



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

**“Propuesta de diseño de un nuevo sistema de explotación  
subterránea para la mina aurífera Kristian David,  
Pasaje - El Oro”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN MINAS**

**Autores**

JOSUÉ HERNÁN MOGROVEJO GARCÍA  
MILTON ALEJANDRO VALAREZO BALAREZO

**Director**

ING. LEONARDO NÚÑEZ RODAS

**CUENCA – ECUADOR**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a especialmente a mis padres por enseñarme los valores en casa y que haya podido demostrar eso en la universidad, ya que sin ellos no podría cumplir con este logro de mi vida. Ellos junto a mis profesores y compañeros son el pilar de esta formación obtenida.

A mis hermanos, sobrinos y cuñadas, por siempre haber sido un apoyo incondicional, ya sea en los buenos e igual en los malos momentos nunca me dejaron solo; dándome ánimos y ganas para salir adelante en mi etapa de estudiante y estoy seguro que lo serán en mi vida profesional.

### **Josué Hernán Mogrovejo García**

Este trabajo va dedicado especialmente a mi familia y principalmente a mis padres, por ese apoyo incondicional que me han dado para poder cumplir mis objetivos.

A mis hermanos, tíos, abuelos, por ser ese pilar fundamental en mi formación, por siempre darme sus consejos y enseñanzas, por haber hecho de mí una mejor persona y enseñarme lo hermosa que puede ser la vida.

A mi abuelita Olinda, por enseñarme esos hermosos valores como persona, por ser un ejemplo a seguir, por haberme mostrado siempre el lado correcto y más amable de la vida.

A mis amigos de la universidad, porque todos estos años de estudio los hicieron más divertidos y llevaderos, por compartir conmigo sus anécdotas, su sabiduría y por ser un apoyo en mi formación académica.

### **Milton Alejandro Valarezo Balarezo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios y a mis padres por estar siempre ahí sirviéndome como inspiración para cumplir este sueño; estaré eternamente agradecido con ellos por haber hecho un esfuerzo para que pueda lograr este objetivo en mi vida.

De igual manera a mis profesores por que han sabido guiarme y me han compartido sus conocimientos; darles las gracias porque siempre en que tuve una duda se dieron el tiempo necesario para poder servirme con sus conocimientos.

A mis compañeros de clase ya que pudimos discutir distintas ideas lo cual nos ayudó aprender mutuamente como persona, amigo y estudiante ya sea dentro o fuera de la universidad; para mí se convirtieron de compañeros en hermanos.

**Josué Hernán Mogrovejo García.**

Mi agradecimiento es primero a Dios, por haberme dado la sabiduría y fortaleza de tomar buenas decisiones. A mis padres por haberme apoyado incondicionalmente y dar todo de ellos para que pueda realizar este sueño.

Igualmente, a mis docentes por haberse tomado el tiempo de brindarme su conocimiento, por ser unas grandes personas y maestros, por haber satisfecho mis dudas con grandes enseñanzas.

**Milton Alejandro Valarezo Balarezo**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>3</b>
<b>FUNDAMENTOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>3</b>
1.1.    Datos Generales .....	3
1.2.    Descripción de la zona de estudio .....	3
1.3.    Ubicación Geográfica.....	3
1.3.1.    Accesibilidad a la concesión .....	4
1.4.    Descripción de los procesos de la empresa .....	5
1.4.1 Explotación y Extracción: .....	5
1.5.    Geología .....	6
1.5.1.    Geología regional .....	6
1.5.2.    Geología local .....	6

1.6.	Mineralogía del yacimiento .....	8
1.7.	Minería subterránea.....	8
1.8	Modelo geológico .....	9
1.8.1.	Modelo geológico del yacimiento.....	9
1.8.2.	Elaboración de Mapas Geológicos.....	10
1.8.3.	Gestión de datos .....	16
1.9.	Levantamiento topográfico del contrato minero .....	16
1.10.	Levantamiento topográfico de interior mina.....	17
1.11.	Datos de levantamiento topográfico.....	23
<b>CAPÍTULO 2.....</b>		<b>25</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>		<b>25</b>
2.1.	Yacimientos minerales .....	26
2.1.1.	Yacimientos endógenos .....	28
2.1.2.	Yacimientos exógenos .....	29
2.1.3.	Yacimientos Metamórficos .....	29
2.1.4.	Clasificación de un Yacimiento .....	30
2.1.4.1.	Rocas Fracturadas con diaclasas. ....	31
2.2.	Designación de la calidad de la roca (RQD).....	31
2.3.	Separación de las discontinuidades.....	32
2.4.	Condición de las discontinuidades.....	32
2.5.	Orientación de las discontinuidades.....	33
2.6.	Clasificación mecánica del macizo rocoso (RMR).....	33
2.7.	Clasificación del macizo Rcoso .....	34

2.8.	Topografía.....	36
2.9.	Sistema de explotación.....	37
2.9.1.	Sistemas tecnológicos más empleados.....	38
2.9.1.1.	Cámaras y Pilares.....	39
2.9.1.2.	Cámaras por subniveles.....	40
2.9.1.3.	Cámaras almacén (shrinkage stoping) .....	42
2.9.1.4.	Gradas de retroceso vertical (VCR).....	43
2.9.1.5.	Corte y relleno.....	45
2.9.2.	Por hundimiento .....	47
2.9.2.1.	Hundimiento por bloques.....	47
2.9.2.2.	Hundimiento por sub niveles .....	49
2.9.3.	Tajo largo (long wall).....	50
2.10.	Software Minero.....	52
2.10.1.	Programas con aplicaciones mineras indirectas.....	53
2.10.1.1.	Hojas de cálculo .....	54
2.10.1.2.	Programas de dominio público.....	54
2.10.1.3.	Programas con aplicaciones mineras directas o específicas .....	55
2.11.	Software Minero RecMin.....	55
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>57</b>
<b>DISEÑO DE EXPLOTACIÓN .....</b>		<b>57</b>
3.1	Calidad del macizo rocoso .....	57
3.1.1.	Cálculo del RMR .....	58
3.1.1.1.	Resistencia a la compresión simple.....	59
3.1.1.2.	Rock quality designation (RQD).....	60

