacimientos hidrotermales filonianos.....	9
1.4. Minería Subterránea	10
1.5. Clasificación de sistemas de explotación subterránea.....	10
1.6. Clasificación geomecánica	13
1.6.1. Parámetros o factores de la clasificación RMR.....	14
1.7. Parámetros de diseño.....	19
1.8. AutoCAD.....	20
1.8.1. AutoCAD civil 3D.....	21
1.9. Labores subterráneas	22
1.10. Sistema Nicholas	22
1.11. Operaciones unitarias	23
1.12. Operaciones auxiliares.....	24
1.13. Maquinaria y equipos subterráneos	25
CAPÍTULO 2.....	28
METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL	28

2.1. Análisis geomecánico.....	28
2.2. Resistencia a la compresión uniaxial.....	28
2.3. Designación de la calidad de la roca	31
2.4. Espaciamiento entre discontinuidades.....	33
2.5. Condición de las discontinuidades	35
2.6. Presencia del agua	36
2.7. Orientación de las discontinuidades	37
2.8. Valoración del macizo rocoso	39
CAPÍTULO 3.....	43
DISEÑO DE EXPLOTACIÓN	43
3.1. Aspectos generales	43
3.2. Selección del método de explotación y sistema de explotación.....	44
3.2.1. Resultados de la selección del método de explotación y sistema de explotación	47
3.3. Levantamiento planimétrico de la mina	48
3.4. Descripción del diseño del sistema de explotación	49
3.5. Etapas y labores de desarrollo del diseño del sistema de explotación	50
3.5.1. Dimensiones de las cámaras de explotación.....	50
3.5.2. Franqueo de la galería principal.....	51
3.5.3. Franqueo de chimeneas.....	54
3.5.4. Construcción de buzones	55
3.5.5. Diseño de franjas de explotación.....	57
3.5.6. Modelado 3D	59
3.5.6.1. Proyecto minero.....	59
3.5.6.2. Acceso de la mina	60
3.5.6.3. Galería principal.....	61
3.5.6.4. Chimenea.....	62
3.5.6.5. Niveles.....	62
3.5.7. Ciclo de minado.....	63
3.5.7.1. Perforación	63
3.5.7.2. Voladura.....	64
3.5.7.3. Acarreo y transporte de mineral.....	65
3.5.8. Operaciones unitarias.....	66

3.5.8.1. Ventilación.....	66
3.5.8.2. Desatado de rocas y sostenimiento	66
CAPÍTULO 4.....	68
MAQUINARIA PARA EL PROYECTO MINERO	68
4.1. Maquinaria y equipos mineros	68
4.1.1. Equipos de perforación	68
4.1.2. Maquinaria de transporte de mineral	70
4.1.3. Maquinaria de carga de mineral.....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
Conclusiones.....	74
Recomendaciones	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	83

Figura 1.1. Ubicación del área minera Patricia.....	3
Figura 1.2. Mapa de la división parroquial del cantón El Guabo	3
Figura 1.3 Mapa de los límites territoriales de la parroquia Río Bonito.....	4
Figura 1.4. Mapa de la vía Troncal de la Costa	5
Figura 1.5. Mapa de texturas de suelo, en el cantón El Guabo.....	7
Figura 1.6. Imagen de la entrada del área minera Patricia.....	8
Figura 1.7. Imagen del sistema de corte y relleno ascendente.....	12
Figura 1.8. Tipos de maquinaria para minería subterránea.....	25
Figura 2.1. Muestras de roca estéril.....	29
Figura 2.2. Medición del RQD%	32
Figura 2.3. Familia de diaclasas en la estructura estéril.....	34
Figura 2.4. Medición de la abertura de las discontinuidades	35
Figura 2.5. Rumbo y buzamiento de las discontinuidades.....	38
Figura 2.6. Gráfico para calcular el tiempo de auto sostenimiento del túnel.....	41
Figura 3.1. Levantamiento planimétrico de la mina	48
Figura 3.2. Diseño y dimensiones de las cámaras de explotación	51
Figura 3.3. Diseño de galería principal y de transporte	52
Figura 3.4. Pendientes en galería principal	53
Figura 3.5. Diseño de chimenea y dimensionamiento	55
Figura 3.6. Diseño de buzones (Vista frontal)	56
Figura 3.7. Diseño de buzones (Vista Lateral).....	57
Figura 3.8 Diseño de subniveles y dimensionamiento.....	58
Figura 3.9. Puente de seguridad.....	59
Figura 3.10. Proyecto minero.....	60
Figura 3.11. Acceso de la mina.....	61
Figura 3.12. Acceso de la mina.....	61
Figura 3.13. Chimenea.....	62
Figura 3.14. Niveles.....	63
Figura 3.15. Malla de perforación.....	64
Figura 3.16. Franjas de producción.....	65
Figura 3.17. Sistema de ventilación.....	66

Figura 3.18. Sistema de fortificación.....	67
Figura 4.1. Perforadora manual.....	69
Figura 4.2. Especificaciones de la perforadora YT2.....	69
Figura 4.3. Locomotora.....	70
Figura 4.4. Dimensiones de galería.....	71
Figura 4.5. Vagones	71
Figura 4.6. Dimensiones principales.....	72
Figura 4.7 Maquinaria de carga mineral	72
Figura 4.8. Parámetros técnicos de las palas mineras neumáticas Z-30	73

Tabla 1.1. Puntos de extensión territorial del área minera Patricia.....	2
Tabla 1.2. Tipos de clima.....	6
Tabla 1.3. Clasificación RMR, del macizo rocoso.....	13
Tabla 1.4. Resistencia de las rocas.....	14
Tabla 1.5. Clasificación de la apertura de las juntas.....	15
Tabla 1.6. Aspectos a considerar para analizar la condición de las juntas.....	16
Tabla 1.7. Corrección según la orientación de las fracturas.....	17
Tabla 1.8. Corrección según el rumbo y buzamiento de las fracturas.....	17
Tabla 1.9. Corrección y mantenimiento según la orientación de las fracturas.....	17
Tabla 1.10. Tipos de soporte, según el índice RMR.....	18
Tabla 2.1. Ensayos de resistencia a la compresión uniaxial.....	30
Tabla 2.2. Valorización de la resistencia a la compresión uniaxial.....	31
Tabla 2.3. Medición del RQD %.....	33
Tabla 2.4. Valorización del RQD%.....	33
Tabla 2.5. Medición entre discontinuidades.....	34
Tabla 2.6. Valorización del espaciamiento entre discontinuidades.....	35
Tabla 2.7. Valorización de las condiciones de las discontinuidades.....	36
Tabla 2.8. Valorización de la humedad del macizo rocoso.....	37
Tabla 2.9. Valorización de buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje del túnel.....	38
Tabla 2.10. Valorización de los parámetros del macizo rocoso establecido por Bieniawski (1989).....	39
Tabla 2.11. Tabla de clasificación del macizo rocoso con relación al índice RMR.....	40
Tabla 2.12. Guía para el soporte de túneles y obras de ingeniería.....	42
Tabla 3.1. Condiciones geológicas y geomecánicas.....	44
Tabla 3.2. Clasificación A del método y sistema de explotación en función de la geometría y distribución de leyes.....	45
Tabla 3.3. Clasificación B del método y sistema de explotación en función de las características geomecánicas de la roca del mineral.....	45
Tabla 3.4. Clasificación C del método y sistema de explotación en función a las características geomecánicas de la roca de caja techo.....	45
Tabla 3.5. Clasificación D del método y sistema de explotación en función a las características geo mecánicas de la roca de caja piso.....	46

Tabla 3.6. Valoración final de las condiciones geomecánicas y geométricas para la selección del método y sistema de explotación.....	47
Tabla 3.7. Dimensiones de las cámaras de explotación	50
Tabla 3.8. Cálculo de pendiente para la galería principal	53
Tabla 3.9. Dimensionamiento de chimenea	54
Tabla 4.1. Dimensiones de galería	70

Anexo 1: Yacimiento mineral “Veta Nohelia”	83
Anexo 2: Muestra de mineralización de la veta Nohelia.....	84
Anexo 3: Levantamiento Topográfico.....	85
Anexo 4: Campamento del área minera.....	86
Anexo 5: Toma de datos y muestras.....	86
Anexo 6: Muestra de roca de estéril	87

“PROPUESTA DE DISEÑO DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO EN EL ÁREA MINERA PATRICIA, EL GUABO – EL ORO”

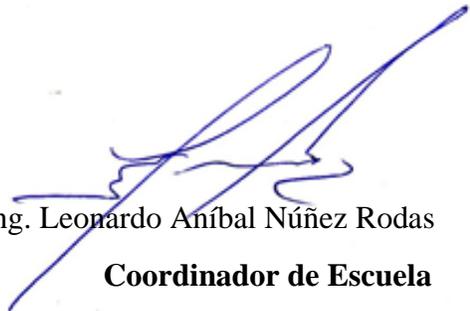
El presente proyecto implementa una metodología de diseño como base de modelo de explotación de un yacimiento mineral aurífero de la mina Voluntad de Dios, ubicada en el cantón El Guabo, provincia de El Oro. De carácter investigativo y de diseño, está sustentado en distintos parámetros técnicos y consideraciones de diseño tales como: propiedades geomecánicas, características geométricas del yacimiento, mecanización del sistema, desarrollo, preparación del mismo, entre otros. Mediante una evaluación geológica y datos adquiridos en campo se determinó que el tipo de macizo rocoso tiene un RMR de 61, clasificándose como roca buena por lo que, mediante estos parámetros, se procedió a seleccionar el método de explotación de corte y relleno ascendente, el mismo que asegura ser el sistema que más se acopla al yacimiento. Por lo tanto, se procedió al diseñar las galerías y a preparar el yacimiento con ayuda de un software minero, obteniendo una explotación óptima.

Palabras clave: Minería subterránea, diseño de explotación, corte y relleno ascendente.



Ing. Leonardo Núñez Rodas

Director del Trabajo de Titulación



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Daniel Alejandro Maldonado Rogel

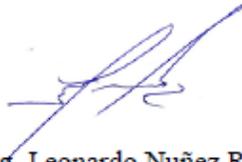
Autor

**“UNDERGROUND EXPLOITATION DESIGN PROPOSAL FOR THE
EXTRACTION OF GOLD IN THE MINING AREA PATRICIA, EL GUABO –
EL ORO”**

ABSTRACT

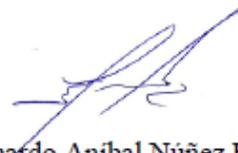
This project implemented a design methodology as a basis for the exploitation of a gold mineral deposit in the concession called Patricia, located in El Guabo, province of El Oro. The project is based on different technical parameters and design considerations such as: geo-mechanical properties, geometric characteristics of the deposit, mechanization of the system, mining development, among others. Through a geological evaluation and technical data obtained in the field, it was determined that the rock mass has an RMR of 61, which indicates that the rock is good, so the underground exploitation method was selected by using the system ascending cut-and-fill, the same one that is coupled to the reservoir. With this, the galleries were designed and the extraction was prepared using mining software, thus obtaining an optimal exploitation design from a technical and safety point of view.

Keywords: Underground mining, exploitation, cut and fill, software.



Ing. Leonardo Nuñez Rodas

Thesis Director



Ing. Leonardo Anibal Nuñez Rodas

Mining Engineering Faculty Coordinator



Daniel Alejandro Maldonado Rogel

Author



Translated by



Daniel Maldonado

Daniel Alejandro Maldonado Rogel

Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Núñez Rodas

Octubre, 2022

“PROPUESTA DE DISEÑO DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO EN EL ÁREA MINERA PATRICIA, EL GUABO – EL ORO”

La minería en el Ecuador se encuentra presente desde hace mucho tiempo, por lo que cada vez el ser humano busca mejorar la rentabilidad y la sustentabilidad ambiental en este sector productivo. No obstante, debido a que cada yacimiento mineral cumple con características diferentes, los diseños de explotación y los estudios de planificación son diferentes, por lo que es necesario evaluar cada yacimiento y definir un diseño de explotación con el fin de mejorar significativamente las condiciones laborales, ambientales y de rentabilidad.

Por consiguiente, y dado que el yacimiento aurífero denominado “Veta Nohelia” que forma parte del área minera Patricia, se encuentra en etapa de exploración y próximo a empezar la etapa de explotación, se ha visto la oportunidad de desarrollar una propuesta de diseño para el yacimiento ya mencionado. Para tal propósito, ha sido necesario desarrollar una serie de subproyectos como: análisis geomecánico de la roca, levantamientos topográficos, etapas de preparación, modelamiento en 3D, ciclo de minado, recomendaciones de maquinaria y equipos mineros.

1.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio del presente trabajo de titulación es un área minera denominada Patricia, del cantón El Guabo, en la provincia de El Oro. Este cantón queda ubicado en la región Costa, al suroeste del Ecuador y al noreste de la provincia de El Oro y su extensión es de 57.996,30 has. A su vez, se encuentra a 18 km de Machala, que es la capital de su provincia (Ministerio de Turismo, 2020).

Tabla 1.1. Puntos de extensión territorial del área minera Patricia

PUNTO	X	Y
1	647.000	9.650.000
2	649.500	9.650.000
3	649.500	9.651.000
4	651.500	9.651.000
5	651.500	9.650.000
6	653.000	9.650.000
7	653.000	9.653.000
8	652.000	9.653.000
9	652.000	9.652.000
10	647.000	9.652.000

Fuente: Información de la empresa.



Figura 1.1. Ubicación del área minera Patricia

Fuente: (Google Earth, 2022)



Figura 1.2. Mapa de la división parroquial del cantón El Guabo

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2007, como se citó en la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2014)

El Guabo está conformado por cinco parroquias: El Guabo (cabecera cantonal), Barbones (Sucre), La Iberia, Tendales y Río Bonito. No obstante, esta investigación se desarrolla en el área de Río Bonito, de la que se hablará a continuación.

1.1.1. Ubicación y acceso

La parroquia de Río Bonito está ubicada en la parte norte del cantón El Guabo. Contempla sus límites territoriales con el cantón Camilo Ponce Enríquez (Al norte), con la parroquia El Guabo (Sur), con el cantón Pucará y la parroquia El Progreso (Este) y la parroquia Tendales (Oeste).

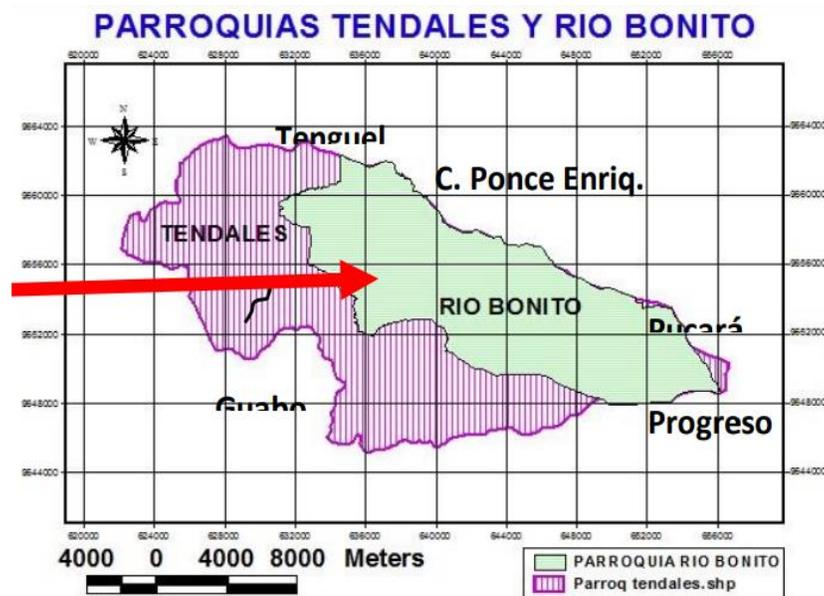


Figura 1.3 Mapa de los límites territoriales de la parroquia Río Bonito

Fuente: (Gobierno parroquial de Río Bonito, 2014)

La extensión total de la parroquia Río Bonito es de 156.55 km² y cuenta con nueve comunas que son: Pagua, San Miguel de Brasil, Chimborazo, Cotopaxi, 5 de agosto, 10 de agosto, El Garrido, Esperanza de El Oro y Defensores Orenses. A su vez, cuenta con los recintos de Sabanas de Pagua, Guayacán, Bellavista de El Oro, San Vicente, Río Siete, Luis Alberto Pando y Río Bonito (cabecera parroquial).



Figura 1.4. Mapa de la vía Troncal de la Costa

Fuente: (OsMand, 2022)

Como puede verse en el mapa, el acceso al cantón El Guabo se da por vía terrestre, a través de la vía Troncal de la Costa. Para llegar a la parroquia de Río Bonito, se debe tomar la misma vía.

1.1.2. Clima

El Guabo tiene varios tipos de clima tales como el tropical mega térmico semihúmedo, ecuatorial mesotérmico semihúmedo, tropical megatérmico seco y el tropical megatérmico semiárido. Este cantón tiene una temperatura que oscila entre 21.3 °C – 27.4 °C (Cañadas, 1983, como se citó en Alcaldía El Guabo, 2020).

Tabla 1.2. Tipos de clima

<i>Tipos de clima</i>	<i>Extensión del área</i>	<i>Ubicación</i>
Ecuatorial Mesotérmico	15.442,71 has.	Parte oriental de las parroquias El Guabo y Río Bonito
Tropical Megatérmico SemiHúmedo	10.783,19 has.	Parte central norte del cantón, específicamente en la parroquia Río Bonito y Tendales
Total, de la extensión de los tipos de clima que forman parte del área de estudio	26.2259 has.	

Fuente: Elaboración propia

En San Vicente, comuna de la parroquia Río Bonito y, por ende, en el área minera Patricia, el clima Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo (EMSH) se impone. Este tipo de clima incluye precipitaciones medias anuales de 1000 – 1250 mm. Su temperatura es de 10 a 22°C y su nivel de humedad puede ir de 65 a 85% (Castillo, 2014; Alcaldía El Guabo, 2020).

1.1.3. Geología local

El Guabo cuenta con una geología marcada por la cuenca sedimentaria de Jambelí. Esta tiene depósitos de roca clástica del Mio-Plioceno y Pleistoceno, con las secuencias pre-rift y sin-rift respectivamente. A su vez se destacan formaciones de Piñón, Cayo, Apagua, Intrusivos básicos e intermedios de edad Eoceno, los depósitos volcánicos de Saraguro y Pisayambo y los depósitos cuaternarios que corresponden a los sedimentos marinos finos y abánicos aluviales recientes (Alcaldía El Guabo, 2020).

Dentro de la parroquia Río Bonito, su geología se basa en formaciones tales como arcillas compactas y limos arcillosos, así como también en Intrusivos Eocénicos. En ambos casos, contienen mineralizaciones; pero, en los Intrusivos Eocénicos de polisulfuro están las mayores cantidades de oro y plata. Las texturas de su suelo varían, fina, gruesa, media y

moderadamente gruesa. En San Vicente, que es donde queda el área minera Patricia, predomina la textura de suelo fina, tal y como se puede comprobar en el siguiente mapa.

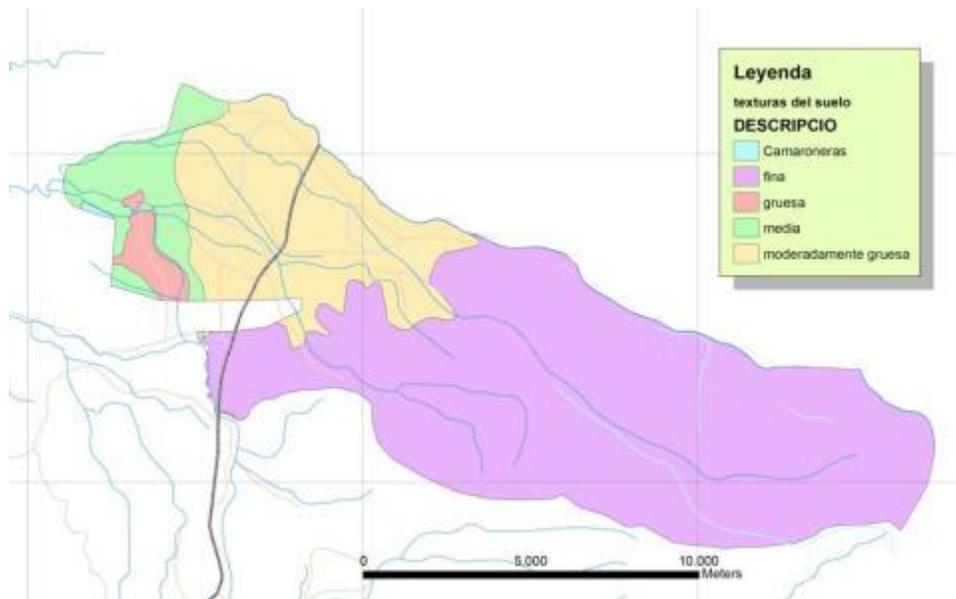


Figura 1.5. Mapa de texturas de suelo, en el cantón El Guabo

Fuente: (Alcaldía El Guabo, 2020)

Como se puede entrever en la figura 1.5, la zona morada corresponde a la parroquia Río Bonito, del cantón El Guabo, donde está el recinto San Vicente y la minera Patricia. El suelo de Río Bonito y, específicamente de San Vicente, es rico en minerales, por lo que cuenta con 24 concesiones mineras legalizadas, lo que representa el 60% de las concesiones dadas en el cantón El Guabo (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), como se citó en Alcaldía El Guabo, 2020). Es sin duda una zona estratégica y rentable (Gobierno Parroquial de Río Bonito, 2014). Por ende, se apela a la aplicación de métodos y técnicas apropiadas para que se aproveche al máximo la extracción de oro y plata, a la vez que se dé de forma responsable, óptima y sostenible; siempre en el marco de la legalización.

1.2. Génesis del yacimiento

La génesis de un yacimiento se refiere a todo lo que tiene que ver con el campo de la geoquímica, petrogenia y metalogenia, debido a que forma parte de una ligera anomalía, en la que la distribución normal de los elementos y su contenido metálico sobrepasa con

mucha escasez el orden de magnitud medio de la roca que se encuentra mineralizada (Páez, 2012).

Con este concepto, es posible determinar que la génesis del yacimiento no se forma netamente por el magnetismo, presencia de vetas, o estructuras que se encuentren rellenas de material, sino que existe una relación con el tipo de metamorfismo hidrotermal, en el cual los fluidos circundantes, se encuentran cargados con iones que migran hacia la superficie causando una intrusión en las estructuras que están dispuestas por un macizo estéril y, es ahí, donde se forma la deposición y posteriormente la precipitación de las minas; como es el caso del sector de San Vicente, donde queda ubicada la concesión minera Patricia (Cod. 300931), objeto de la presente investigación.



Figura 1.6. Imagen de la entrada del área minera Patricia

Fuente: Elaboración propia

Esta empresa minera se caracteriza por la obtención de oro y plata. Además, presenta asociaciones mineralógicas que se encuentran ubicadas dentro de la Formación Macuchi, en rocas andesitas y andesitas-basálticas; las mismas poseen una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas milimétricas regularmente angulosas sin tener evidencia de meteorización, donde destacan minerales tales como los pórfidos de oro y cobre (Loy & Mariño, 2016).

1.3. Yacimientos hidrotermales filonianos

Los elementos químicos existentes se encuentran repartidos en la corteza terrestre de manera muy amplia a pesar de que, a veces, su concentración en las rocas es muy baja como para poder permitir que su extracción genere rentabilidad. Por ello, para que la concentración pueda dar lugar a un yacimiento mineral se debe producir como consecuencia de algún proceso geológico ya sea un ígneo, sedimentario, que pueda provocar la concentración respectiva del elemento (Venegas y Stevens, 2013).

En el caso de los procesos hidrotermales filonianos, se suelen generar una gran serie de depósitos minerales por la acción de fluidos que contienen una alta temperatura. Estos son procedentes, principalmente, de la intrusión de las rocas ígneas, o asociados a la deshidratación a lo largo de los procesos de metamorfismo. Específicamente, esta clase de fluidos son capaces de mover los elementos en disoluciones iónicas, compuestos coloidales, o así también, de reemplazar y transformar los minerales en distintas formas cristalinas, como es el caso de la calcopirita, magnetita, hematites, grafito, granates cinabrio, corindón, siderita o blenda, y galena. Cabe mencionar que el descenso de la temperatura tras el lixiviado de las rocas es capaz de inducir la deposición de minerales de interés económico; y por esto, es que existen una variedad de tipos de yacimientos minerales que se asocian a la acción de fluidos, y movilización de elementos, inclusive, algunos de ellos se encuentran ligados a procesos volcánicos (Fantón et al., 2014).

Para (Martínez, 2021) los yacimientos filonianos tienen una forma tabular y se localizan a lo largo de los espacios que se generan por las zonas de falla. Los fluidos hidrotermales actúan circulando por estos espacios depositando así, en esa zona, su carga mineral; comúnmente, esto suele suceder en profundidad y se debe esperar un largo período de tiempo geológico hasta que el desmantelamiento de las rocas por procesos tectónicos y erosión pueda dejar a la vista la masa mineral ya que, si las leyes y el respectivo tonelaje de un yacimiento es el adecuado económicamente hablando, entonces se prosigue a realizar su explotación, usando el método denominado hundimiento por subniveles en este caso.

1.4. Minería Subterránea

La minería subterránea es aquella que se desarrolla por debajo del suelo, desde donde se procede a extraer diferentes recursos minerales como: oro, plata, bronce, zinc, entre otros. De esta forma, la explotación se realiza en una tipografía diseñada desde debajo de la tierra, además, el sistema de explotación subterránea se trata de un conjunto de labores en los que se requiere una preparación, corte y arranque para que se pueda ejecutar de manera progresiva en tiempo y espacio dentro del yacimiento; esto se debe a las variadas características minero-geológicas que poseen los yacimientos.

Este tipo de minería se caracteriza por mover la menor cantidad de mineral y roca estéril, es decir, no afecta visualmente el área a comparación a una explotación a cielo abierto, a pesar de que sí necesita diques de cola en donde se puedan poner concentrados estériles. Además, garantiza una larga vida para la propia explotación y esto resulta beneficioso para cualquier compañía que se proyecte a planes a largo plazo (Torres, 2014).

No obstante, la minería subterránea también trae consigo mayores riesgos que la minería a cielo abierto y requiere de sistemas de ventilación adecuados que brinden caudales de aire donde, por ejemplo, en excavaciones de hasta 1.500 m., sobre el nivel del mar, debería asegurarse un caudal de 3 m³/min, por cada trabajador (Córdoba y Molina, 2011).

Por esta razón es vital que, en un proyecto minero subterráneo, se debe escoger un sistema de explotación adecuado según terreno que se va a explotar. De esta forma, se asegura mejor accesibilidad, mayor seguridad laboral y mejor aprovechamiento de espacios y recursos.

1.5. Clasificación de sistemas de explotación subterránea

Actualmente existen diversos métodos y sistemas para llevar a cabo una explotación minera para la extracción de las reservas minerales. La variabilidad de las características minero-geológicas del yacimiento trae consigo como consecuencia que en una misma mina se usen diferentes sistemas de explotación, o más de una variante de arranque (Dávila, 2017). En virtud de esto, en su clasificación se encuentran varios sistemas de explotación que son:

Tajeos largos: es uno de los sistemas generalmente usados en la minería del carbón, esto se da por su alta recuperación del mineral, lo que produce posteriormente, un gran aumento de la producción y ritmo de trabajo, una mayor seguridad y así mismo, mejores rendimientos. La consecuencia que genera esto es una mayor inversión, y esto debido al alto grado de mecanización que se necesita para llevar a cabo el método con la mayor eficiencia y efectividad posible (Ricse, 2013).

Las cámaras y pilares: se aplican en depósitos sedimentarios, que mantienen una inclinación de 30°, lo que permite crear espacios abiertos con el moldeamiento de pilares que funcionan como sostén de la cámara. Las columnas pueden tener forma cuadrada, rectangular, circular, o con muros paralelos largos (Blanco et al., 2018).

Tajeo por subniveles: se trata de un sistema minado de alta producción que es aplicable a los cuerpos o vetas extensas, de buzamiento vertical, y geometría regular que poseen un mineral y cajas completamente competentes, las cuales no requieren ningún tipo de soporte, además en este sistema el mineral fragmentado fluye bajo la fuerza de la gravedad. Generalmente, posee una inversión fuerte en la etapa de preparación (Sulca, 2015).

Cráteres verticales en retroceso: se trata de un sistema de minado, el cual está basado en la teoría de los cráteres, y este consiste en generar el arranque del material por medio de cargas esféricas; generalmente, estas cargas deben estar ubicadas en taladros verticales o inclinados, a una distancia que sea la adecuada de la cara libre (Suarez, 2019).

Corte y relleno descendente: Este sistema consiste en romper el mineral en pisos diferentes, y en sentido descendente, y luego, después de que un corte o piso haya sido totalmente extraído, se inicia rellenándolos antes de empezar el nuevo corte en el piso inmediato inferior. Generalmente, este tipo de relleno es el que ayudará en el sostenimiento del techo del frontón nuevo que se abrirá (Cadillo, 2017).

1.6. Clasificación geomecánica

El Sistema de clasificación geomecánica ha sido dado por Bieniawski (1989) para poder evaluar las propiedades que se encontraban en el material rocoso. Para ello, se debe tomar en cuenta factores como: la resistencia de la roca matriz, las condiciones del diaclasado y su posición relativa con relación a la excavación y el efecto del agua.

Estos factores pueden ser cuantificados mediante el índice de *Rock Mass Rating* (RMR) que evalúa la competencia de las rocas estudiadas en cinco categorías, dándoles un rango de 0 a 100:

Tabla 1.3. Clasificación RMR, del macizo rocoso

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	ÍNDICE DE RESISTENCIA BAJO DE CARGA PUNTUAL (MPa)
MUY ALTA	> 200	> 8
ALTA	100-200	4-8
MEDIA	50-100	2-4
BAJA	25-50	1-2
MUY BAJA	10-25	< 1

Fuente: (Bieniawski, 1989)

El RMR consiste en “identificar las propiedades geomecánicas de la roca y definir las características del macizo que necesiten superar (resistencia, ángulo de fricción y cohesión)” (Pérez et al., 2018, p. 35). Este sistema clasificatorio sirve para reunir información relevante del material con el que se pretende trabajar y, de esta forma, poder viabilizar y estabilizar la construcción de un proyecto minero, asegurando la extracción del material de forma segura, sin que la mina llegue a colapsar (Blanco & Cepeda, 2015; Pérez et al., 2018).

1.6.1. Parámetros o factores de la clasificación RMR

Los parámetros o factores que aportan a la correcta clasificación del material rocoso, según su valor son:

Resistencia de las rocas. Bieniawski toma la clasificación de la resistencia como la compresión uniaxial, la cual fue desarrollada por Deere y Miller (Feijoo & Román 2019). Esta consiste en establecer cuál es la resistencia de las rocas, frente a una compresión simple, tomando muestras de rocas que no presenten una estructura discontinua, sino que estén intactas. Seguidamente, se procede a analizar la muestra sometiendo las rocas a carga axial, con una prensa hidráulica, en el laboratorio de geomecánica.

Tabla 1.4. Resistencia de las rocas

DESCRIPCIÓN	CLASE	VALOR TOTAL RMR
MUY BUENO	I	81-100
BUENO	II	61-80
MEDIO	III	41-60
MALO	IV	21-40
MUY MALO	V	< 20

Fuente: (Bieniawski, 1989)

A continuación, tal y como lo plantea Bieniawski (1989), se expone la fórmula para calcular la resistencia a la compresión simple.

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

σ_c = Resistencia a la compresión simple uniaxial, kg/cm².

F = Carga máxima aplicada sobre la muestra al momento de falla, kg.

A = Área transversal inicial de la muestra, cm².

Calidad de la roca. También conocido como el *Rock Quality Designation*, se trata de un índice que Deere propuso para medir la calidad de la roca, el cual, a partir de criterios cualitativos y basado en la recuperación de núcleos con perforación a diamantina, hace más útil a la clasificación del macizo rocoso para así poder determinar los refuerzos en túneles y galerías (Dávila, 2017; González, 2018).

Bieniawski (1989) la determina con la siguiente fórmula:

$$RQD(\%) = 115 - 3,3(Jv) \quad (2)$$

RQD: Rock Quality Designation

Jv: Número de discontinuidades en 1 m³

De esta forma, mide la cantidad de discontinuidades en 1m² de la cara libre del macizo, que es donde se construye el pique.

Espaciado de las juntas. Esto se da en el espaciamiento entre fracturas, fallas, planos de estratificación, y otros planos de debilidad (Rey, 2021). Es así que la resistencia disminuye, cuando la estructura de la roca adquiere un mayor número de juntas. Además, el espaciado que haya entre junta y junta también va a influir en la debilidad que pudiera adquirir el macizo rocoso (Feijoo, 1997).

Tabla 1.5. Clasificación de la apertura de las juntas

APERTURA DE LAS JUNTAS	
DESCRIPCIÓN	Separación
ABIERTA	> 5 mm
MODERADAMENTE ABIERTA	1 – 5 mm
CERRADA	0.1 – 1 mm
MUY CERRADA	< 0.1

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Condición de las juntas. Este enunciado toma en cuenta las condiciones geométricas y físicas de las discontinuidades, tal es el caso de la separación de abertura de las fisuras, el estado de las paredes (duras o blandas), la rugosidad de la superficie, y la presencia de relleno en las fisuras (Feijoo, 1997; Cañapataña, 2019).

Tabla 1.6. Aspectos a considerar para analizar la condición de las juntas

CONDICIÓN DE LAS JUNTAS	
APERTURA ES LA SEPARACIÓN DE LAS JUNTAS. ESTA SE CLASIFICA ASÍ:	Tamaño: a más separación, mayor influencia en la debilidad del macizo rocoso (Ramírez et al., 1992).
	Rugosidad: puede verse rugosa, ligeramente rugosa, suave o con espejo de falla.
	Dureza en la discontinuidad: en sus labios puede verse dura, media o blanda.
	Relleno: este se mide según el espesor, consistencia, continuidad y tipo de material ubicado en cada junta.

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Presencia de agua subterránea. Aquí se plantea poder medir la influencia del flujo de las aguas subterráneas, ya que puede penetrar en la excavación, desestabilizándola. Además, esto influye en la relación entre la presión del agua en las discontinuidades y el esfuerzo principal. Por ello, se debe determinar el flujo de agua que hay en los macizos rocosos, tomando en cuenta la siguiente valoración: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada, agua con fuerte presión (Feijoo, 1997; Barrios, 2019).

Orientación por presencia de fallas

Cuando se analizan los cinco parámetros descritos anteriormente, se debe revisar los resultados y proceder a corregir posibles errores, siguiendo las posiciones geométricas de

las fracturas que se encuentran en las fallas rocosas, tomando en consideración el rumbo, buzamiento y su dirección.

Tabla 1.7. Corrección según la orientación de las fracturas

ORIENTACIÓN DE LAS FALLAS		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	DISCRETA	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
PUNTAJES	Túnel	0	-2	-5	-10	-12
	Fundición	0	-2	-7	-15	-25
	Talud	0	-5	-25	-25	-60

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Tabla 1.8. Corrección según el rumbo y buzamiento de las fracturas

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE				RUMBO PARALELO AL EJE DEL TÚNEL		BUZAMIENTO
DIRECCIÓN DEL BUZAMIENTO		Dirección contra buzamiento		Buzamiento o	Buzamiento	
BUZAMIENTO	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento			Buzamiento
MUY FAVORABLE	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Tabla 1.9. Corrección y mantenimiento según la orientación de las fracturas

ORIENTACIÓN DE LAS FRACTURAS Y SU CLASE					
CLASE	I	II	III	IV	V
TIEMPO DE MANTENIMIENTO AUTOSOSTÉN	5 m para 10 años	4 m para 6 meses	3 m para una semana	1,5 m para 5 horas	0,5 m para 10 minutos
COHESIÓN (KPA)	>300	200-300	150-200	100-150	<100
ÁNGULO DE FRICCIÓN	>45°	40°-45°	35°-40°	30°-35°	<30

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Con lo antes expuesto se podrá restar técnicamente a los resultados que el RMR haya arrojado en un inicio, consiguiendo el RMR de la roca. Esto permite determinar si el diseño de mina requiere estabilidad adicional y si debe incluirse o no soportes (Feijoo, 1997). Para los proyectos de mina que utilicen el método de corte y relleno ascendente y que requieran de un soporte extra, se presenta la tabla 1.10, que se muestra a continuación:

Tabla 1.10. Tipos de soporte, según el índice RMR

Clases del macizo rocoso	Tipos de soporte		
	Pernos con diámetro de 20 min.	Hormigón lanzado	Marcos de acero
81-100 RMR	Se refuerza con pernos locales.	-	-
61-80 RMR	Se utilizan pernos locales de 3 m x 2.5m con malla ocasional	50mm en la zona del techo, cuando se requiera.	-
41-60RMR	Se usan mallas y pernos sistemáticos de 4m. Techo y paredes: con un espaciamiento de 1.5 o 2 m.	Techo: 50-100mm Paredes: 30mm	-
21-40RMR	Se colocan malla y pernos sistemáticos de 4 a 5 m. Techo y paredes: con un espaciamiento de 1 a 1.5 o incluso 2 m	Techo: 100-150 Paredes:100	Marcos ligeros con una separación de 1.5 m, donde se requieran.
0-20RMR	Se aplican malla y pernos sistemáticos de 5 a 6 m.	Techo: 150-200 mm Paredes: 150mm Frente: 50mm	Marcos medianos o pesados, según sea el caso, de 0.75m con el añadido de estacas y jaulas de ardilla.