3.1.1.3. Espaciado de las discontinuidades .....	62
3.1.1.4. Condiciones de las discontinuidades.....	63
3.1.1.5. Presencia de agua .....	66
3.1.1.6. Orientación de las discontinuidades.....	67
3.1.2. Valor de RMR calculado.....	69
3.2. Diseño del Sistema de explotación .....	73
3.2.1. Modelo de explotación.....	73
3.2.2. Diseño de niveles y subniveles .....	75
3.3. Secuencia de minado.....	78
3.4. Tiempo estimado de extracción .....	85
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Concesión minera Kristian David. ....	4
<b>Figura 1.2:</b> Concesión minera Kristian David, brecha mineral y boca mina .....	10
<b>Figura 1.3:</b> Vista en planta del corte geológico A-B.....	11
<b>Figura 1.4:</b> Corte geológico A-B. ....	11
<b>Figura 1.5:</b> Concesión minera Kristian David, brecha mineral, boca mina y cortes para perfiles geológicos .....	12
<b>Figura 1.6:</b> Corte geológico C-D. ....	13
<b>Figura 1.7:</b> Corte geológico E-F. ....	13
<b>Figura 1.8:</b> Corte geológico G-H. ....	14
<b>Figura 1.9:</b> Corte geológico I-J.....	14
<b>Figura 1.10:</b> Corte geológico K-L.....	15
<b>Figura 1.11:</b> Corte geológico M-N. ....	15
<b>Figura 1.12:</b> Concesión minera Kristian David. ....	16
<b>Figura 1.13:</b> Equipos para levantamiento topográfico cinta métrica de 50m de largo, una estación total GM-102 y una brújula Brunton.....	17
<b>Figura 1.14:</b> Ubicación de la boca mina de la empresa Kristian David.....	19
<b>Figura 1.15:</b> Plano topográfico de todas las labores de la boca mina de la empresa Kristian David.....	20
<b>Figura 1.16:</b> Plano topográfico del primer nivel.....	21
<b>Figura 1.17:</b> Plano topográfico del segundo nivel .....	22
<b>Figura 1.18:</b> Plano topográfico del tercer nivel. ....	23
<b>Figura 1.19.</b> Niveles de la mina y su topografía 3D.....	24
<b>Figura 2.1</b> Orientación de las discontinuidades .....	33
<b>Figura 2.2</b> Sistemas de explotación subterráneo .....	38
<b>Figura 2.3</b> Sistema de explotación de cámaras y pilares.....	40
<b>Figura 2.4</b> Sistema de explotación, cámaras por subniveles.....	42
<b>Figura 2.5</b> Sistema de explotación, cámaras almacén (shrinkage stoping).....	43
<b>Figura 2.6</b> Sistemas de explotación, hundimiento por bloques.....	44

<b>Figura 2.7</b> Sistemas de explotación, corte y relleno.....	46
<b>Figura 2.8</b> Sistemas de explotación, hundimiento por bloques.....	48
<b>Figura 2.9.</b> Sistemas de explotación, hundimiento por subniveles .....	50
<b>Figura 2.10.</b> Sistemas de explotación, tajos largos .....	52
<b>Figura 3.1.</b> Gráfico para calcular el parámetro de resistencia a la compresión simple. .....	59
<b>Figura 3.2:</b> Grafico para calcular el parámetro de RQD.....	61
<b>Figura 3.3:</b> Grafico para calcular el parámetro de espaciamiento de las discontinuidades.....	62
<b>Figura 3.4.</b> Familia de Diaclasas del macizo rocoso.....	63
<b>Figura 3.5.</b> Humedad en las paredes del macizo rocoso .....	67
<b>Figura 3.6.</b> Dimensiones de las galerías.....	75
<b>Figura 3.7.</b> Dimensiones de subniveles.....	76
<b>Figura 3.8.</b> Dimensiones de los niveles.....	77
<b>Figura 3.9.</b> Dimensiones de los subniveles .....	77
<b>Figura 3.10.</b> Condición y labores actuales de la mina .....	78
<b>Figura 3.11.</b> Construcción del pique 4. ....	79
<b>Figura 3.12.</b> Construcción de los 3 subniveles en el pique 4.....	80
<b>Figura 3.13.</b> Construcción del Nivel 4. ....	81
<b>Figura 3.14.</b> Construcción del Pique 5 a continuación del Nivel 4.....	82
<b>Figura 3.15.</b> Construcción de los 3 subniveles a continuación del Pique 5. ....	83
<b>Figura 3.16.</b> Construcción del Nivel 5. ....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1:</b> Ubicación geográfica de la concesión minera Kristian David.....	4
<b>Tabla 1.2:</b> Formaciones geológicas y depósitos superficiales presentes en el cantón Pasaje .....	7
<b>Tabla 1.3:</b> Minerales explotados en el Cantón Pasaje.....	8
<b>Tabla 1.4:</b> Coordenadas geográficas de ubicación de la concesión minera Kristian David.....	17
<b>Tabla 1.5:</b> Coordenadas geográficas de la boca mina de la concesión minera Kristian David.....	18
<b>Tabla 2.1:</b> Clasificación genética de yacimientos Smirnov (1976).....	27
<b>Tabla 2.2:</b> Tabla de clasificación del índice RQD .....	31
<b>Tabla 2.3:</b> Índice de calidad de la roca RMR.....	34
<b>Tabla 2.4:</b> Métodos de clasificación geomecánica.....	36
<b>Tabla 2.5:</b> Usos de sistemas de explotación más empleados .....	38
<b>Tabla 3.1:</b> Características de los esquistos.....	57
<b>Tabla 3.2:</b> Clasificación de Deer & Miller.....	58
<b>Tabla 3.3:</b> Valoración de la resistencia a la compresión simple .....	59
<b>Tabla 3.4:</b> Valoración del RQD .....	61
<b>Tabla 3.5:</b> Valoración de espaciamiento de discontinuidades .....	62
<b>Tabla 3.6:</b> Valoración de la abertura de las juntas .....	64
<b>Tabla 3.7:</b> Valoración para la continuidad de las discontinuidades.....	64
<b>Tabla 3.8:</b> Valoración para la rugosidad de las discontinuidades. ....	65
<b>Tabla 3.9:</b> Valoración para el relleno de discontinuidades. ....	65
<b>Tabla 3.10:</b> Valoración para la alteración de las discontinuidades. ....	66
<b>Tabla 3.11:</b> Valoración para la presencia de agua.....	66
<b>Tabla 3.12:</b> Tabla de clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.....	67
<b>Tabla 3.13:</b> Tabla de valoración para túneles y minas.....	68
<b>Tabla 3.14:</b> Tabla de valoración para taludes.....	68