	Techo y paredes: con un espaciamiento de 1 a 1.5 m.		
--	---	--	--

Fuente: (Bieniawski, 1989)

En esta tabla es posible dilucidar los soportes técnicos que han de aplicarse en un diseño de extracción minera subterránea. Estos parámetros consideran el sistema RMR, que, a su vez, toma en cuenta aspectos como la tensión, la deformación y la ruptura que podría ocasionarse al momento de someter el material compacto a la fuerza de la extracción (Feijoo, 1997). No obstante, (Herrera, 2019) recuerda que el diseño minero es diametralmente opuesto al de la ingeniería civil, por lo que los soportes y pilares abandonados se reducen al mínimo. Adicionalmente a esto, el autor indica el beneficio de poder ir modificando, según las necesidades del proyecto, dicho diseño por cuanto un proyecto de mina suele tener un desarrollo lento.

Como puede comprobarse, es posible aplicar el sistema RMR al yacimiento que se está diseñando, de tal forma que las galerías de la mina conformen tramos geológicos similares a los dados con esta técnica. Por ende, se afirma que el RMR es de suma importancia en la planificación y desarrollo de un proyecto de mina e incluye, además, una fácil cuantificación de la calidad de cada roca, por lo que es un método económico.

1.7. Parámetros de diseño

El reto de diseñar un parámetro que sea completamente eficiente es una labor compleja de realizar, debido a que conlleva de una gran destreza en creatividad, lógica, memoria y experiencia (Walkenbach, 2007) como se citó en (Kerguelen et al., 2013). Por ello, resulta tentativo el uso de buenas prácticas de programación para así alcanzar precisamente la solución a un problema en particular. Pero, para hacer esto, primero se debe definir cuál es el problema con exactitud, luego, exponer todos los datos de partida para la implementación de la solución y, finalmente, ejecutar la acción.

Dicho esto, en la minería subterránea, el diseño es un proceso propio de la ingeniería minera, donde se define la arquitectura que la mina ha de tener, relacionando cálculos de

soporte con los aspectos de la estructura (Herrera, 2019). Es así que los parámetros de diseño se presentan de forma clara y ordenada, y se empieza haciendo una evaluación de la influencia de la potencia y buzamiento, la profundidad y regularidad del yacimiento, el rendimiento de la explotación, el arranque y con qué velocidad lo hace, la recuperación y precio del mineral, el consumo de los materiales, el tratamiento de los espacios vacíos, la ventilación, transporte, factores e impactos ambientales, y la seguridad minera (Grigaliunas, 2016; Herrera, 2019).

Consecuentemente, se debe tomar en cuenta los análisis geomecánicos del yacimiento que se pretende explotar para que, de esta manera, se asegure viabilidad, sostenibilidad y seguridad. Desde el (Gobierno de España, 2015) se recuerda que “el cálculo del sostenimiento de las obras subterráneas se puede efectuar mediante métodos analíticos, observacionales, empíricos y numéricos” (p. 45).

Después de haber analizado todos los factores técnicos mencionados, se procede a poner en marcha la elección del método de explotación minero subterránea que sea más viable; evaluando la estructura, técnica y mecánica que incluya formas geométricas en las labores, sistemas de fortificación con estructuras adecuadas, la aplicación de los pilares en el macizo, entre otros (Uchamaco, 2019).

1.8. AutoCAD

Los diseños y manejos de las vías mineras se han venido desarrollando en respuesta a los cuestionamientos de los operadores y fabricantes para poder obtener sistemas de transporte que sean eficientes y seguros. Se tiene en claro que los diseños de un camino minero son parte fundamental del proceso tecnológico de transporte en minas, ya sea este a cielo abierto o subterráneo. Por ello, los operadores que trabajaban en las minas comparten los mismos ideales en que existe una relación muy fuerte entre caminos eficientemente contruidos y mantenidos, y así mismo, en las operaciones mineras seguras (Conde, 2011).

El desarrollo científico, relacionado con la rama de la informática, crea metodologías de trabajo para poder resolver los problemas de diseño automatizados de los caminos mineros para que puedan cumplir con las exigencias de los entornos actuales que requieren los proyectos. Estos parten del diseño de caminos mineros en AutoCAD Civil 3D, para

identificar cuáles son los principales factores técnicos que influyen en la creación del diseño geométrico de caminos, ya que, las ventajas que brinda este tipo de software para el diseño de viales presentan muchas mejoras con relación a otros programas (Téllez, 2012).

1.8.1. AutoCAD civil 3D

El programa de AutoCAD civil 3D es un software que permite realizar procesos de diseño, así como también de documentación relacionada con proyectos de ingeniería. Este programa puede resistir flujos de trabajo gracias a que cuenta con un Modelado de información de construcción (BIM, Autodesk, 2020). Se caracteriza por permitir múltiples cambios, según requiera el trabajo o dibujo que se esté creando. En su versión de 2020 permite realizar modificaciones desde herramientas básicas (Calderón & Zaquinaula, 2021). Otras características de gran importancia mencionadas en (Esarte, s.f) son:

La colaboración para el civil 3D: este programa permite colaborar de forma segura en los archivos que se hayan compartido en un entorno de datos común, ya sea desde varias ubicaciones de una empresa o mediante el acceso directo o por referencia externa.

Conector para ArcGIS: es eficaz con el flujo de datos compartidos entre el ArcGIS y el civil 3D.

Dynamo para el civil 3D: por medio del entorno de scripts visuales propios del dynamo se puede desarrollar varias rutinas con el propósito de automatizar las actividades repetitivas de diseño, de tal manera que se acelere el flujo de trabajo.

Red de tuberías en carga: brinda herramientas que permiten el diseño de redes de tuberías de presión.

Diseños de raíles: permite la creación de espirales, alineaciones dinámicas y peraltes.

Software abierto a los complementos: da paso a la integración de funcionalidades novedosas mediante los plug-ins.

De esta manera, el civil 3D consiste en la creación de imágenes acercadas a la realidad por cuanto toma en consideración las dimensiones del objeto o del espacio que se está diseñando (Maza, 2014). Su utilidad se ve multiplicada con el uso que le da cada tipo de

ingeniería; en el caso de la minería, el aporte de este programa es invaluable puesto que permite diseñar mineras subterráneas de tal forma que se pueda planificar y poner en marcha una construcción segura, viable y que otorgue alta rentabilidad (Télez, 2012).

1.9. Labores subterráneas

Las labores subterráneas son aquellas que se relacionan con las actividades propias de la minería subterránea como lo son las excavaciones subterráneas, la conformación de pilares y cámaras, el diseño del sostenimiento, según el tipo de roca y terreno y, por supuesto, la extracción del mineral (Pflucker et al., 2019).

Estas labores se caracterizan por identificar los tipos de roca que aparecen en el proyecto minero, para la correcta selección de un sostenimiento, a fin de poder desarrollar, posteriormente un proceso de excavación eficiente tanto en rendimiento económico como en seguridad (Escalante, 2017). Además, considerando que los factores tectónicos como las fallas son una realidad indiscutible, las labores subterráneas planificadas y organizadas sin duda disminuyen los riesgos asociados a incidentes mineros por fallas tectónicas. Consecuentemente, resulta indispensable realizar una proyección del proyecto de minería subterránea en el que se va a trabajar con la finalidad de dirigir la labor subterránea hacia la optimización del diseño de sostenimiento y de un presupuesto que resulte cercano y real sobre los costes finales que esto representaría (Laboratorio Oficial J. M. Madariaga, LOM, 2015).

1.10. Sistema Nicholas

El sistema de Nicholas (1981) se conceptualiza como una metodología clasificadora de la geometría, características y la distribución de los minerales (Mendiola, 2012). Se conforma por los siguientes parámetros: geometría del yacimiento, condición y características geomecánica y costos de operación, según su factibilidad técnica y económica. Así, cada método de explotación considerado puede adquirir un puntaje, donde el mayor valor cuantitativo representa las condiciones más propicias para su aplicación (Nicholas, 1981).

De esta forma, esta metodología permite la descripción de la potencia, inclinación, profundidad y distribución de las leyes en el yacimiento, donde:

- Un valor de 1 y 2 indica que una característica es probablemente adecuada a este método.
- Un valor de 3 y 4 indica que las características son preferenciales para el método de explotación.
- Un valor de 0 indica que esta característica no promueve el uso de este método de explotación.
- Y un valor de -49 indica que considera inviable este método y sistema de explotación. (Mendiola, 2012, p. 60)

Por esta razón, este sistema es recomendable para definir el método más apropiado de minado (Rodríguez, 2016) por lo que se verá empleado para el presente estudio, en el capítulo 3.

1.11. Operaciones unitarias

El ciclo de minado está compuesto por operaciones unitarias que son: la perforación, voladura, limpieza, acarreo y relleno (Jáuregui, 2009). Estos son pasos básicos que se deben seguir a fin de lograr una correcta extracción de los minerales. No obstante, se recalca que cada equipo de trabajo puede modificar su proceso, en función de sus necesidades y de las condiciones en las que esté trabajando. Fuera de esto, se puede afirmar que las operaciones unitarias son cíclicas (Barrios et al., 2016). Sin embargo, debido al tema que se ha propuesto en el presente trabajo investigativo, se reparará en la descripción específica de los dos primeros en tanto que, como bien lo explica (Jáuregui, 2009) la perforación y la voladura son el núcleo fundamental del sistema.

Perforación y voladura. Esta fase del proceso de extracción minero es aquella que asegura la ruta para acceder al mineral. Consiste en la realización de huecos cilíndricos o denominados taladros. De esta manera, se encarga de abrir la roca o el mineral. Para conseguir esto, se suele colocar explosivos al interior del punto de excavación. Sin embargo, puede realizarse de varias formas, con diferentes tipos de perforación que puede

ser manual, neumática, eléctrica o, incluso, hidráulica. Con ello, se accede a la máxima cantidad de roca en un tajeo. Para evitar derrumbes, se van agregando columnas capaces de sostener cada taladro (Tiempo Minero, 2019).

1.12. Operaciones auxiliares

Son actividades de soporte; sin embargo, no contribuyen de manera directa en la extracción de los minerales. Es así que su operación consiste en dar apoyo al área de ventilación, control de gas y polvo, abatimiento de ruido, control de subsidencia, techo, hundimiento, distribución de energía, bombeo, drenaje, protección del agua subterránea, prevención de enfermedades, caminos de acarreo, para la movilización del material a la superficie, entre otras. Como puede entreverse, la función de las operaciones auxiliares es brindar seguridad y salud a los trabajadores, controlar y proteger el medio ambiente y establecer un suministro de material (Barrios et al., 2016).

Ventilación. Esta se refiere al caudal de aire que asegura oxígeno y una adecuada condición ambiental (temperatura y humedad) para los trabajadores de las minas. Por lo tanto, un sistema adecuado de ventilación es vital en la minería subterránea (Córdoba & Molina, 2011). En este sentido, la ventilación debe diseñarse de tal manera que no forme circuitos cerrados, para evitar así obstrucciones de aire. Este diseño puede pensarse para una ventilación natural o mecanizada. Además de esto, se debe medir el caudal y la calidad de aire de las instalaciones subterráneas para prevenir y asegurar un flujo adecuado y efectivo (Kerguelen et al., 2013).

Sostenimiento. Esta actividad es esencial en la mina subterránea ya que brinda seguridad a la estructura, personal y equipo (Ortiz et al., 2003). Existen varios tipos de sostenimiento; estos pueden ser por CX, GL y VENT o por Tajos (Lozano, 2015). Su elección depende del terreno y material rocoso, del tipo de estructura y de los costes adicionales que la empresa está dispuesta a asumir. Es así que se pueden utilizar pernos y tendones de anclaje, pero también puede ser viable el uso de cemento, resina o grava (Ortiz et al., 2003). Es muy importante realizar un correcto sostenimiento, ya que un exceso del mismo o un inoportuno sostenimiento pueden generar debilitamiento en el macizo de la roca (Jáuregui, 2009).

1.13. Maquinaria y equipos subterráneos

La maquinaria para la minería subterránea depende, muchas de las veces, de distintas variables en tanto que, cada minera, cuenta con diferentes particularidades y características. Por ello, con la iniciativa de superar las exigencias del subterráneo, las mineras han optado por conseguir equipos compactos y altamente potentes diseñados para poder ofrecer una producción de calidad con bajo costo de mantenimiento (Medina, 2019). Por su parte, ha de considerarse como parte del equipo indispensable de la minería subterránea a máquinas, jaulas, *skips*, sistema de seguridad, emergencia, frenos y cables, sistema eficiente de iluminación (Herrera, 2020).

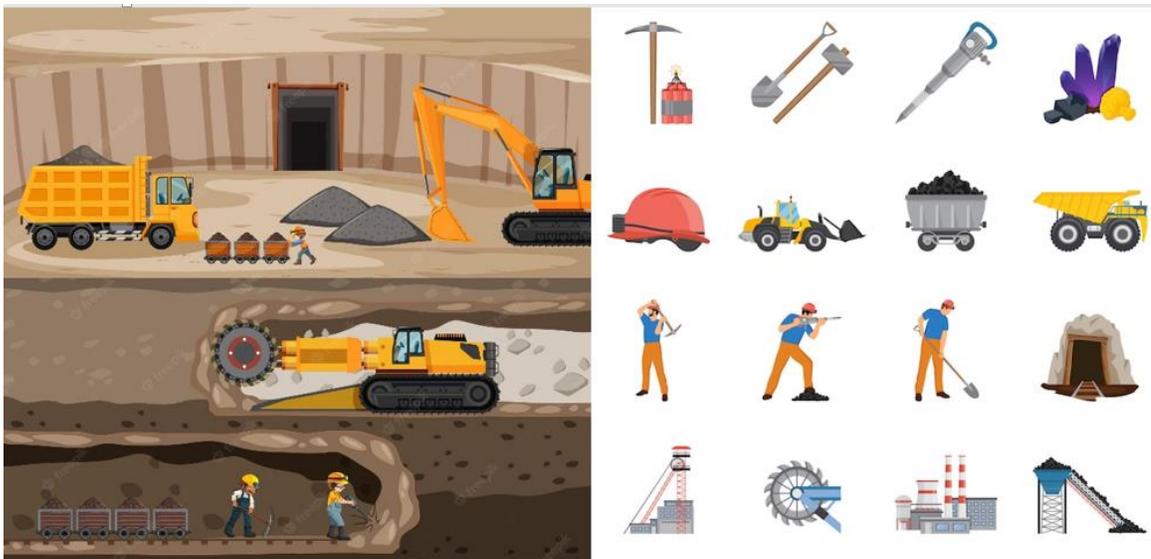


Figura 1.8. Tipos de maquinaria para minería subterránea

Fuente: (Freepick, s.f.)

Los tipos de maquinaria propios para la minería subterránea son:

El martillo perforador. Unida a la barrena, sirve para taladrar la roca con la finalidad de introducir la dinamita (Herrera, 2020).

La pala neumática. Es una máquina de carga ligera, propia para la minería subterránea. Su estructura es estrecha por lo que se caracteriza por ser altamente adaptable. Además, su operatividad es sencilla, confiable y de fácil mantenimiento. Sirve para cargar el material seleccionad (Kamach, s.f).

La perforadora sttoper. Es una perforadora convencional neumática. Permite abrir frentes para crear chimeneas y tajeados, mediante perforaciones verticales que van hacia arriba (Seguridad minera, 2017).

El compresor. Existen compresores estacionarios y otros que son portátiles. Estos sirven para hacer agujeros, cortar rocas, previo a la perforación o explosión de las mismas. Además, proporcionan aire cuando se accionan herramientas de voladuras para rocas gruesas (Rumbo minero, 2017).

Las excavadoras mineras. Son equipamientos que se usan en las “actividades de remoción, carga y descarga del material” (De Noronha, et al., 2018, p. 45).

Los tractores mineros. Son máquinas que empujan el material. Cuentan con una estructura, tren de fuerza y ruedas para la movilización efectiva de distintos materiales ya que sirve para cubrir diversas áreas como la de limpieza, la de carga o la del área de descarga. También pueden tener la característica de ser topadores (Ferreyros, 2022).

Las motoniveladoras mineras: son máquinas especialmente utilizadas para limpiar y conservar adecuadamente las galerías. Se caracterizan por ser compactas, por lo que pueden ingresar a terrenos subterráneos. También tiene una transmisión hidrostática que facilita su uso en pendientes. Tiene el eje frontal de dirección y una dirección articulada, por lo que cuenta con una gran maniobrabilidad y su hoja frontal permite pre-nivelar los terrenos (Sinductor, s.f).

(Herrera, 2019) sugiere que la industria minera vaya de la mano de la tecnología, implementando así maquinaria tele-operada. Así también, debería considerarse un tipo de maquinaria que sea ideal para espacios reducidos, tan propios como aquellos que se encuentran en el subsuelo. De esta forma, no solamente habrá un mejor manejo de esta por parte de los trabajadores, sino que, además, se evitarán derrumbes al momento de realizar las perforaciones.

Finalmente, para que la maquinaria y el quipo cumplan enteramente con su función, se necesita que estén en buenas condiciones, por lo que se les debe almacenar en un lugar apropiado, hacer revisiones constantes y dar mantenimiento. Asimismo, el personal debe

estar capacitado y maniobrar con responsabilidad todo el suministro, siguiendo los lineamientos del diseño y normas legales.

2.1. Análisis geomecánico

El análisis geomecánico tiene como objetivo evaluar las características del macizo rocoso de forma cuantitativa y cualitativa. Por lo tanto, es de gran importancia en la toma de decisiones operativas como también en la selección del sistema de explotación. Es de gran utilidad las clasificaciones geomecánicas ya que permite poseer una predicción del comportamiento del macizo rocoso, para este caso de estudio se realizará la clasificación propuesta por Bieniawski (1989) que constituye los siguientes parámetros.

- Resistencia a la compresión simple
- RQD
- Espaciamiento de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Presencia de agua
- Orientación de las discontinuidades

De esta manera se realiza un análisis cuantitativo designando una valoración a cada parámetro, mediante la sumatoria de las valoraciones para conocer la calidad de la roca que se encuentra en el macizo rocoso propuesta por el sistema Rock Mass Rating (RMR).

2.2. Resistencia a la compresión uniaxial

Para el ensayo de la compresión uniaxial se recolectaron 7 muestras de roca tomadas en distintas partes, alrededor de la cavidad dentro de la mina donde se implementará el diseño de explotación, con el fin de obtener los resultados más exactos y representativos.

Todas las muestras se han cortado con una dimensión de 6 cm de ancho y 5.25 cm de alto, contando con un área promedio de 31.5 cm² como se muestra a continuación, en la figura 2.1.



Figura 2.1. Muestras de roca estéril

Fuente: Elaboración propia

Luego se ha realizado pruebas en la prensa Humboldt, empleando una fuerza (kN) hasta la ruptura de la muestra, donde se ha obtenido los siguientes resultados, vistos en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Ensayos de resistencia a la compresión uniaxial

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL		
Nº	Ubicación	Resistencia
		(MPa)
Muestra 1	Techo	22.15
Muestra 2	Techo	35.62
Muestra 3	L Derecho	23.65
Muestra 4	L Izquierdo	24.49
Muestra 5	L Derecho	19.85
Muestra 6	Piso	29.45
Muestra 7	Piso	31.45
	Promedio	26.67

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en el promedio de distintos puntos tomados, dan una resistencia a la compresión uniaxial de 26.67 MPa. A través de la tabla 2.2 se designa una valoración respecto a la compresión simple.

Tabla 2.2. Valorización de la resistencia a la compresión uniaxial

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN		RANGO DE VALORES						
Resistencia de la roca intacta	Índice de Point Load test	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para rangos menores es preferible la prueba de compresión uniaxial		
	Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1MPa
	PUNTAJE	15	12	7	4	2	1	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

2.3. Designación de la calidad de la roca

Dentro de la clasificación RMR es necesario la determinación de este parámetro. Para ello, la metodología utilizada en campo, consiste en aplicar un flexómetro a lo largo del túnel e ir tomando nota del número de discontinuidades adyacentes en un metro cúbico como se observa en la figura 2.2.



Figura 2.2. Medición del RQD%

Fuente: Elaboración propia

Para este caso se fue tomando nota del número de discontinuidades con el fin de obtener el valor J_v y proceder a determinar el RQD con la fórmula planteada.

$$RQD(\%) = 115 - 3,3(J_v) \quad (3)$$

Donde:

RQD (%): Rock Quality Designation

J_v : Numero de discontinuidades en $1m^3$

Mediante un promedio de distintos puntos dentro de la cavidad se determinó el RQD, como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Medición del RQD %

MEDICIÓN DE RQD%		
N.º	Número de discontinuidades en 1m³	RQD (%)
Muestra 1	9	85.3
Muestra 2	7	91.9
Muestra 3	4	101.8
Muestra 4	6	95.2
Muestra 5	8	88.6
Muestra 6	9	85.3
Muestra 7	8	88.6
Muestra 8	5	98.5
Promedio		91.9%

Fuente: Elaboración propia

El valor obtenido del promedio de la medición da como resultado un RQD: 91.9%, la cual se designa según una valoración de Bieniawski (1989) como se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Valorización del RQD%

<i>Rock Quality Designation</i>	90%- 100%	75%- 90%	50%- 75%	25%- 50%	< 25%
PUNTAJE	20	17	13	8	3

Fuente: (Bieniawski, 1989)

2.4. Espaciamiento entre discontinuidades

El espaciamiento es la distancia perpendicular entre las discontinuidades adyacentes. Mediante un flexómetro se coloca de forma perpendicular a las discontinuidades adjuntas como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3. Familia de diaclasas en la estructura estéril

Fuente: Elaboración propia

El valor obtenido de la distancia entre las discontinuidades se presenta en un promedio de las muestras horizontalmente como se puede observar en los resultados en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Medición entre discontinuidades

MEDICIÓN DE ESPACIAMIENTO ENTRE DISCONTINUIDADES							
Nº	Distancia entre discontinuidades					Longitud Total	Promedio
Muestra 1	57	60	62	62		241	60.25
Muestra 2	61	52	62	58		233	58.25
Muestra 3	60	58	60	61		239	59.75
Muestra 4	58	60	58	62		238	59.5
Muestra 5	61	62	64	60		247	61.75
Muestra 6	61	61	63	64		249	62.25
Muestra 7	63	60	61	60		244	61
Muestra 8	57	58	63	58		236	59
Muestra 9	60	64	62	59		245	61.25
						Promedio	60.33

Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido en el promedio de los distintos puntos tomados es de 60.33 cm de espaciamiento entre discontinuidades, a través de la tabla 2.6 se muestra la valoración que alcanzan de acuerdo a la escala establecida por Bieniawski (1989).

Tabla 2.6. Valorización del espaciamiento entre discontinuidades

Espaciamiento de las discontinuidades	>2m	0.6 - 2m	200- 600mm	60- 200mm	<60mm
PUNTAJE	20	15	10	8	5

Fuente: (Bieniawski, 1989)

2.5. Condición de las discontinuidades

Se presentan aberturas rugosas que determinan la resistencia al corte. Aproximadamente, se tiene 0.8 mm de separación con un relleno de material arcilloso blando, como se muestra en la figura 2.4.



Figura 2.4. Medición de la abertura de las discontinuidades

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones de las discontinuidades están constituidas por 5 parámetros a los cuales se les designa una valoración conforme la escala propuesta por Bieniawski (1989), como se muestra en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Valorización de las condiciones de las discontinuidades

Longitud de la discontinuidad (persistencia)	<1mm	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
PUNTAJE	6	4	2	1	0
Separación (abertura)	Ninguna	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm
PUNTAJE	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Ondulado	Suave
PUNTAJE	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno < 5mm	Relleno >5mm	Relleno suave <5mm	Relleno suave >5mm
PUNTAJE	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Altamente alterada	Descompuesta
PUNTAJE	6	5	3	1	0

Fuente: (Bieniawski, 1989)

2.6. Presencia del agua

El área de estudio se encuentra húmeda, debido a las labores mineras y la sobre excavación. Esto ha ocasionado grietas en el macizo rocoso, provocando que aguas

subterráneas logren una filtración por las discontinuidades. Esto es valorado por la escala propuesta por Bieniawski (1989) como se puede observar en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Valorización de la humedad del macizo rocoso

Caudal por 10m de túnel (l/mm)	Ninguno	<10	10-251	25-125	>125
Presión de agua tensión principal	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
Estado general	Completamente seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
PUNTAJE	15	10	7	4	0

Fuente: (Bieniawski, 1989)

2.7. Orientación de las discontinuidades

La orientación de las discontinuidades en una determinada estructura es un indicador de las condiciones, que originan inestabilidades o deformaciones excesivas por la cual presenta un rumbo de $11^\circ - 15^\circ$ que va de noroeste – sureste, con un buzamiento de 75° , como se muestra en la figura 2.5.



Figura 2.5. Rumbo y buzamiento de las discontinuidades

Fuente: Elaboración propia

Para la valoración de este parámetro se debe calificar la roca con base en la orientación de las discontinuidades, debido a que no presentan fallas dentro de las cavidades realizadas. La orientación del túnel se encuentra de forma perpendicular a las discontinuidades, lo que define condiciones muy favorables; por lo tanto, se le designa su valoración como se muestra en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Valorización de buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje del túnel

ORIENTACIÓN DE LAS FRACTURAS O FALLAS		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	DISCRETA	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
PUNTAJE	TUNEL	0	-2	-5	-10	-12
	FUNDICIÓN	0	-2	-7	-15	-25
	TALUD	0	-3	-25	-25	-60

Fuente: (Bieniawski, 1989)

2.8. Valoración del macizo rocoso

Basándose en el análisis geomecánico del macizo rocoso y, después de haber definido los parámetros de la clasificación de Bieniawski (1989), se determinó mediante la tabla 2.10 lo siguiente:

Tabla 2.10. Valorización de los parámetros del macizo rocoso establecido por Bieniawski (1989)

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	
Resistencia a la compresión	26.67 MPa
RQD %	91.9 %
Espaciamiento entre discontinuidades	60.33 cm
Longitud de la discontinuidad	3 m
Abertura de las discontinuidades	0.8 mm
Rugosidad	Rugoso
Relleno	suave
Presencia de agua	Goteando
Rumbo	11° - 15°
Buzamiento	75°

Fuente: Elaboración propia

El resultado presentado, de la sumatoria de cada uno de los parámetros, da como resultado de un RMR de 61 encontrándose este rango en 61-80. Así, se sitúa en una categorización de clase II (roca buena), lo que se considera para realizar un diseño de explotación óptimo con base en el análisis geomecánico como se muestra en la tabla 2.11.

Tabla 2.11. Tabla de clasificación del macizo rocoso con relación al índice RMR

CLASIFICACIÓN DE MACIZOS A PARTIR DE PUNTAJES TOTALES					
PUNTAJES	81 a 100	61 a 80	41 a 60	21 a 40	< 21
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy buena	Buena	Media	Pobre	Muy pobre
CLASE N°	I	II	III	IV	V
TIEMPO DE AUTO SOSTENIMIENTO	10 años con luz de 6 m	6 meses con luz de 4 m	1 semana con luz de 4m	5 horas con luz de 1 m	10 minutos con luz de 0.6m
COHESIÓN DE LA ROCA Kpa	> 300	200 a 300	150 a 200	100 a 150	< 100
ÁNGULO DE FRICCIÓN	> 45	40 a 45	35 a 40	30 a 35	< 30

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Debido a que la luz del túnel cuenta con un ancho de 2 metros, la tabla anterior no determina una valorización precisa de tiempo de auto sostenimiento. Por esta razón es necesario acudir a un Abaco para determinar el tiempo de auto sostenimiento de nuestro túnel por lo que se define en la siguiente figura 2.6.

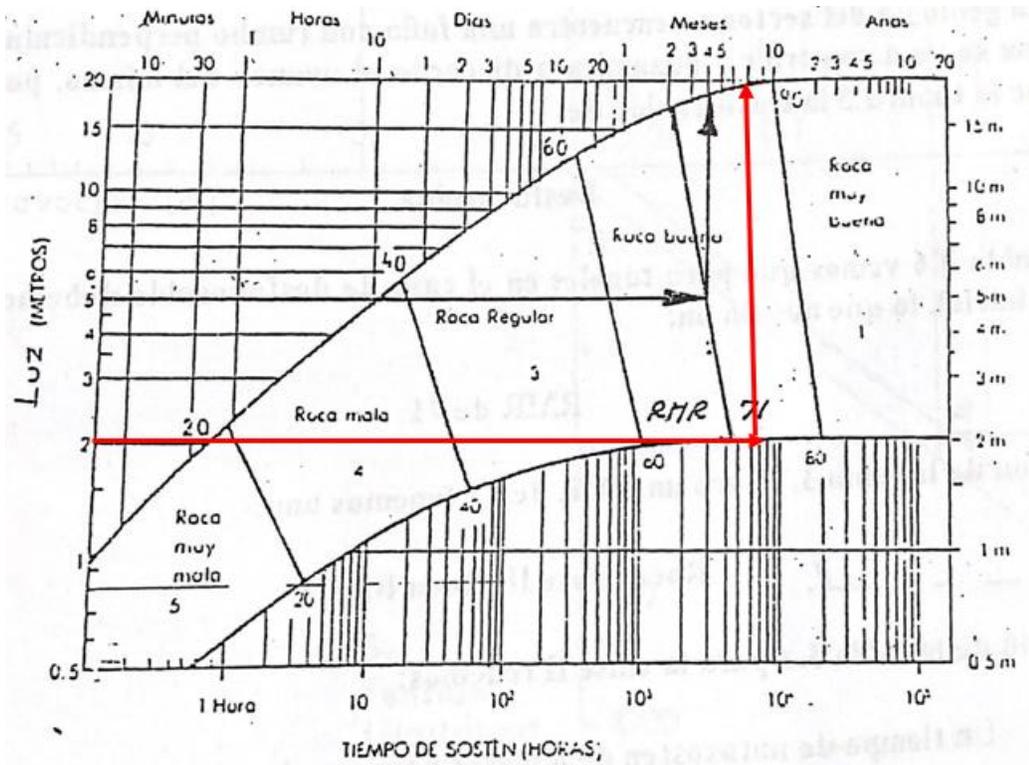


Figura 2.6. Gráfico para calcular el tiempo de auto sostenimiento del túnel

Fuente: (Feijoo, 1997).

Debido a la figura 2.6, el auto sostenimiento de nuestro túnel será de 8 meses aproximadamente. Por lo tanto, se debe acudir a una guía de sostenimiento, según la calidad de la roca, donde ya se ha demostrado en los cálculos anteriores que se trata de una roca buena, definida en un rango de 61-80. A continuación, se presenta una guía útil en el tipo de soporte en túneles.

Tabla 2.12. Guía para el soporte de túneles y obras de ingeniería

CLASE DE MACIZO ROCOSO	ADEME		
	Pernos (Diámetro 20 mm)	Hormigón Lanzado	Marcos de Acero
RMR 81-100	No se necesita ademe excepto algunos pernos para refuerzo local.	No	No
RMR 61-80	Pernos locales en el techo de 3m de largo y espaciamiento de 2.5m con malla ocasional.	50 mm en el techo donde fuera necesario.	No
RMR 41-60	Pernos sistemáticos de 4m de largo espaciamiento de 1.5 a 2m en el techo y las paredes con malla.	50 - 100 mm en el techo y 30 mm en las paredes.	No
RMR 21-40	Pernos sistemáticos de 4m de largo espaciamiento de 1 a 1.5 a 2m en el techo y las paredes con malla.	100 - 150mm en el techo y 100 mm en las paredes	Marcos ligeros separados 1.5m, donde hagan falta.
RMR 0-20	Pernos sistemáticos de 5 a 6 m de largo, espaciamiento de 1 a 1.5m en el techo y las paredes con malla.	150 - 200 mm en el techo, 150mm en las paredes y 50 mm en el frente.	Marcos medianos a pesados espaciamiento de 0.75m con estacas y jaula de ardilla donde se necesite.

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Debido al análisis realizado en la tabla 2.12 se recomienda realizar un soporte de pernos locales en el techo de 3m de largo, con un espaciamiento de 2.5m con malla ocasional. Es una alternativa de sostenimiento muy buena en comparación con la madera debido a que la madera tiene poca durabilidad.

3.1. Aspectos generales

La “Veta Nohelia” forma parte del yacimiento mineral que está dentro del área minera Patricia, tiene un rumbo estimado de 11° - 15° noreste y un buzamiento hacia el oeste de 75° , casi verticales en profundidad. La potencia de esta veta es variable de: 0.2 m – 0.3m. Es una mena polimetálica característica de calcopirita, pirita y arsenopirita. Su principal mineral de interés es el oro, ya que cuenta con una ley media de oro de 26 g/t. Además, contiene minerales secundarios de cobre y plata.

La veta principal Nohelia presenta una profundidad de mineralización de 519.52m, con un ángulo de buzamiento de 75° oeste, desde la cota promedio 1673.037 m.s.n.m a 1171.227 m.s.n.m, con un largo de 469.23m, de tal manera que conforma toda la estructura mineralizada.

La base de modelo de un diseño de explotación debe considerar varios factores donde se permita desarrollar las labores de preparación que sean viables para una explotación óptima, como se establecen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Condiciones geológicas y geomecánicas

GEOMETRÍA DEL YACIMIENTO	CARACTERÍSTICAS DE LA VETA
Forma del yacimiento	Tabular semi vertical
Potencia del yacimiento estimado	0.3 m
Rumbo	11° NE
Buzamiento	Inclinado con ángulo de buzamiento estimado de 75°
Profundidad del yacimiento	519.52 m
Largo del yacimiento	469.23m
Propiedades geo mecánicas de la roca	Buena
Distribución de leyes	Uniforme

Fuente: Elaboración propia

3.2. Selección del método de explotación y sistema de explotación

Una vez establecido la geometría del yacimiento y las propiedades geomecánicas del macizo rocoso se procede a evaluar la factibilidad de aplicar un sistema de explotación en la “Veta Nohelia”. Para tal propósito, se hace uso de la metodología numérica de (Nicholas, 1981), que evalúa cuantitativamente las condiciones geomecánicas y geológicas del yacimiento. En las siguientes tablas se muestran los distintos parámetros cuantificables, que intervienen en la valoración de cada uno de los métodos y sistemas de explotación.

Tabla 3.2. Clasificación A del método y sistema de explotación en función de la geometría y distribución de leyes

MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	Forma del yacimiento			Potencia del mineral				Inclinación			Distribución de leyes		
	M	T	I	E	IT	P	MP	T	IT	IN	U	D	ER
Cielo abierto	3	2	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	3
Hundimiento por bloques	4	2	0	(-)49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Cámaras por subnivel	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Tajeo por subniveles	3	4	1	(-)49	0	4	4	1	1	4	4	2	0
Cámaras y pilares	0	4	2	4	2	(-)49	(-)49	4	1	0	3	3	3
Cámaras almacén	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1
Corte y relleno	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3

M: Masivo T: Tabular I: Irregular E: Estrecho IT: Intermedio P: Potente MP: Muy Potente T: Tumbado IN: Inclinado U: Uniforme D: Diseminado ER: Errático

Fuente: (Nicholas, 1981)

Tabla 3.3. Clasificación B del método y sistema de explotación en función de las características geomecánicas de la roca del mineral

MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	RESISTENCIA DE LAS ROCAS			ESPACIAMIENTO ENTRE FRACTURAS				RESISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES		
	P	M	A	MP	P	G	MG	P	M	G
Cielo abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Cámaras por subnivel	(-)49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Tajeo por subniveles	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Cámaras y pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Cámaras almacén	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Corte y relleno	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2

P: Pequeña M: Media A: Alta MP: Muy Pequeña G: Grande MG: Muy Grande

Fuente: (Nicholas, 1981)

Tabla 3.4. Clasificación C del método y sistema de explotación en función a las características geomecánicas de la roca de caja techo

MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	Resistencia de las rocas			Espaciamiento entre fracturas			Resistencia de las discontinuidades			
	P	M	A	MP	P	G	MG	P	M	G
Cielo abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0
Cámaras por subnivel	(-)	3	4	(-)	0	1	4	0	2	4
Tajeo por subniveles	3	2	1	3	4	3	1	4	2	0
Cámaras y pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Cámaras almacén	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0
Corte y relleno	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2

P: Pequeña M: Media A: Alta MP: Muy Pequeña G: Grande MG: Muy Grande

Fuente: (Nicholas, 1981)

Tabla 3.5. Clasificación D del método y sistema de explotación en función a las características geo mecánicas de la roca de caja piso

METODO DE EXPLOTACION	Resistencia de las rocas			Espaciamiento entre fracturas				Resistencia de las discontinuidades		
	P	M	A	MP	P	G	MG	P	M	G
Cielo abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Cámaras por subnivel	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Tajeo por subniveles	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Cámaras y pilares	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Cámaras almacén	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Corte y relleno	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

P: Pequeña M: Media A: Alta MP: Muy Pequeña G: Grande MG: Muy Grande

Fuente: (Nicholas, 1981)

3.2.1. Resultados de la selección del método de explotación y sistema de explotación

Según la metodología numérica de (Nicholas, 1981), la selección del método y sistema de explotación se obtiene con base en las valoraciones de los parámetros cuantificables. Por lo tanto, mediante la sumatoria de las clasificaciones, se obtuvo un puntaje de 44 puntos para realizar la explotación con el método a cielo abierto, pero debido a las condiciones geomorfológicas y las características del yacimiento, el sistema corte y relleno ascendente con un puntaje de 37 puntos, es una alternativa muy buena puesto que cumple con las condiciones y las valoraciones que se demuestra en las tablas anteriores. Los resultados de las valoraciones se muestran más adelante, en la tabla 3.6.