<b>Tabla 3.15:</b> Resultado del RMR.....	69
<b>Tabla 3.16:</b> Calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR.....	70
<b>Tabla 3.17:</b> Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante .....	71
<b>Tabla 3.18:</b> Elección de la Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante .....	72
<b>Tabla 3.19.</b> Descripción de la construcción del pique 4.....	79
<b>Tabla 3.20.</b> Descripción de la construcción de los 3 Subniveles en el Pique 4.....	80
<b>Tabla 3.21.</b> Descripción de la construcción del Nivel 4.....	81
<b>Tabla 3.22.</b> Descripción de la construcción del Nivel 4.....	82
<b>Tabla 3.23.</b> Descripción de la construcción de los 3 Subnivel en el Pique 5. ....	83
<b>Tabla 3.24.</b> Descripción de la construcción del Nivel 5.....	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa geológico de la provincia del oro. ....	92
Anexo 2: Curvas de nivel de la Provincia Del Oro.....	92
Anexo 3: Tolva en superficie de la mina Kristian David.....	93
Anexo 4: Winche de izaje de la mina Kristian David.....	93
Anexo 5: Muestra de mineralización de la mina Kristian David. ....	94
Anexo 6: Mineralización de la mina Kristian David.....	94
Anexo 7: Transporte de mineralización dentro de la mina Kristian David.....	95
Anexo 8: Boca mina de la mina Kristian David.....	95
Anexo 9: Área de máquinas de la mina Kristian David.....	96
Anexo 10: Área de combustible de la mina Kristian David.....	96
Anexo 11: Polvorín de la mina Kristian David.....	97
Anexo 12: Perforación en la veta mineralizada .....	97
Anexo 13: frente de explotación de la mina Kristian David.....	98
Anexo 14: Voladura .....	98
Anexo 15: Pique Transito Mineral.....	99
Anexo 16: Levantamiento topográfico.....	99

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN NUEVO SISTEMA DE EXPLOTACIÓN  
SUBTERRÁNEA PARA LA MINA AURÍFERA KRISTIAN DAVID,  
PASAJE - EL ORO”**

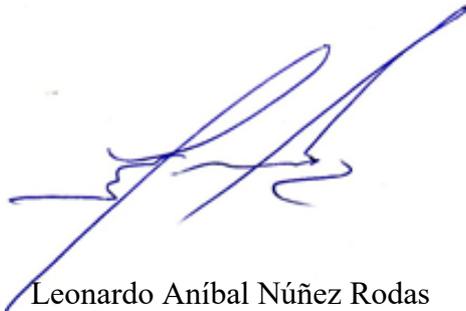
**RESUMEN**

El presente trabajo analizó proponer un nuevo sistema de explotación que sea el más adecuado para la explotación aurífera de la mina Kristian David, ubicada en el cantón Pasaje, provincia de El Oro.

La propuesta se realizó por etapas, siendo la primera la ejecución de un levantamiento topográfico de detalle de la concesión minera incluyendo sus áreas internas, para luego obtener un modelo geológico de la misma. El sistema de explotación analizado y escogido como el más idóneo, en base a los parámetros técnicos estudiados, fue el de franqueo de niveles y subniveles.

Una vez recopilada toda la información y elegido el sistema a utilizar, se procedió a diseñar y elaborar la secuencia de explotación con ayuda del software minero denominado RecMin, obteniendo un diseño óptimo que puede ser aplicado.

**Palabras clave:** explotación, niveles, subniveles, diseño, software.



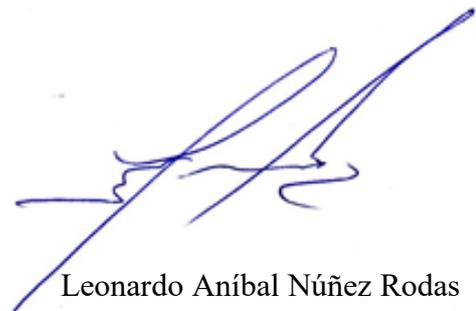
Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Director del Trabajo de Titulación**



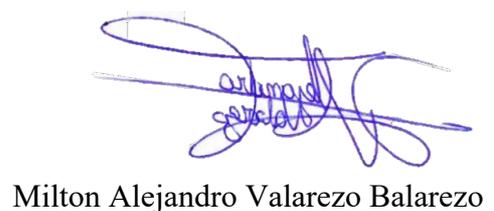
Josué Hernán Mogrovejo García

**Autor**



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Director de Escuela**



Milton Alejandro Valarezo Balarezo

**Autor**

**“DESIGN PROPOSAL OF A NEW SUBWAY EXPLOITATION SYSTEM  
FOR THE KRISTIAN DAVID GOLD MINE, PASAJE - EL ORO”**

**ABSTRACT**

The present work analyzed the proposal of a new exploitation system that would be the most adequate for the gold exploitation of the Kristian David mine, located in the Pasaje canton, province of El Oro. The proposal was made in stages, the first one the execution of a detailed topographic survey of the mining concession, including its internal areas, to obtain a geological model later. Based on the technical parameters studied, the exploitation system analyzed and chosen as the most suitable was that of strip mining of levels and sublevels. Once all the information was compiled and the method to be used was selected, the mining sequence was designed and elaborated with the help of the mining software called RecMin, obtaining an optimal design that can be applied.

**Keywords:** mining, levels, sublevels, design, software.



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Director of the Degree Project**



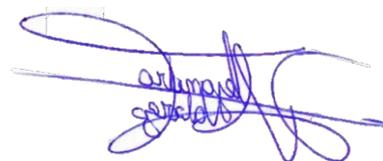
Josué Hernán Mogrovejo García

**Author**



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Coordinator of the school**



Milton Alejandro Valarezo Balarezo

**Author**

Mogrovejo García Josué Hernán

Valarezo Balarezo Milton Alejandro

Trabajo de Titulación

Ing. Núñez Rodas Leonardo Aníbal

Junio, 2022

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN NUEVO SISTEMA DE EXPLOTACIÓN  
SUBTERRÁNEA PARA LA MINA AURÍFERA KRISTIAN DAVID,  
PASAJE - EL ORO”**

**INTRODUCCIÓN**

En el sector minero para incrementar y mejorar las condiciones de vida colectivas de un país es necesario un desarrollo socio-económico integral, que será alcanzado mediante un aprovechamiento técnico y racional de sus reservas naturales. Es por ello que es preciso determinar las reservas disponibles y realizar un diseño de explotación óptimo para estos recursos, propiciando su eficiente aprovechamiento.

Basado en las características del yacimiento, cada proyecto minero debería tener un sistema de explotación óptimo que facilite la obtención de la mayor cantidad de mineral que se pueda extraer. Esto sin poner en riesgo la seguridad del personal, minimizando los costos de extracción y maximizando los ingresos económicos. Cabe recalcar que la mina Kristian David nunca tuvo un diseño de explotación por lo que se ha venido explotando de manera anti técnica razón, por la cual la mina podría en algún momento entrar en algún tipo de riesgo.

Este proyecto se desarrolló con la finalidad de mejorar las condiciones de explotación de la mina, así mismo pensando en la seguridad del personal y en el bienestar económico del titular minero.

## **CAPÍTULO 1**

### **FUNDAMENTOS DEL PROYECTO**

En este capítulo se detalla toda la información necesaria para elaborar el sistema de explotación. Primero se va a realizar la descripción a detalle de la concesión y de la mina en la cual se va a llevar a cabo el proyecto; es importante tener un conocimiento claro de la ubicación de la concesión y tener en cuenta que el área minera esté legalmente constituida y que cuente con todos los permisos que las entidades públicas requieren. Afortunadamente el área minera se encuentra vigente.

#### **1.1. Datos Generales**

El nombre de la concesión minera en la cual se encuentra la mina es: Kristian David, con código 300223. La cual está ubicada en el sector Huizho, de la parroquia Casacay del cantón Pasaje, en la provincia de El Oro.

#### **1.2. Descripción de la zona de estudio**

La sociedad minera “Kristian David” con código 300223 se encuentra ubicada al suroeste del Ecuador, provincia de El Oro, cantón Pasaje, Parroquia Casacay. Está formada por 56 hectáreas, es una operación de pequeña minería y desarrolla labores de exploración y explotación. El mineral de interés es oro y plata, se encuentra a una altura de 113 m.s.n.m.

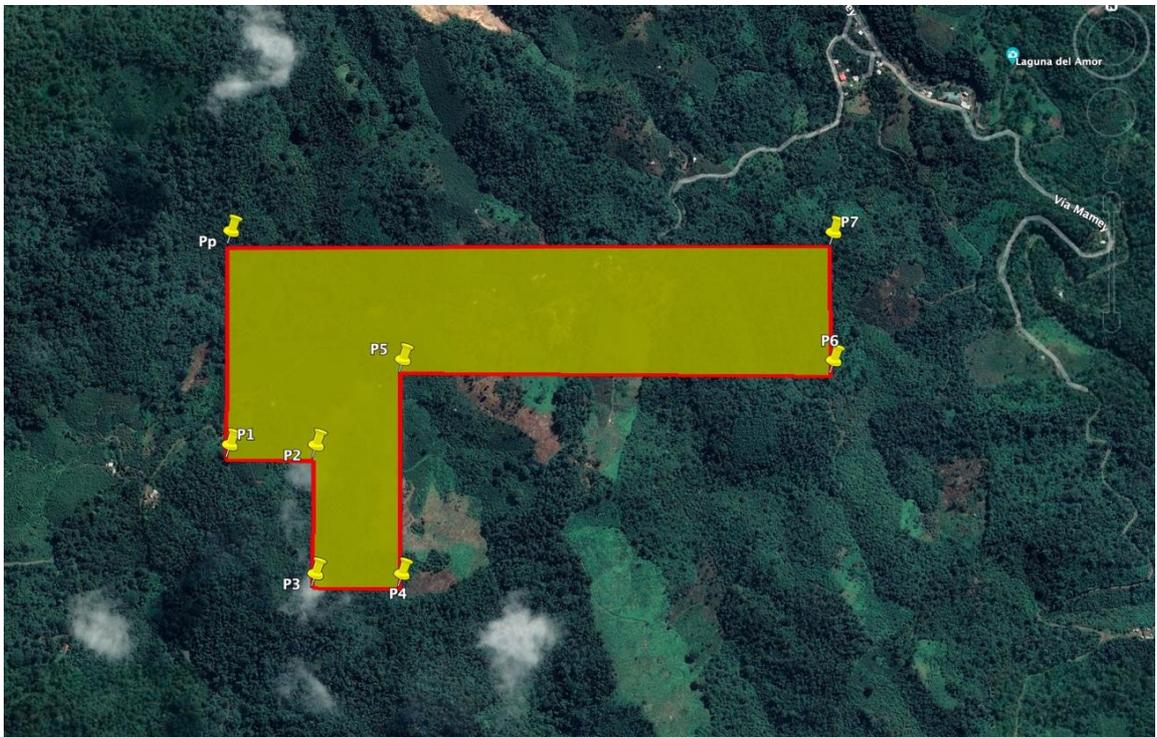
#### **1.3. Ubicación Geográfica**

A continuación, se detallan los vértices de la concesión.