Además, la selección de este sistema se dio debido a que se tiene un yacimiento de potencia de 0.3m, con un ancho de galería de 1.8m donde se obtiene un exceso en dimensiones de la galería de explotación, por lo tanto, con el fin de optimizar el diseño, se pretende dejar las cámaras rellenas de roca estéril, a fin de conseguir beneficios en el costo de producción y sostenimiento de las cámaras abiertas.

Tabla 3.6. Valoración final de las condiciones geomecánicas y geométricas para la selección del método y sistema de explotación

	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	SUMA TOTAL
1	Cielo abierto	11	11	11	11	44
2	Corte y relleno	15	7	7	8	37
3	Cámaras y pilares	11	7	7	8	33
4	Cámaras almacén	10	8	7	8	33
5	Cámaras por subnivel	10	6	6	5	27
6	Tajeo por subniveles	-37	9	7	7	-14
7	Hundimiento por bloques	-39	7	7	9	-16

Fuente: Elaboración propia

3.3. Levantamiento planimétrico de la mina

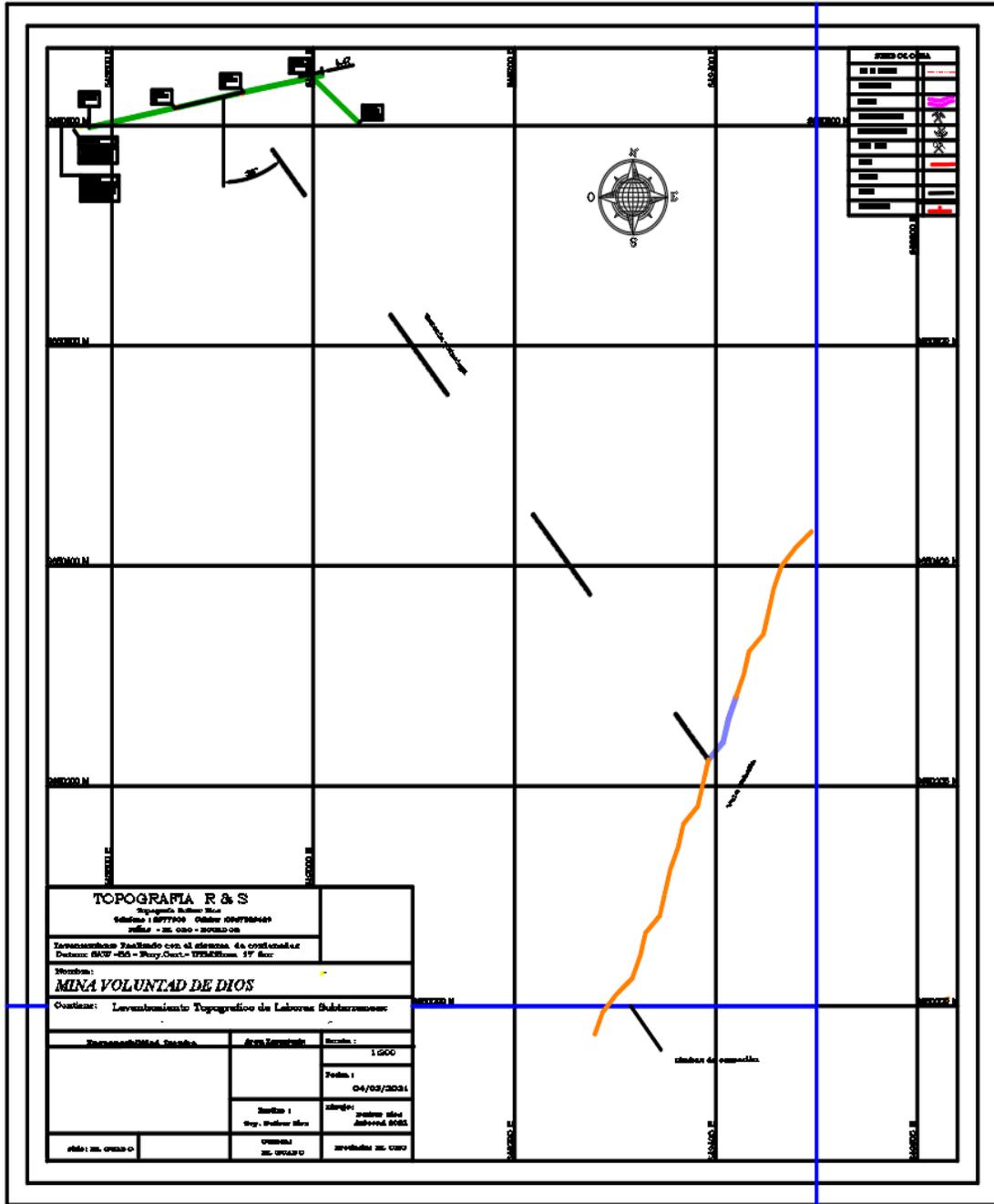


Figura 3.1. Levantamiento planimétrico de la mina

Fuente: Elaboración propia

3.4. Descripción del diseño del sistema de explotación

La propuesta de diseño de explotación para la “Veta Nohelia”, según la valoración numérica propuesta por el método (Nicholas, 1981), cataloga al sistema de corte y relleno ascendente como un sistema adecuado para la explotación técnica de este yacimiento. Este consiste en arrancar franjas horizontales a lo largo de la cámara de explotación, empezando desde la parte inferior de la cámara para ir avanzando hacia la parte superior por el buzamiento de la veta.

Debido a que la estructura mineralizada es de 0.3m y el ancho mínimo de galería es de 1.8m, aproximadamente, un 83% del frente de explotación es roca estéril. Por lo tanto, se propone dejar parte de la roca estéril como piso para las perforaciones en rebaje, labores de franqueamiento de la veta y relleno de cámaras de explotación. Además, con el fin de que no exista roca estéril sobrante, parte de este será trasladado al buzón para su posterior traslado a superficie. Por su parte, también se dimensionarán cámaras de explotación a lo largo y ancho de la estructura mineralizada con el fin de planificar y ubicar estratégicamente las diferentes galerías de producción.

Para su explotación se debe realizar labores de preparación que consisten en diseñar una galería principal o de transporte con rieles que llevarán una pendiente positiva de 1% y 2%. Su principal función es el traslado de personal y transporte de mineral hacia la superficie donde serán descargadas en tolvas para su posterior tratamiento.

A partir de la galería principal y de transporte se prepararán chimeneas de doble compartimiento desde el nivel inferior hacia los niveles superiores. Su uso se planifica como vías de traslado de personal y de producción donde el mineral es descargado por una tolva hacia el nivel inferior donde se encuentra el buzón de descarga hacia vagones para luego ser transportado por locomotora.

Mediante la chimenea se planifica la construcción de franjas de explotación, avanzando por el rumbo de la veta hacia los niveles superiores. Cada 2 metros se deja pilares de sostenimiento de mineral y roca estéril en medio de cada franja con el fin de mantener la estabilidad de las cámaras de explotación.

3.5. Etapas y labores de desarrollo del diseño del sistema de explotación

3.5.1. Dimensiones de las cámaras de explotación

Debido a que se trata de la explotación de una veta angosta, es posible tener cámaras de explotación estables de mayores dimensiones, con las siguientes magnitudes:

Tabla 3.7. Dimensiones de las cámaras de explotación

Longitud	110
Altura	100
Potencia de la veta	0.3m
Inclinación	75°

Fuente: Elaboración propia

La geometría de las cámaras de explotación se delimita mediante las galerías y chimeneas. A lo largo de la veta y profundidad se construirán 5 cámaras de explotación hacia la parte superior del yacimiento y 4 cámaras de explotación a lo largo de la veta. La mina en estudio contará con 20 cámaras de explotación, tomando en cuenta que cada 100 m se realizarán niveles que tendrán su denominación en letras. La razón técnica para la determinación de las dimensiones de las cámaras de explotación obedece a los siguientes aspectos:

- Mejor control de la producción de mineral.
- Optimización de las galerías de producción.
- Aumento del volumen de mineral a extraer.

En la figura 3.2 se pueden observar el diseño de las cámaras de explotación

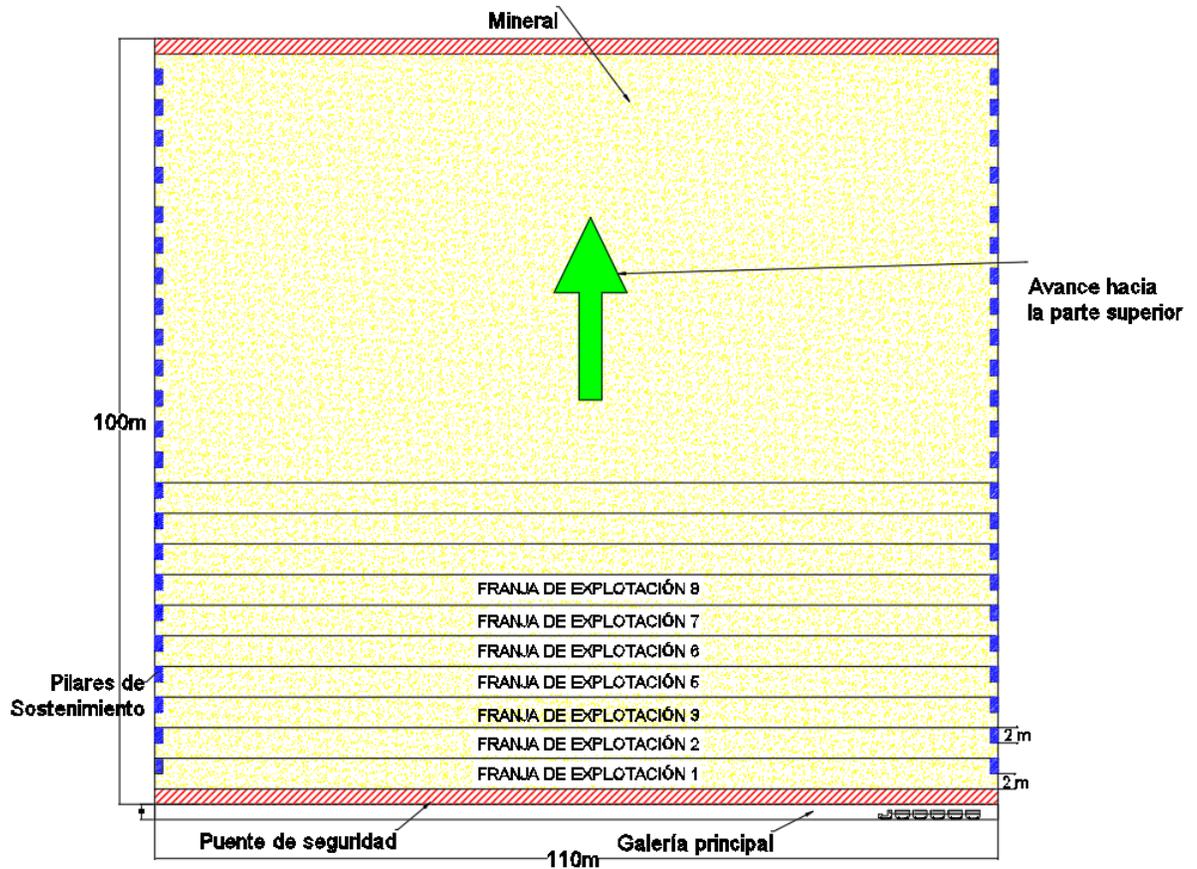


Figura 3.2. Diseño y dimensiones de las cámaras de explotación

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Franqueo de la galería principal

La construcción de la galería de principal y de transporte se realiza en la parte inferior de la cámara proyectada, con una pendiente apropiada para el equipo de transporte. Además, se realiza espacios adicionales para cuneta de drenaje, líneas de aire y energía y ducto de ventilación de la galería. También se realiza con espacio suficiente para el ingreso de los trabajadores, equipos de carga y transporte, como se muestra en la figura 3.3.

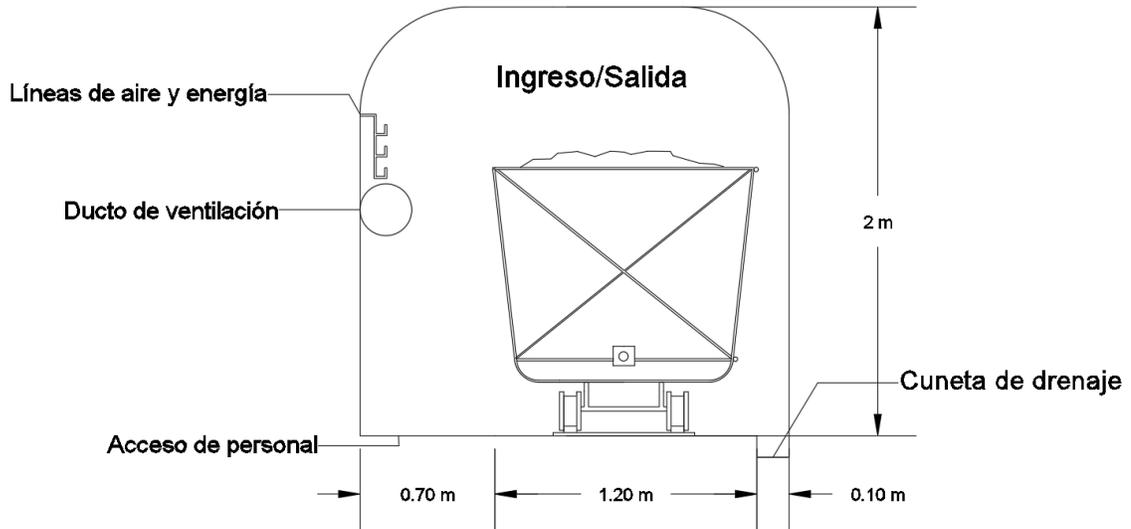


Figura 3.3. Diseño de galería principal y de transporte

Fuente: Elaboración propia

La pendiente que se define para la galería principal con rieles, es de 1% a 2% para equipos neumáticos, con el fin de optimizar el uso de la galería. Por lo tanto, para este caso de estudio, se realiza el cálculo de pendiente que debe de tener el nivel de transporte en una determinada distancia.

$$Pendiente \% = \left(\frac{Diferencia\ de\ Altura}{Distancia\ horizontal} \right) * 100 \quad (4)$$

- Pendiente desde el corte de la estructura mineraliza con orientación NE

$$Diferencia\ de\ altura = \frac{2\% * 209.23m}{100\%}$$

$$Diferencia\ de\ altura = 4.18m$$

- Pendiente desde el corte de la estructura mineraliza con orientación SO

$$Diferencia\ de\ altura = \frac{2\% * 260M}{100\%}$$

$$Diferencia\ de\ altura = 5.2m$$

Tabla 3.8. Cálculo de pendiente para la galería principal

NIVEL PRINCIAPAL A		COTA INICIAL	COTA FINAL	PENDIENTE
NE		1171.227 m	1175.4116 m	2%
SO		1171.227 m	1176.427 m	2%

Fuente: Elaboración propia

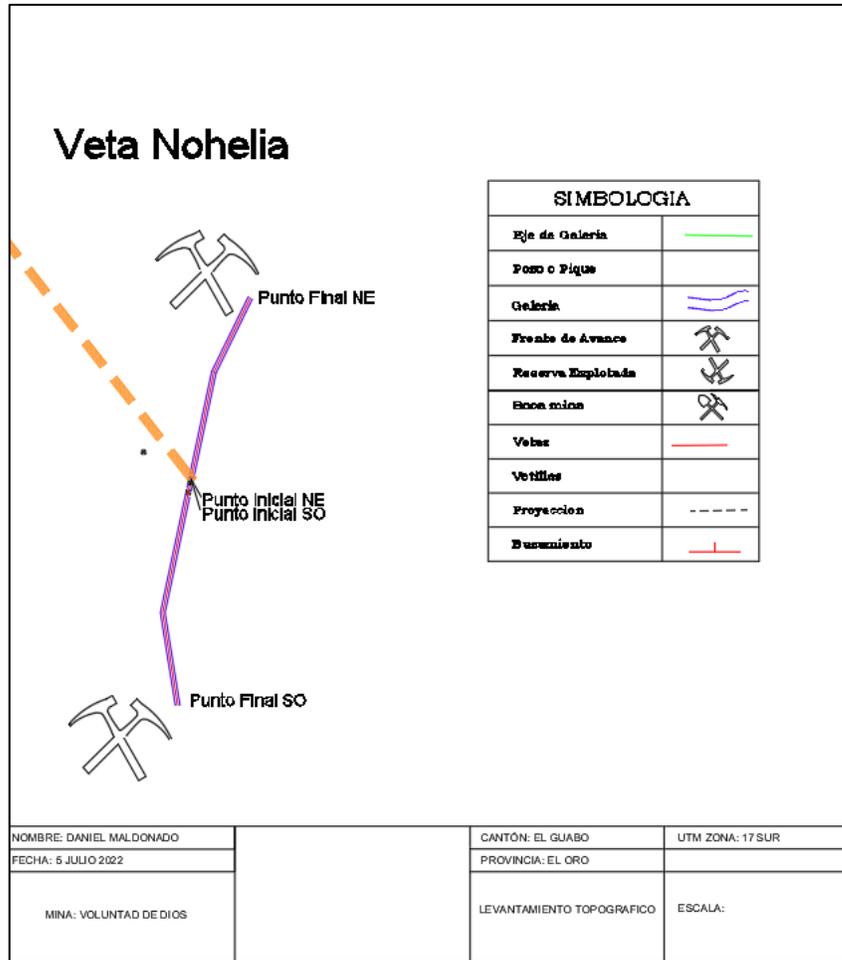


Figura 3.4. Pendientes en galería principal

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Franqueo de chimeneas

En este tipo de galería su principal función es conectar la galería principal y de transporte con las franjas de explotación que abarcan toda la extensión de la estructura mineral hasta los límites planteados de cada cámara. Mediante la chimenea se descarga el mineral de las distintas franjas de explotación. Además, sirve como una galería de transporte de personal y operaciones auxiliares.