**Tabla 1.1:** Ubicación geográfica de la concesión minera Kristian David

<b>COORDENADAS UTM – DATUM PSAD 56</b>			
<b>VERTICES DE LA CONCESIÓN MINERA KRISTIAN DAVID</b>			
<b>VERTICE</b>	<b>ESTE (X)</b>	<b>NORTE (Y)</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>
<b>P.P.</b>	638600	9631500	P.P. - 1 = 500
<b>P.1</b>	638600	9631000	1 - 2 = 200
<b>P.2</b>	638800	9631000	2 - 3 = 300
<b>P.3</b>	638800	9630700	3 - 4 = 200
<b>P.4</b>	639000	9630700	4 - 5 = 500
<b>P.5</b>	639000	9631200	5 - 6 = 1000
<b>P.6</b>	640000	9631200	6 - 7 = 300
<b>P.7</b>	640000	9631500	7 - P.P = 1400

**Fuente:** Informe de producción concesión minera KRISTIAN DAVID

**Figura 1.1:** Concesión minera Kristian David.

**Fuente:** Google Earth.

### **1.3.1. Accesibilidad a la concesión**

La ruta de acceso a la concesión es de forma terrestre, la cual es de segundo orden, aunque todo el tramo se encuentra lastrado. Se debe tomar la autopista Pasaje- Cuenca y se debe conducir por una distancia de 4 km, hasta el sector conocido como Huizho, una vez ubicados allí se ingresa por la vía que conduce al sector San José de Minas, después de 2 km de recorrido se llega al sector en el cual se ubica la mina, objeto de estudio del presente proyecto.

## **1.4. Descripción de los procesos de la empresa**

### **1.4.1 Explotación y Extracción:**

Actualmente la mina cuenta con tres niveles, situados cada uno a diferentes distancias, el primer nivel está a 50 m de profundidad, el segundo nivel está situado a 100 m profundidad del primer nivel, el tercer y último nivel está a 70 m de profundidad del segundo nivel. La boca mina se encuentra una altura de 113 m.s.n.m. y para acceder al bloque mineral, se utiliza un pique de 50 m de profundidad.

En el primer nivel se encuentran dos piques, el pique principal es el de tránsito mineral, y el pique secundario es para tránsito del personal. El primer nivel cuenta con un área ya explotada y también un túnel de exploración ahora abandonado, además existe un pique que conecta el segundo nivel, la misma que sirve para tránsito del personal y labores mineras (carguío y transporte por winches de izaje).

El segundo nivel cuenta con dos tolvas subterráneas con capacidad de carga de 8 toneladas cada una, para el almacenamiento de material; una de estas tolvas se encuentra al pie del pique y la segunda tolva al inicio del segundo pique que conecta con el tercer nivel. Ahora el segundo nivel se ocupa como tránsito de personal y labores mineras ya que este nivel tiene reservas ya explotadas. El segundo nivel cuenta con un pique el cual conecta con el tercer nivel.

El pique del tercer nivel ha sido construido para explotación. El material que de ahí se extrae es transportado al segundo nivel y luego al primer nivel.

El transporte en interior mina se le realiza mediante carros mineros que son impulsados de forma manual con una capacidad de una tonelada. Existen diez carros mineros en total.

La mina por día extrae la cantidad 25 toneladas, debido a que las labores no solo son de perforación, voladura, carguío y transporte, sino que también existen labores de fortificación ya que la roca de caja es débil.

Para la voladura del material se utiliza dinamita, ANFO y retacado. Las dimensiones de las galerías de explotación dependen de la potencia de la veta o bloque mineral, siendo desde 2 m hasta 4 m. Por lo general se realizan entre 18 y 25 perforaciones, dependiendo de la dureza de la roca y las dimensiones de la galería.

La perforación se realiza con máquina de barrenar modelo YT27, utilizando barrenos de 1,20 m, porque la calidad de la roca es mala ósea es roca débil, lo que permite una mayor perforación. Posterior a la voladura, se realiza la clasificación del material en el interior de mina, esto para evitar que material inerte o ganga llegue a las tolvas ubicadas en el interior de la mina.

El material proveniente de la mena es llevado a la planta de beneficio ubicada en el cantón Portovelo, sector El Pache. Mientras que la ganga suele ser utilizada como producto base para la construcción de muros que sirven para reservorios de agua dentro de la mina o también se usa como material para el lastrado de las vías de acceso a la concesión.

## **1.5. Geología**

### **1.5.1. Geología regional**

El Oro es la provincia más meridional del Ecuador. La característica geológica de la provincia está definida por dos zonas. La zona norte que es la de menor área y con elevaciones más bajas, afloran rocas del cretáceo y la zona Sur de mayor área, donde afloran rocas metamórficas del Precámbrico. Con respecto al suelo se distingue tres ambientes: abanico aluvial, zona costera y las estribaciones de la Cordillera (Mena & Garzón, 2015).

### **1.5.2. Geología local**

El cantón Pasaje cuenta con una extensión total de aproximadamente 457 km<sup>2</sup> y una superficie del área de estudio de igual tamaño, se encuentra incluido dentro de la región Costa y en la región Sierra. En este cantón casi no se observan litologías graníticas,

siendo mayoritariamente formaciones volcánicas y sedimentarias, sobre las que se desarrolla un relieve abrupto en la zona oriental del dominio, que se va suavizando ligeramente hacia la zona occidental.

Este dominio es el más extenso del cantón Pasaje y se localiza a lo largo de toda la franja oriental del cantón, siendo el equivalente al 61% de la superficie total del cantón o un equivalente de 279 km<sup>2</sup>. Está representado por un relieve de vertientes, heterogéneas principalmente, relieves volcánicos y una red de drenaje formada mayoritariamente por barrancos (Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca, 2015).

**Tabla 1.2:** Formaciones geológicas y depósitos superficiales presentes en el cantón Pasaje

<b>Formación</b>	<b>Edad</b>	<b>Litología</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Grupo Tahuín	Paleozoico Triásico	Areniscas grises, intercaladas con limolitas y lutitas gris oscuras, ligeramente metamorfizadas en algunos sectores, cuarcitas y esquistos	15 671,23	34,36%
Formación Macuchi	Cretácico	Areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, limolitas volcánicas, basaltos, lavas en almohadillas y escasas calcarenitas	4347,32	9,53%
Formación Saraguro	Oligoceno, Mioceno	Piroclastos y lavas	2247,46	4,93%
Unidad del Toro	Cretácico	Rocas plutónicas ultramáficas	580,99	1,27%
Cuerpo básico de la cadena	Cretácico	Basaltos	21,06	0,05
Volcánicos la Fortuna	Cretácico	Lavas e ignimbritas	340,76	0,75%
Depósitos aluviales	Cuaternario	Arenas, limos, arcillas, y conglomerados	10 823,11	23,73
Otros		No identificados (posibles pórfidos)	2708,69	5,94

Fuente: (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2019)

### 1.6. Mineralogía del yacimiento

En la zona de estudio se presentan cuarcitas, filitas y esquistos. Las filitas contienen porfiroblastos probablemente de andalucita o cordierita fino-granulares. Hacia el norte

el grado de metamorfismo aumenta paulatinamente y las filitas se transforman en esquistos que llegan a tener grano grueso. Los esquistos hacia el sur son de moscovita y biotita, hacia el centro pasan a esquistos porfiroblásticos esponjosos de andalucita o cordierita, y hacia el norte contienen sillimanita, localmente coexisten andalucita y/o cordierita. Las cuarcitas son de tonalidades verdes (debido a la presencia de limos) se encuentran intercaladas con los esquistos presentándose totalmente recrystalizadas. El contraste entre las capas pelíticas y cuarcitas se presenta difuso. Diques microdioríticos de poca potencia constituyen a la roca metamórfica. (Compañía minera Bursal S.A descripción geológica regional y local Sacachispas, 2017).

### 1.7. Minería subterránea

La Dirección de Minería señala que en el cantón Pasaje existen 125 concesiones inscritas abarcando una superficie de 10.844,07 hectáreas, lo cual representa el 23,77% del total del territorio. La mayor parte de las concesiones se encuentran en los márgenes de los ríos Jubones, Chaguana, El Águila, Palenque, Calichana, Buenavista y zonas aledañas a la ciudad de Pasaje (arena, áridos y pétreos, oro, plata y cobre). La práctica de explotación de canteras se realiza desde hace más de 30 años, durante ese tiempo se ha destruido cauces y riberas de ríos, cuencas y zonas aledañas, provocando inundaciones, epidemias y desertización (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2019).

**Tabla 1.3:** Minerales explotados en el Cantón Pasaje

<b>Minerales</b>	<b>Nro. Concesiones</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Localización</b>
Materiales de construcción.	64	1286.80	En los afluentes de los ríos Putumayo, San Agustín y Buenavista.
Metálicos (Oro, plata y cobre).	60	9510.27	Parte alta de las parroquias de Casacay, Pasaje, Uzhcurrumi y Progreso.
No metálicos (arcillas, feldespato).	1	47.00	Área urbana de pasaje.
Total.	125	10844.04	

**Fuente:** (Geoportal del Catastro Minero, 2021)

## **1.8 Modelo geológico**

El “American Heritage Dictionary” (1985), sostiene que los modelos geológicos pueden ser definidos como: “Una descripción tentativa de una sistema o teoría que resume todas sus propiedades conocidas o como un patrón preliminar que sirve como un plan a partir del cual se pueda generar lo que no esté confeccionado.