Su construcción se plantea a partir de la galería principal, con una sección que va a estar dividida en dos compartimientos; uno para la descarga de mineral de las distintas franjas de explotación y el segundo para el acceso del personal con colocación de escaleras y ventanillas hacia las franjas y para distribución de los servicios de aire, agua, drenaje y energía, las cuales tendrán las siguientes características.

Tabla 3.9. Dimensionamiento de chimenea

CARACTERÍSTICAS DE LA CHIMENEA			
Compartimiento 1	Ancho	2	<i>m</i>
	Largo	2	<i>m</i>
	Profundidad	100	<i>m</i>
	Área	4	<i>m</i> ²
Compartimiento 2	Ancho	2	<i>m</i>
	Largo	2	<i>m</i>
	Profundidad	100	<i>m</i>
	Área	4	<i>m</i> ²
Pilar	Ancho	2	<i>m</i>
	Largo	3	<i>m</i>
	Profundidad	100	<i>m</i>
	Área	6	<i>m</i> ²
Inclinación	75 grados		

Fuente: Elaboración propia

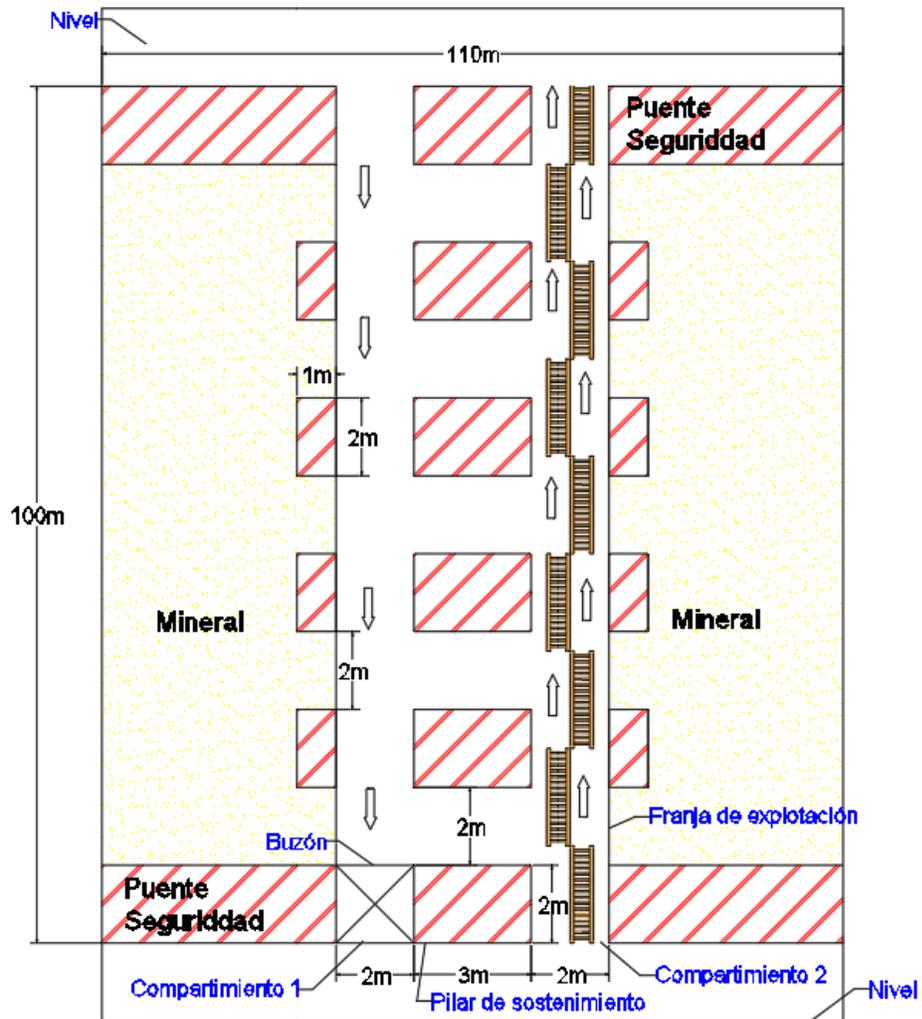


Figura 3.5. Diseño de chimenea y dimensionamiento

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Construcción de buzones

Se construye sobre la caja piso de la veta en el parte inferior de la chimenea. Al ser utilizado para la descarga y control de mineral hacia los vagones de transporte, se construye de material de hierro, como se muestra en las siguientes figuras 3.6 y 3.7.

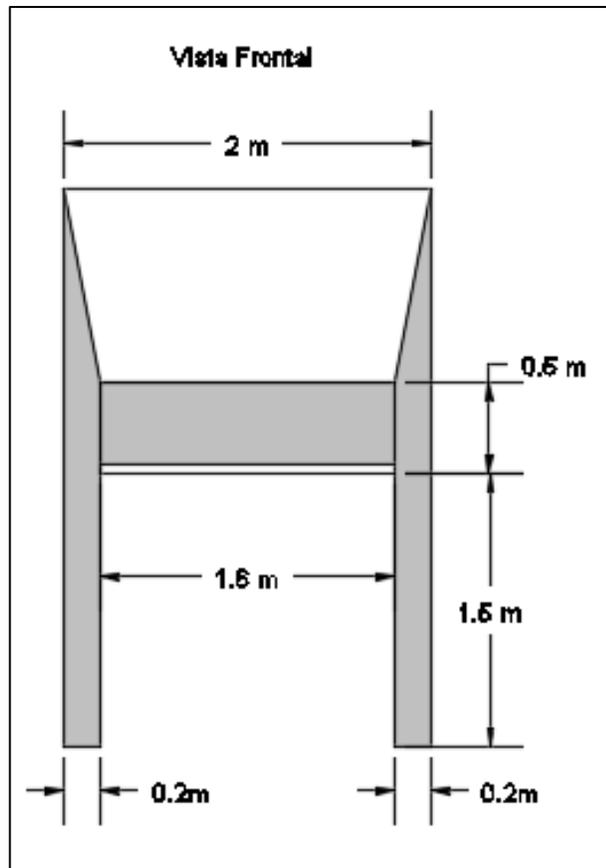


Figura 3.6. Diseño de buzones (Vista frontal)

Fuente: Elaboración propia

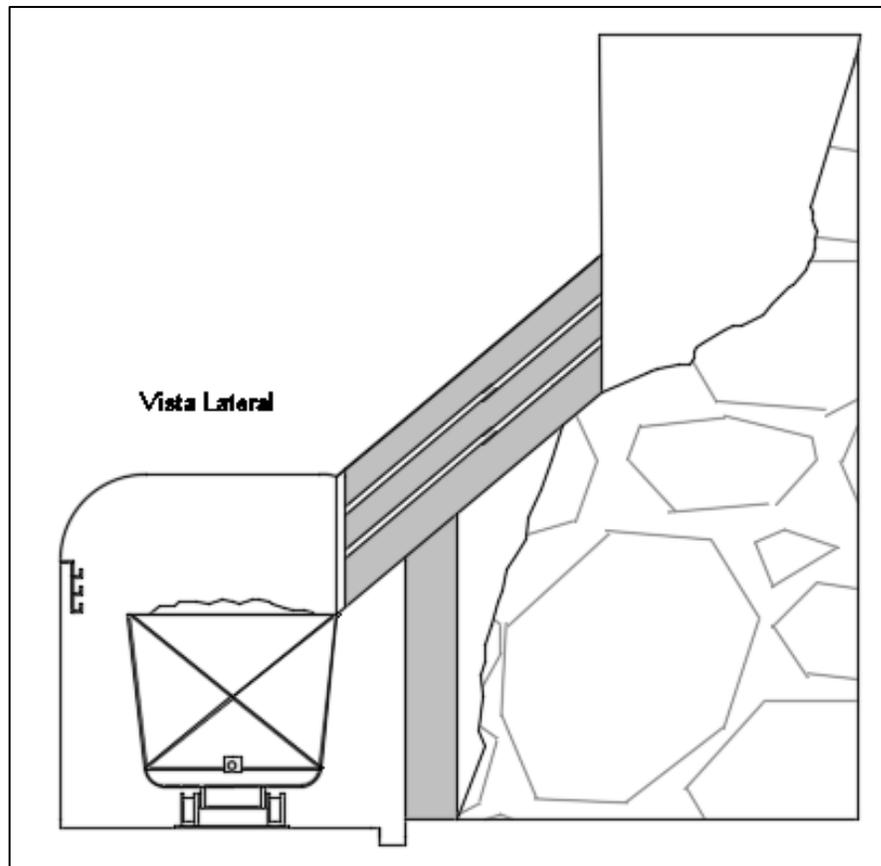


Figura 3.7. Diseño de buzones (Vista Lateral)

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Diseño de franjas de explotación

Esta galería se desarrollará sobre el rumbo y buzamiento de la veta con dimensiones de 1.8 m de ancho y 2 m de altura a partir del nivel principal, en forma ascendente empezando en la parte superior del puente de seguridad dejado en la base de la cámara de explotación dando como inicio el área de explotación. Una vez extraído el mineral de dicha galería, se rellena inmediatamente con roca estéril que sale de la voladura del sobre minado del frente de explotación. Posteriormente, se avanza a la siguiente franja de explotación, dejando un pilar de dimensiones de 2 ancho y 2 de altura al inicio de cada ventanilla de la franja, como se muestra en la figura 3.8.

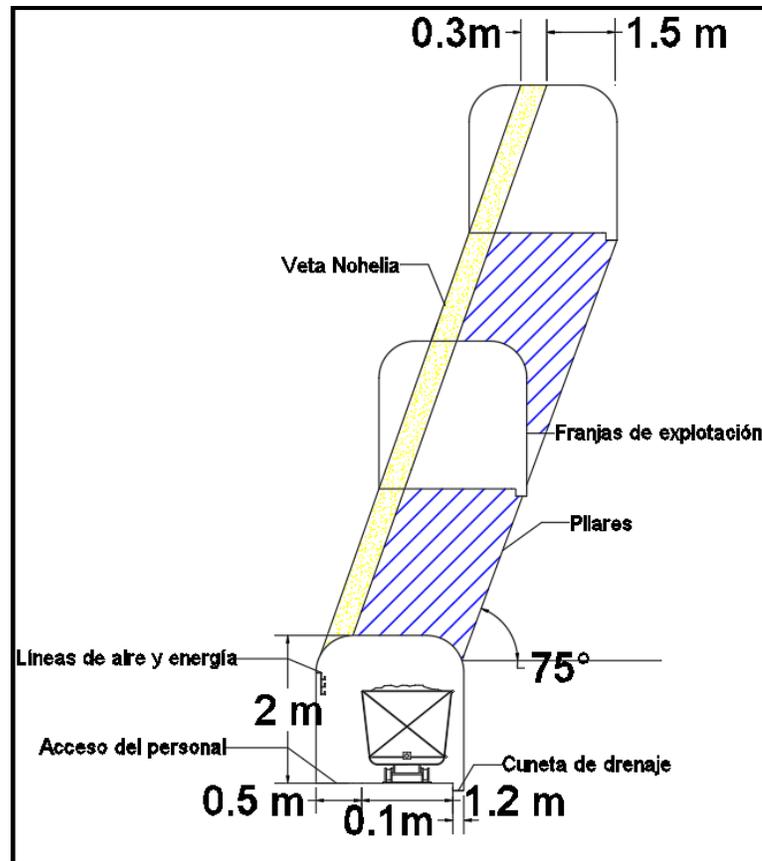


Figura 3.8 Diseño de subniveles y dimensionamiento

Fuente: Elaboración propia

La galería principal o de transporte estará protegida con un puente de roca estéril, que separa la galería de transporte con la cámara de explotación. La altura del puente será de 2 m . debido a que las propiedades geomecánicas son buenas como se muestra en la figura 3.9.

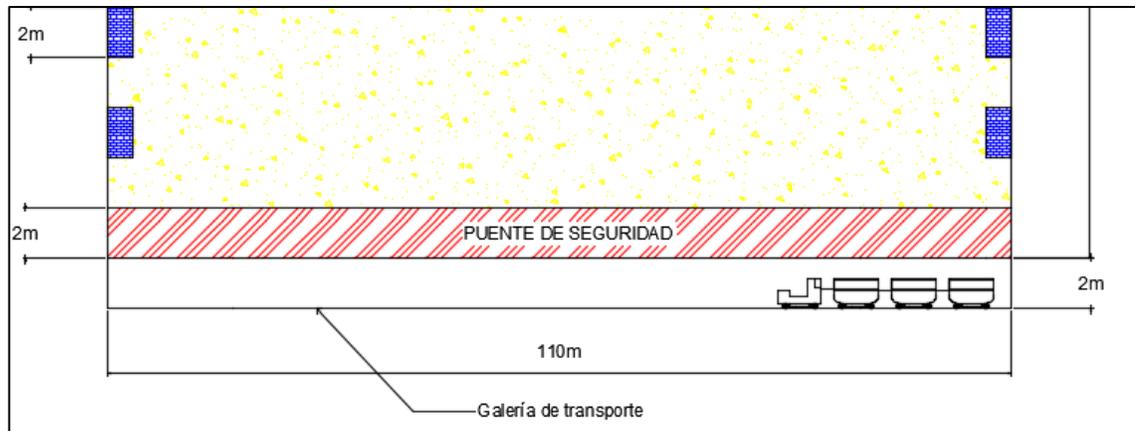


Figura 3.9. Puente de seguridad

Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Modelado 3D

Las galerías y labores se desarrollan a lo largo de la “Veta Nohelia”, serán diseñadas en 3D con el fin de obtener mejor representación gráfico del modelamiento del diseño de explotación.

3.5.6.1. Proyecto minero

Se describen las instalaciones que se planifican para el campamento minero, como se muestra en la figura 3.10.

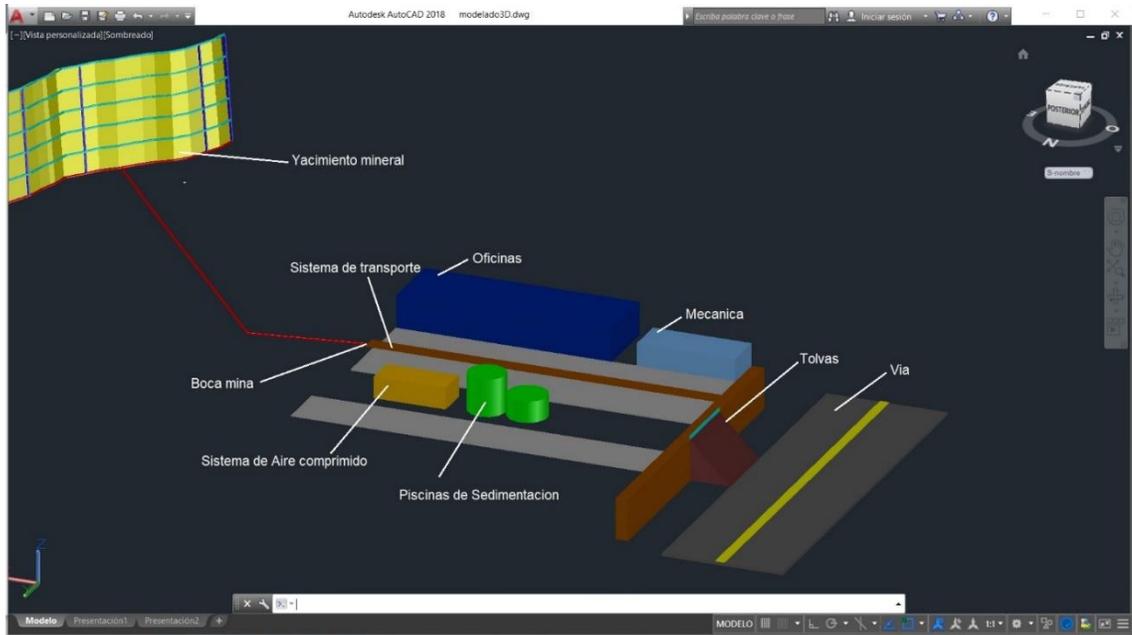


Figura 3.10. Proyecto minero

Fuente: Elaboración propia

3.5.6.2. Acceso de la mina

El acceso de la mina, al momento de realizar la evaluación técnica, ya estaba con dirección definida. Esto se realiza para poder conectar la superficie con el yacimiento mineral, como se puede apreciar en la figura 3.11.

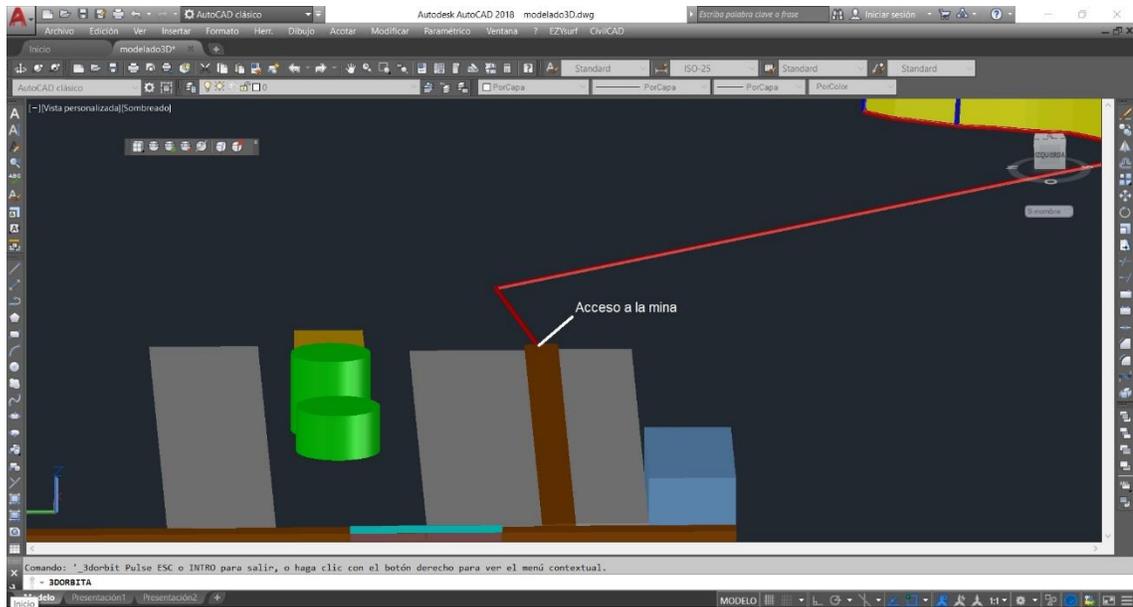


Figura 3.11. Acceso de la mina

Fuente: Elaboración propia

3.5.6.3. Galería principal

La galería principal que sigue por el rumbo del yacimiento, se ha diseñado con base en los distintos parámetros técnicos ya descritos en el trabajo, según se presenta en la figura 3.12.