### **1.8.1. Modelo geológico del yacimiento**

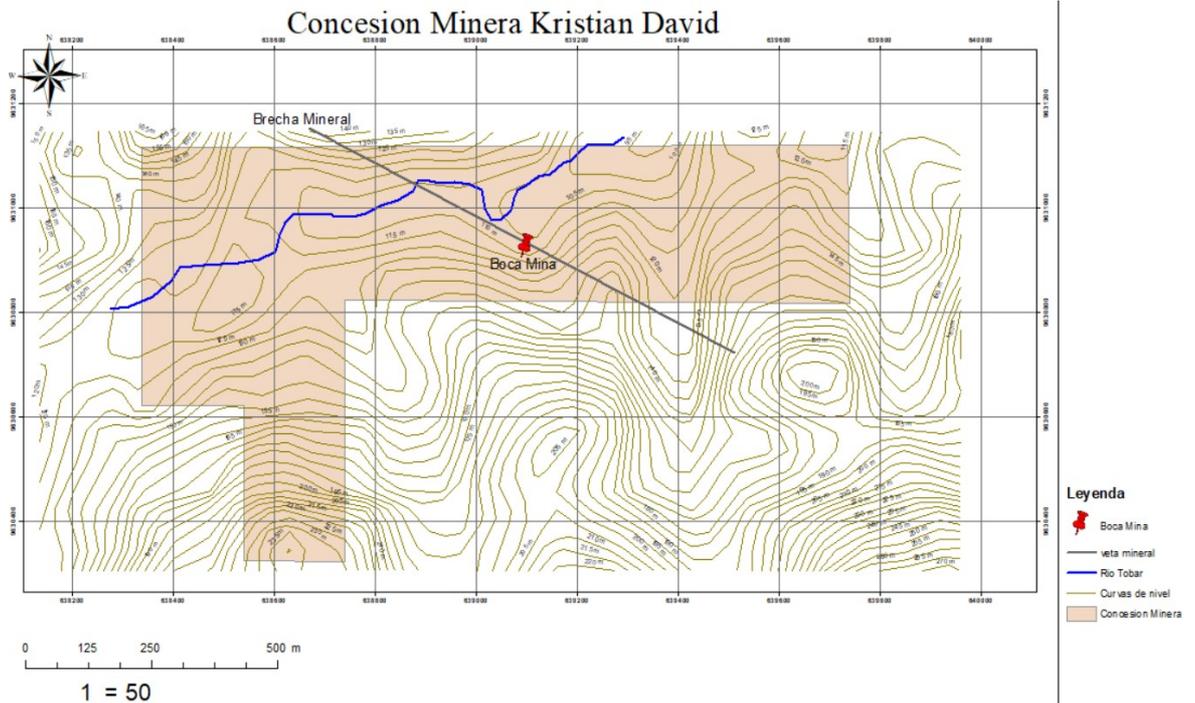
El plegamiento en las secuencias de bajo grado metamórfico, generalmente no es observable. Sin embargo, considerando que en muchos afloramientos el rumbo e inclinación de los paquetes de filitas, cuarcitas y esquistos es paralelo a la foliación se puede considerar que están fuertemente plegadas. (Compañía minera Bursal S.A descripción geológica regional y local Sacachispas, 2017).

Por tratarse de una zona de metamorfismo regional posiblemente afectada por la subducción entre las placa oceánica y continental, sometida a esfuerzos tensionales de tracción y compresión, generando grietas que afectan y controlan la mineralización de la zona. El yacimiento es un hidrotermal, los filones hidrotermales de baja sulfuración tienen dirección N-S; la falla Sacachispas y puerto Balsa que poseen dirección E-W podrían delimitar la zona de mineralización por encontrarse sectores de vetas ricas en oro entre ellas. Las vetas presentan lentes enriquecidos con oro, siendo filitas y filitas esquistosas los tipos de rocas encajantes.

### **1.8.2. Elaboración de mapas geológicos**

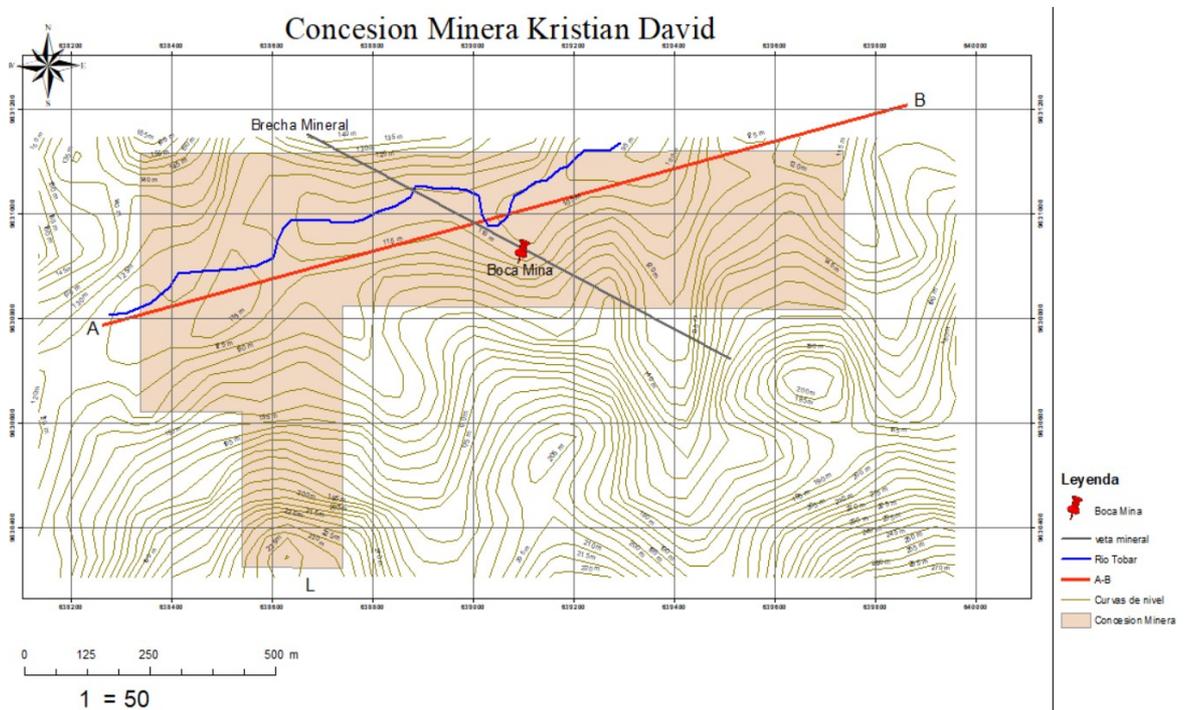
Con la información obtenida se realizan mapas geológicos del área y también de sus alrededores. Con esta información se pretende determinar la dirección de la zona mineralizada y plantear un diseño de explotación.

Los ingenieros, técnicos y topógrafos de la empresa Kristian David establecieron un modelo geológico del yacimiento, con toda la información obtenida, unieron datos para determinar que el tipo de yacimiento es una brecha magmática que viene desde los 300 m de profundidad.