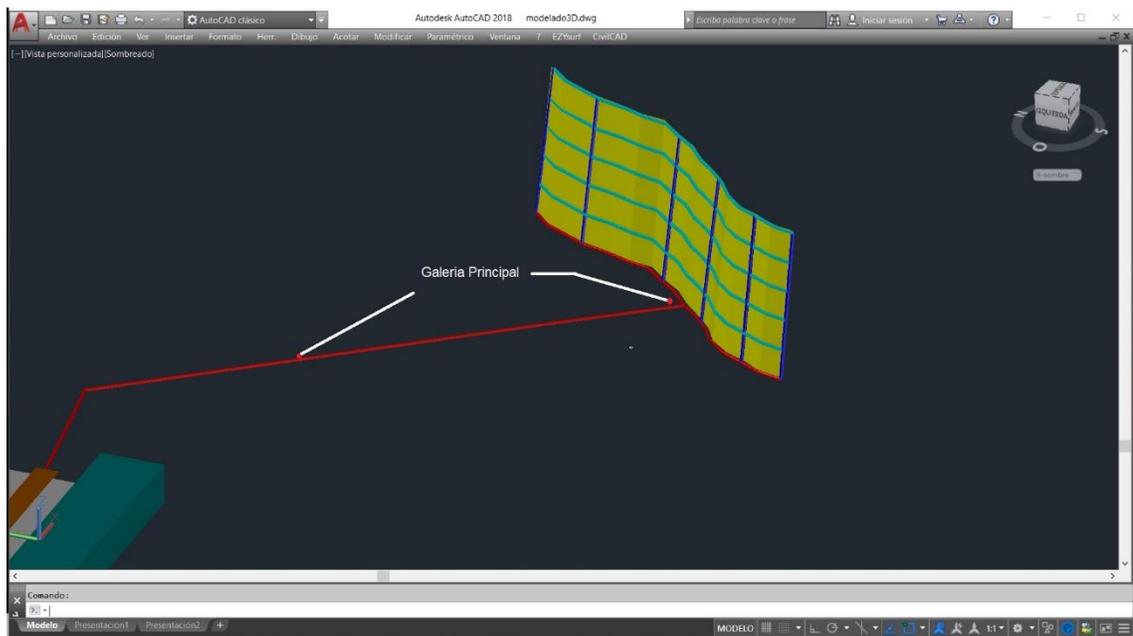


Figura 3.12. Acceso de la mina

Fuente: Elaboración propia

3.5.6.4. Chimenea

Se diseñaron 4 chimeneas estratégicamente para optimizar el ritmo de explotación. Estas pueden ser visualizadas a continuación, en la figura 3.13.

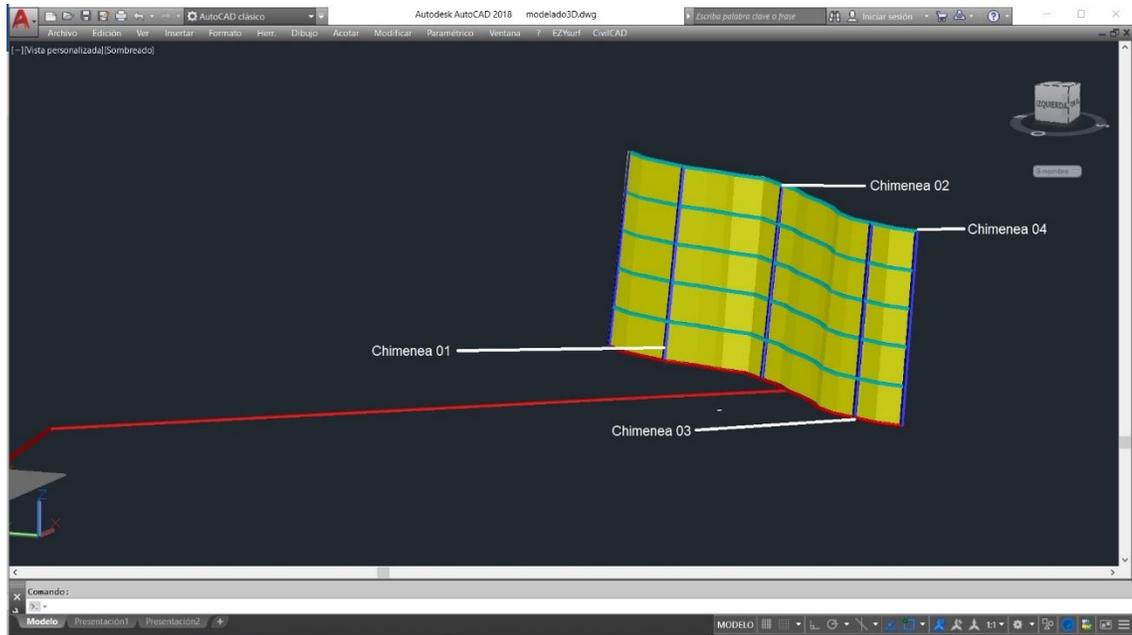


Figura 3.13. Chimenea

Fuente: Elaboración propia

3.5.6.5. Niveles

Los niveles se han denominado en letras. Estos cumplen el objetivo fundamental de dar ventilación y una explotación técnica, tal y como se puede observar en la figura 3.14.

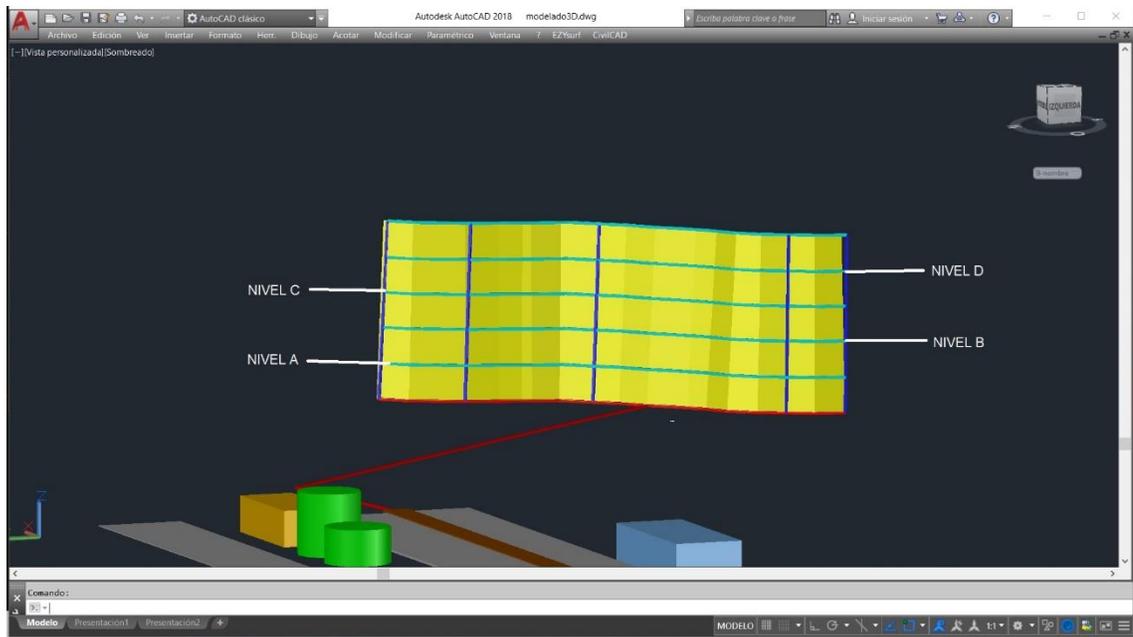


Figura 3.14. Niveles

Fuente: Elaboración propia

3.5.7. Ciclo de minado

El ciclo de minado está realizado en 3 etapas que se describen a continuación.

3.5.7.1. Perforación

El avance de la explotación se realiza por secciones horizontales, también en sentido semi vertical con dirección a la inclinación de la veta. Mediante el equipo manual YZ27, se ejecutarán las perforaciones con barrenos de longitud de 1.80 m y con brocas de diámetro de 36 y 38 mm.

La cantidad de taladros perforados va a depender de la calidad de la roca. Para este caso, se atraviesa en una roca competente, lo que deriva en la realización estándar de perforación para barrenación horizontal.

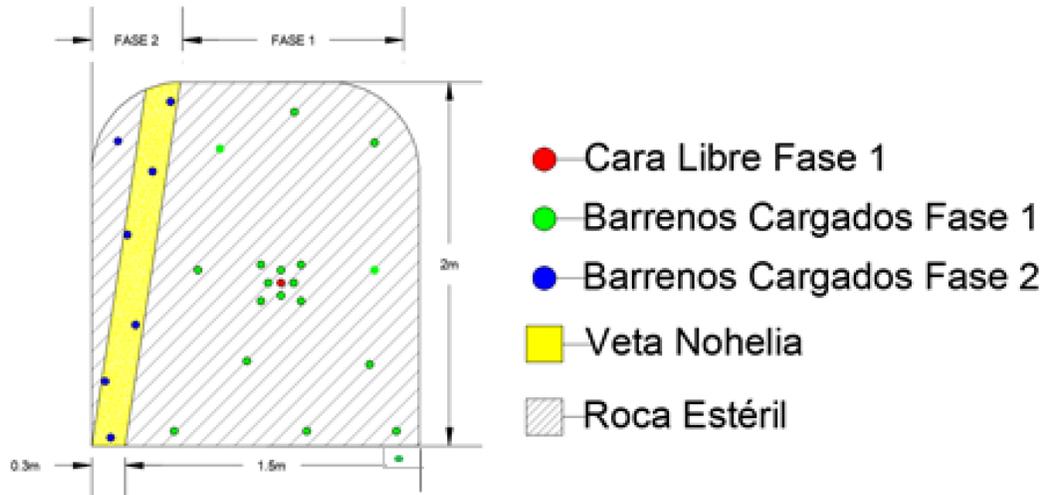


Figura 3.15. Malla de perforación

Fuente: Elaboración propia

3.5.7.2. Voladura

Es una operación unitaria muy importante. Durante la explotación existen diversos parámetros que se deben tener en cuenta. Uno de ellos es el tamaño de la granulometría, que se optimiza para el acarreo y transporte de mineral y para que no exista una sobre excavación de la galería.

Concluida la perforación de los barrenos, el perforista, con el ayudante, procederán a la limpieza de los detritos restantes. Posteriormente se realizará la carga de forma manual, donde la distribución de carga dependerá de la cantidad de barrenos perforados.

Como recomendación se tiene los siguientes explosivos y accesorios:

Explosivos

- Emulnor 3000 se utiliza para voladura de rocas intermedias a duras. Con una modalidad de aplicación similar a las dinamitas convencionales, puede trabajar como columna explosiva. Debido a la buena calidad de los gases residuales y al no contener nitroglicerina en su composición, permite que el personal reingrese a la labor en menor tiempo (Tecnovoladuras, 2020).

- El fulminante es un accesorio de voladura constituido por una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en uno de sus extremos, en cuyo interior lleva un explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro secundario de alto poder explosivo (Tecnovoladuras, 2020).
- El ANFO normal es una mezcla basada en nitrato de amonio y un hidrocarburo que, en proporciones adecuadas, da como resultado un agente de voladura que es utilizado como carga de columna (Explocen, 2019).

Accesorios

- La Mecha lenta es un accesorio de voladura y un componente del sistema tradicional de iniciación. Se caracteriza por ser flexible y posee un núcleo central de pólvora, el cual transmite el fuego hasta el fulminante, a una velocidad uniforme. Está recubierta por varias capas de diferentes materiales que garantizan la continuidad de la combustión y compactación (Tecnovoladuras, 2020).

3.5.7.3. Acarreo y transporte de mineral

Una vez relleno la galería con roca estéril hasta una altura óptima, para que los perforistas alcancen el techo, se inicia con la implementación de planchas de acero provisionales con el objetivo de que el mineral caiga sobre esta plataforma y así evitar la dilución de mineral. Posteriormente, se realiza la carga de mineral, mediante una pala cargadora a los vagones para ser trasladado al buzón de carga.



Figura 3.16. Franjas de producción

Fuente: Elaboración propia

3.5.8. Operaciones unitarias

3.5.8.1. Ventilación

Tener un ambiente laboral agradable es muy importante para llevar a cabo trabajos en este tipo de minera, con el fin de satisfacer las necesidades del personal y evacuar los gases, humos y polvo suspendido, que pudieran afectar en la salud de los trabajadores. En virtud de esto, la propuesta de diseño de explotación considera la ejecución de chimeneas cada 100 metros con la finalidad de obtener un flujo adecuado de aire natural, además se pretende implementar una ventilación auxiliar, instalando circuitos de ventilación forzado, que consiste en la extracción del aire viciado y posteriormente inyección de aire fresco a las franjas de explotación al inicio de cada chimenea. El caudal de aire que circule por la mina dependerá del número de trabajadores, dimensiones de las labores, entre otros.

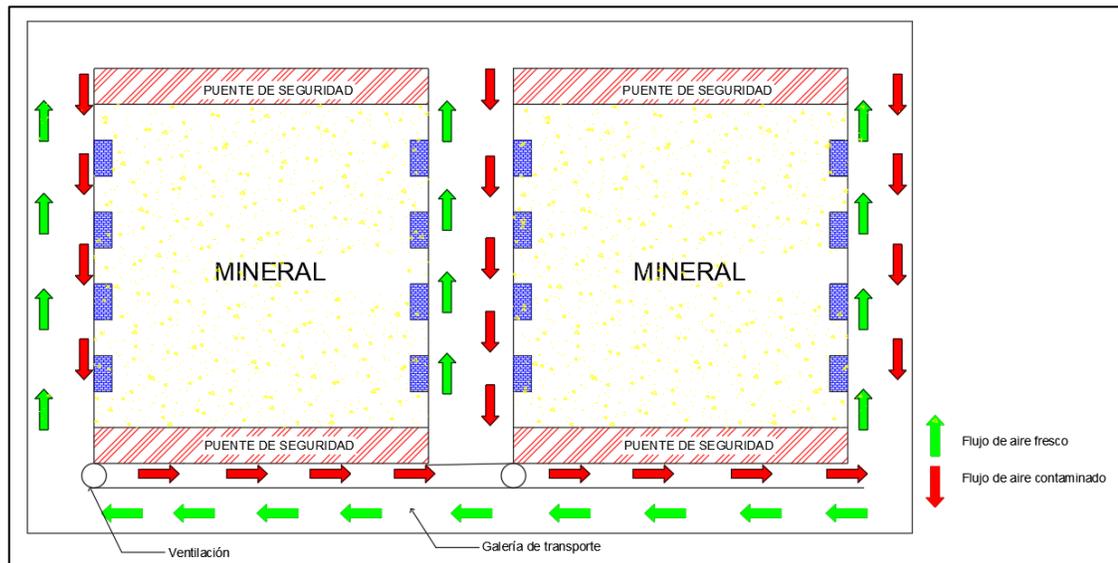


Figura 3.17. Sistema de ventilación

Fuente: Elaboración propia

3.5.8.2. Desatado de rocas y sostenimiento

El sostenimiento se debe realizar por medio de una evaluación del macizo rocoso luego de la voladura. Como primera parte, se debe lavar con agua las paredes para poder evaluar e identificar el espaciamiento en las fracturas. Segundo, se realiza con un barreno, golpes a la roca para identificar un sonido hueco en las mismas y, en caso de que así sea, se

realizaría el desquince de la roca suelta. Debido al análisis geomecánico realizado según la clasificación de Bieniawski (1989), se recomienda realizar un soporte de pernos locales en el techo de 3m de largo con un espaciamiento de 2.5m con malla ocasional.

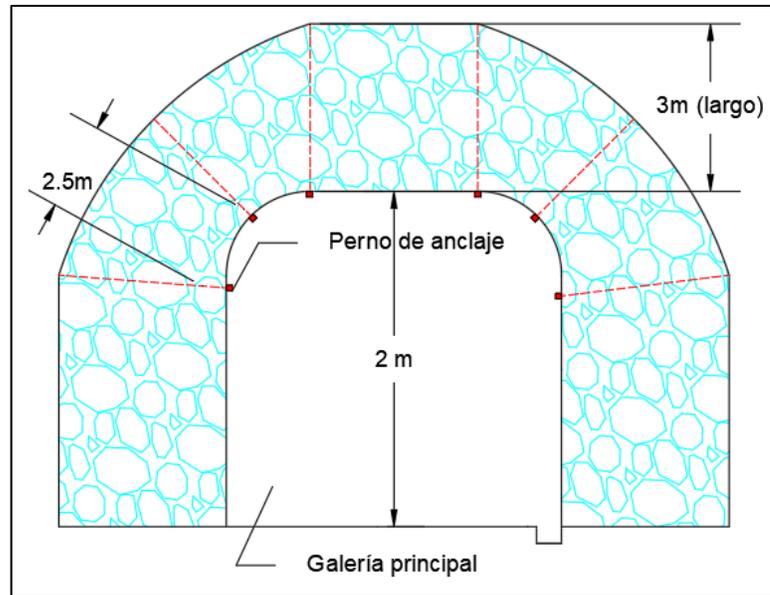


Figura 3.18. Sistema de fortificación

Fuente: Elaboración propia

4.1. Maquinaria y equipos mineros

El desarrollo del presente proyecto ha sido contemplado con base en las necesidades que requiere la empresa, por lo que se sugiere realizar una evaluación completa sobre la recomendación de los equipos y maquinaria minera. Hay que tomar en cuenta que los costos en las operaciones de carguío y transporte representan una suma considerable en los costos de producción del mineral (De Noronha, et al., 2018).

Para definir el tipo de maquinaria y equipos se deben evaluar distintas variables como:

- Capacidad real de los equipos
- Dimensiones de galerías
- Condiciones de altitud
- Infraestructura y labores mineras

A continuación, se detallan los equipos que se recomiendan adquirir para el funcionamiento del proyecto.

4.1.1. Equipos de perforación

La perforadora YT27 es un equipo muy utilizado en la pequeña minera por su alto rendimiento, bajo costo y fácil maniobrabilidad. Esto la convierte en una muy buena opción para las aplicaciones de perforación en este proyecto. Este equipo se lo puede utilizar para el desarrollo de galerías principales, chimeneas y franjas de producción.



Figura 4.1. Perforadora manual

Fuente: (Podrill, s.f)

modelo	YT27
Peso	27kg
Diámetro del cilindro	φ80
Golpe del pistón	60 mm
Presión laboral	0,4~0.63 (Mpa)
Energía de impacto	75,5J
Frecuencia de impacto	≥36,7 Hz
Consumo de aire	80L/s
Presión de agua de trabajo	0,3 MPa
Diámetro interior del tubo de aire	φ25 mm
Profundidad del agujero de perforación de roca	5m
Tamaño de la caña	H22×108±1mm
Diámetro interior de la tubería de agua	φ13 mm
Diámetro del agujero de perforación de roca	φ34~φ45mm

Figura 4.2. Especificaciones de la perforadora YT2

Fuente: (Podrill, s.f)

4.1.2. Maquinaria de transporte de mineral

Para utilizar la locomotora WR9 se tomaron en cuenta las dimensiones de la galería principal como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Dimensiones de galería

Ancho	2m
Altura	2m
Pendiente	2%

Fuente: Elaboración propia

La locomotora es uno de los mejores equipos de transporte para pequeña minería debido a que la fuente de energía, para su funcionamiento, es la electricidad evitando así las emisiones que provocan otros equipos. Además, para su óptimo funcionamiento, transita sobre una base de rieles con una pendiente no mayor a 2%. Por lo tanto, este equipo cumple con los estándares y especificaciones de carga y dimensiones requeridos por la mina.



Figura 4.3. Locomotora

Fuente: (Serminsa, 2021a)

Peso (TM)	2.5
Trocha (mm)	500
Potencia de Motor (HP)	9
Voltaje (VDC)	72
Control	Electromecánico de levas y contactos, Modelo: SPC-490
Freno	Con sistema hidráulico tanto en frenos de servicio y parqueo
Capacidad de Arrastre (TM)	16
Bancos de batería	36 celdas (72VDC) de 325Ah
Cargador	Automático de 72VDC 70Amp desde un suministro de 440V/60Hz trifásico

Figura 4.4. Especificaciones de la locomotora

Fuente: (Serminsa, 2021a)

Además, se implementarán vagones, específicamente como parte del transporte de mineral y roca estéril hacia la superficie.



Figura 4.5. Vagones

Fuente: (Serminsa, 2021b)

Dimensiones Principales (mm)								
Modelo	Capacidad(p3)	Alt/s Riel	Dist. Ejes	Trocha (mm)	Long. Total	Ancho Total	Dia. Rueda	Peso Total/ Kg.
U-21	21	1150	620	500/600	1610	680	12 pulg.	450Kg
U-35	35	1250	620	500/600	1920	810	12 pulg.	620Kg
V40	40	1313	620	500/600	2155	1045	14 pulg.	1220Kg

Figura 4.6. Dimensiones principales

Fuente: (Serminsa, 2021b)

4.1.3. Maquinaria de carga de mineral

La pala cargadora es un equipo que se utiliza en minería a pequeña escala. Se lo utiliza para cargar el mineral hacia los vagones de mina. En este caso de estudio, será utilizado en los subniveles de explotación.



Figura 4.7 Maquinaria de carga mineral

Fuente: (Kamach, s.f)

Parámetros técnicos de las Palas mineras neumáticas Z-30

Especificación	Unidad	Z-30
Capacidad de la cubeta	m ³	0.3
Productividad	m ³ /h	72
Ancho de carga	mm	2200-2500 (Ajustable)
Altura de descarga	mm	1300
Distancia de descarga	mm	350
Altura máxima de trabajo	mm	2250
Longitud	mm	2184
Ancho	mm	1200
Altura	mm	1443
Tipo de motor eléctrico		J12-8
Potencia de motor eléctrico	KW	13×2
Operación en masa	Ton	4.3

Figura 4.8. Parámetros técnicos de las palas mineras neumáticas Z-30**Fuente:** (Kamach, s.f)

Conclusiones

- Para el presente proyecto se realizó levantamiento topográfico y se determinó que se trata de un cuerpo mineralizado proveniente de una brecha magmática hidrotermal; a partir de esta información, se obtuvo una idea clara del tipo de roca y aspectos geológicos.
- A partir de los trabajos realizados en campo se determinó: leyes del mineral, geometría del yacimiento y aspectos geológicos importantes para el desarrollo del trabajo.
- Para el análisis del tipo de roca, se utilizó la clasificación geomecánica de Bieniawski 1989, determinando que la roca presente es de tipo II, que la describe como roca buena con una valorización de 61 puntos; por lo que definió un sostenimiento de pernos de anclaje en el techo de 3m de largo, con un espaciamiento de 2.5m con malla ocasional.
- De acuerdo a los resultados del análisis geomecánico del macizo rocoso se determinó, mediante el método numérico Nicholas (1981), que el método de explotación ascendente es el que más se acopla al yacimiento mineral.
- Mediante la selección del sistema de explotación, se procedió a realizar el diseño y las labores de preparación para su posterior explotación, donde realizaron galerías principales, galerías de producción y todas estas se las ejecutaron dentro del cuerpo mineralizado.
- Se realizó un modelamiento en 3 dimensiones con el objetivo de tener una mejor representación gráfica de la propuesta de diseño de explotación.
- La propuesta implica el franqueo de franjas de explotación a lo largo de las cámaras de explotación, donde se podrán realizar varias perforaciones al mismo tiempo, teniendo un rendimiento de explotación óptimo y seguro.
- Las operaciones unitarias como carguío y transporte se instalaron en las galerías, estratégicamente, con dimensiones adecuadas para tener una producción semi mecanizada.

Recomendaciones

- Durante la construcción de las galerías se recomienda cumplir con todas las normas de seguridad establecidas en la legislación vigente con el fin de evitar accidentes laborales.
- Antes del ingreso a realizar las labores mineras, se sugiere verificar la ventilación de los gases generados por la voladura, debido a que estos pueden causar enfermedades respiratorias.
- Es importante llevar un registro geotécnico de avance debido a que las condiciones estructurales de la roca pueden cambiar.
- Es importante estar en constante revisión de las diferentes galerías y si se encuentra una anomalía proceder a dar mantenimiento.
- Se recomienda una evaluación económica para tener una idea clara de cuánto es el valor a extraer en una tonelada de mineral, debido de que la potencia de la veta Nohelia es muy estrecha.

- Alcaldía El Guabo. (2020). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial y diagnóstico base de uso y gestión del suelo del cantón El Guabo 2020-2030. <https://n9.cl/kzpqc>.
- Aparicio, R. (2019). Método de corte y relleno ascendente. Scribd. <https://www.scribd.com/presentation/415648314/Metodo-de-Corte-y-Relleno-Ascendente>
- Autodesk. (2020). ¿Qué es el AutoCAD civil 3D? <https://n9.cl/x0uoj>
- Barrios, E. (2019). *Aplicación de la geomecánica en la minería subterránea*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://n9.cl/xcd65>
- Barrios, J., Carbajal, E., Quispe, E. (2016). Operaciones unitarias a mina subterránea. Revista Scribd. <https://n9.cl/oi2jv>
- Bejar, H. (2012). *Estudio del método de almacenamiento provisional en la mina Arequipa M*. [Tesis de Ingeniería, Universidad de San Cristóbal de Huamanga]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2828604>
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Blanco, D., y Cepeda, D. (2015). *Análisis y evaluación comparativa del método chino "Basic Quality" BQ y los métodos "RMR" y "Q" para clasificación de macizos rocosos*. [Tesis de Maestría, Universidad de Santander]. <https://n9.cl/8j022d>
- Blanco, R., Watson, R., y Feliú, M. (2018). Criterios para la proyección de las cámaras y pilares de mina Merceditas. *Minería y Geología*, 16(3), 53-58.
- Cadillo, A. (14 de abril de 2017). Corte y relleno descendente. Slideshare. <https://n9.cl/ugv2v>

- Calderón, G., y Zaquinaula, W. (2021). *Aplicación del software AutoCad Civil 3D en el seguimiento de volúmenes para el control de avance en la unidad Minera Pallasca*. [Tesis de Ingeniería, Universidad César Vallejo]. <https://n9.cl/fqp6l>
- Cañapataña, A. (2019). *Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona esperanza del nivel 23 mediante un análisis geomecánico en la Unidad Minera Americana de Cía. Minera Casapalca*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://n9.cl/qs5c3>
- Castillo, M. (2014). Declaración de impacto ambiental. Gestión integral de desechos sólidos de la mancomunidad del Guabo y Camilo Ponce Enríquez. Asociación de municipalidades del Ecuador. <https://n9.cl/erow8>.
- Conde, G. (2011). *Diseño de caminos mineros con el software Autocad Civil 3D* [Tesis de Doctorado, Instituto Superior Minero- Metalúrgico de Moa]. <https://n9.cl/2gcmjn>.
- Córdoba, C; y Molina, J. (2011). Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (29), 73-86. <https://n9.cl/z08eq>
- Dávila, L. (2017). *Diseño de explotación del mineral existente en el bloque “cascada”, del área minera “El Corazón”, ubicada en la parroquia Garcia Moreno, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura* [Tesis de Licenciatura, Universidad Central del Ecuador]. <https://n9.cl/cvi3du>
- De Noronha, O., Cano, A., Dos Reis, A., y Arroyo, C. (2018). Dimensionamiento de flota en las operaciones de carguío y transporte usando modelos de simulación de sistemas. *Interfases*, (11), 43-55. <https://n9.cl/m1z81>
- Esarte, A. (s.f). ¿Qué es el civil 3D? <https://www.espaciobim.com/civil-3d>
- Escalante, H. (2017). *Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la empresa “Macdesa” - Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6129>
- Explocen. (2019). ANFOS. <https://www.explocen.com.ec/producto/anfos/>

- Fanton, G., Martínez, P., y Giménez, M. (2014). Procesamiento y análisis cualitativo de datos aeromagnéticos con vistas a la exploración de yacimientos hidrotermales tipo lode gold-provincia de La Rioja, Argentina. *Geoacta*, 39(1), 30-50. <https://n9.cl/4axrt>.
- Feijoo P., y Román M. (2019). Correlación entre la deformación y la resistencia a la compresión en rocas. *Universidad Ciencia Y Tecnología*, 23 (91), 6. <https://n9.cl/71frb>
- Feijoo, E. (1997). *Manual de Mecánica de Rocas y Estabilidad de Taludes y Túneles*. Cuenca, Universidad del Azuay.
- Freepick. (s.f.). Maquinaria para minería subterránea. [Fotografía]. Freepick. <https://n9.cl/cki47>
- Ferreyros. (26 de abril de 2022). Los tractores de ruedas elevan la eficiencia de la flota de producción en mina. <https://www.ferreyros.com.pe/noticia/los-tractores-de-ruedas-elevan-la-eficiencia-de-la-flota-de-produccion-en-mina/>
- Gobierno de España. (2015). Guía sobre control geotécnico en minería subterránea. <https://n9.cl/1bs5f>
- Gobierno Parroquial de Río Bonito. (2014). El Guabo-provincia de El Oro. <https://n9.cl/au9s>
- Grigaliunas, M. (2016). *Diseño óptimo de minería subterránea auto-soportada*. [Tesis de Maestría, Universidad de Chile]. <https://n9.cl/bxfva>.
- González, A. (2018). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso, para su aplicación en geotécnica, en el sector Lucarqui, Loja-Ecuador* [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://n9.cl/83zql>
- Herrera, J. (2019). *Introducción a la Minería Subterránea*. Vol. I: Características generales. <https://n9.cl/jhpxw>.
- Herrera, J. (2020). *Introducción a la Minería Subterránea*. Vol. IV: Métodos de explotación de interior. <https://n9.cl/jhpxw>

- Huaman, L. (2018). Proyecto de explotación por corte y relleno ascendente-Unidad Minera Paraíso Azuay-Ecuador. <https://n9.cl/w2utm>
- Jáuregui, O. (2011). *Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura*. [Tesis de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://n9.cl/hrons>
- Kamach. (s.f). Palas mineras neumáticas. Kamach. <https://www.kamach.es/rocker-shovel-loader.html>
- Kamach. (s.f). Palas mineras neumáticas Z-30. [Fotografía]. Kamach. <https://www.kamach.es/electric-rocker-shovel-loader2.html>
- Kerguelen, J., González, V., y Jiménez, J. (2013). Cálculo de parámetros determinantes en la preparación de un circuito de ventilación en minería subterránea de carbón usando programación estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (33), 155-162. <https://n9.cl/u1usm>
- Loy, J., y Mariño, D. (2016). *Estudio de la alteración mineralógica a través del análisis macroscópico y de la Difracción de Rayos X (DRX) de las muestras de las rocas de caja y vetas de Bella Rica-Ponce Enríquez, Provincia del Azuay*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://n9.cl/lv8rm>
- Lozano, J. (2015). *Diseño de explotación por corte y relleno ascendente de la veta Mary en la empresa Produminsa, sector Bella Rica*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://n9.cl/81pbh>
- Martínez, J. (2021). *Técnicas geofísicas aplicadas en la investigación de yacimientos filonianos bajo recubrimiento*. [Tesis de Maestría, Universidad de Jaén]. <https://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/13827>
- Maza, M. (2014). El diseño 3D ofrece una idea global “real” de lo que se desea mostrar, es la forma de ver un objeto, un espacio o una escena teniendo en cuenta sus tres dimensiones: altura, anchura y profundidad. <https://dibujourjc.files.wordpress.com/2015/02/martamateos-maza.pdf>

- Medina, R. (2019). *Aplicación de pronóstico para mejorar la confiabilidad en el área de fabricación de maquinaria minera subterránea en Resemin SA., Lima, 2019* [Tesis de Ingeniería, Universidad César Vallejo] <https://n9.cl/lnl28>
- Mendiola, V. (2012). Criterios de diseño para la toma de decisiones en la evaluación de alternativas de minado en empresas mineras de la Región Central del Perú. *Prospectiva Universitaria* 9(1). 55-63. <https://n9.cl/zxmf4>
- Ministerio de Turismo. (2020). Visita El Guabo en tu próximo viaje y enamórate de sus encantos. <https://n9.cl/xdfmbr>
- Nicholas, D. (1981). "Method Selection—A Numerical Approach, "Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines. New York: SME-AIME.
- Ortiz, O., Fernández, F., y Blas, W. (2003). Sostenimiento activo de excavaciones mineras subterráneas ya cielo abierto mediante el mortero de resina en pernos y tendones de anclaje. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 6(11), 42-50. <https://n9.cl/35xl1>
- Páez, G. (2012). *Génesis del yacimiento de metales preciosos Mina Martha, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <https://n9.cl/vop35>.
- Pérez, M., García, E., Vega, C., Montoya, J., Noriega, P., Alfonso, J., y Cajicá, L. (2018). Estudio comparativo entre sistemas de clasificación geomecánica en un depósito tipo Pórfido. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (43), 34-44. <https://n9.cl/866c2n>
- Podrill. (s.f). Perforadora manual. [Fotografía]. Hecho en in China. https://es.made-in-china.com/co_prodrill/product_Yt29A-Yt27-Yt28-Ysp45-Rock-Drill_egosooyeg.html
- Pflucker, O., Ruiz, M., Linares, J., y Buiza, C. (2019). "Sostenimiento de labores subterráneas": una revisión de la literatura científica. [Tesis de Ingeniería, Universidad Privada del Norte]. <https://n9.cl/3j2l4h>
- Rey, I. (2021). Efecto del espaciado en el cálculo de estabilidad de cuñas en taludes rocosos. *Revista Digital del Cedex*, (199), 27-38. <https://n9.cl/a4kxe>

- Ricse, S. (2013). *Empleo del método de minado por tajeos largos en la recuperación de mineral aurífero en Marsa, Veta Valeria*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://n9.cl/8yj6k>
- Rumbo minero. (5 de abril de 2017). Compresores y ventiladores: equipos esenciales para la minería. <https://www.rumbominero.com/revista/49955/>
- Seguridad minera. (19 de octubre de 2017). Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros. <https://n9.cl/gpsj5>
- Serminsa. (2021a). WR9. [Fotografía]. Serminsa. <https://www.serminsa.com/wr9>
- Serminsa. (2021b). Vagones. [Fotografía]. Serminsa. <https://www.serminsa.com/vagones>
- Sinductor. (s.f). Motoniveladores para trabajos subterráneos. <https://n9.cl/v4ofa>
- Suarez, R. (2019). *Evaluación del método de explotación por subniveles con taladros largos para optimizar la producción en la Compañía Minera Chalhuané SAC*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://n9.cl/a39ni>
- Sulca, R. (2015). *Evaluación técnico económica del minado por sub-niveles con taladros largos en mantos-en la UEA Colquijirca Sociedad Minera El Brocal SAA*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://n9.cl/52eoy>
- Tecnovoladuras. (2020). Emulnor. Emulsión encartuchada. Instituto Superior Tecnológico Minero del Sur. <http://www.tecnovoladuras.com/producto/emulnor-emulsion-encartuchada>
- Tecnovoladuras. (2020). Fulminante común. Detonador. Instituto Superior Tecnológico Minero del Sur. <http://www.tecnovoladuras.com/producto/fulminante-comun-fulmesa>
- Tecnovoladuras. (2020). Mecha de seguridad. Instituto Superior Tecnológico Minero del Sur. <http://www.tecnovoladuras.com/producto/mecha-de-seguridad-mecha-lenta>

- Téllez, I. (2012). *Procedimiento para el diseño geométrico de caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D* [Tesis de Maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”]. <https://n9.cl/3gi2x>
- Tiempo Minero. (31 de octubre de 2019). Voladura y perforación minera: aquí todos sus esquemas. Periódico digital Tiempo Minero. <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/tipos-voladura-y-perforacion-minera-especializacion/>
- Torres, I. (2014). *Implicaciones para el caso ecuatoriano derivadas de los casos de minería responsable a nivel internacional*. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://n9.cl/m8r1h>
- Uchamaco, W. (2019). *Evaluación geomecánica para determinar el diseño de sostenimiento en minería subterránea: caso Ana María-Rinconada*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://n9.cl/ntp6i>
- Venegas, M., y Stevens, L. (2013). *Controles de mineralización del yacimiento filoniano argentífero Islay-mina Chungar, Pasco-Perú*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://n9.cl/nmmus>



Anexo 1: Yacimiento mineral “Veta Nohelia”



Anexo 2: Muestra de mineralización de la Veta Nohelia



Anexo 3: Levantamiento Topográfico



Anexo 4: Campamento del área minera Patricia



Anexo 5: Toma de datos y muestras



Anexo 6: Muestra de roca de estéril