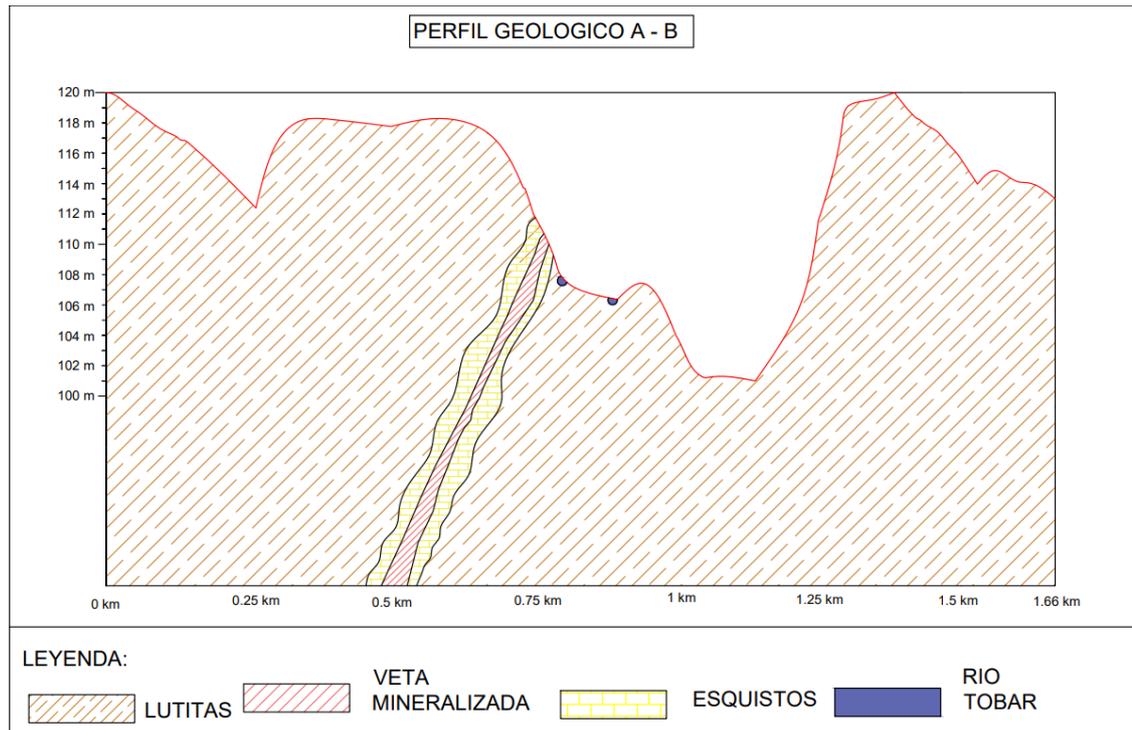
**Figura 1.2:** Concesión minera Kristian David, brecha mineral y boca mina.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 1.3:** Vista en planta del corte geológico A-B.

**Fuente:** Elaboración propia.

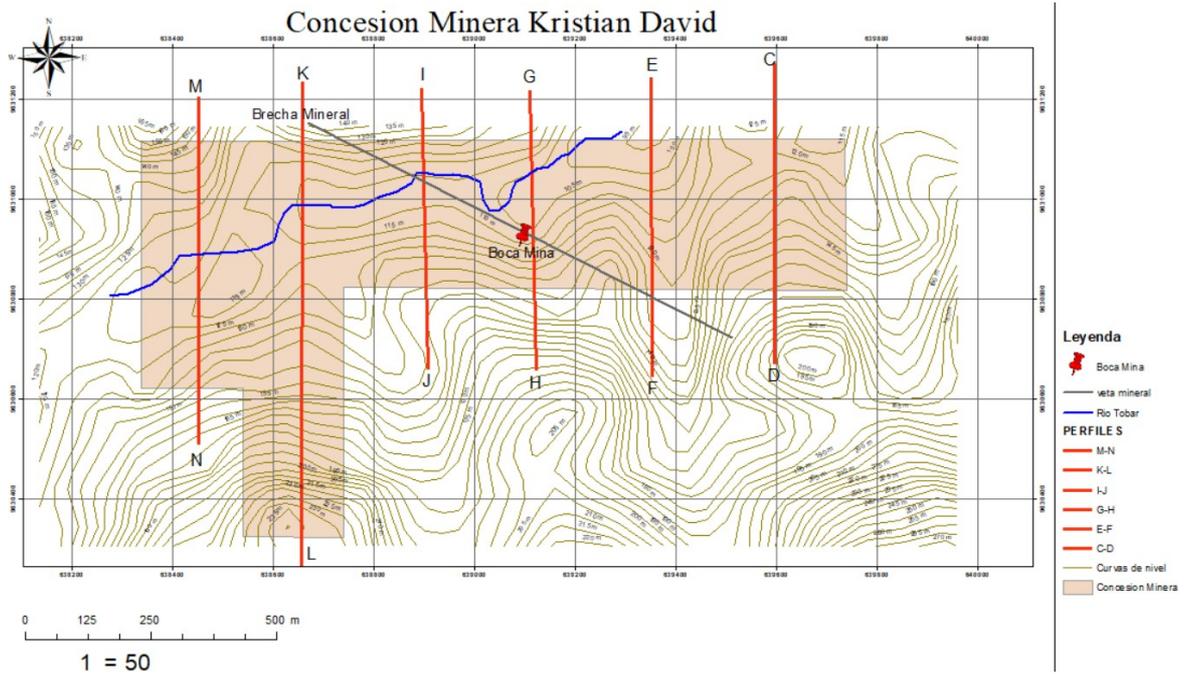


**Figura 1.4:** Corte geológico A-B.

**Fuente:** Elaboración propia.

Para determinar el modelo geológico, forma y espaciamiento del yacimiento hidrotermal en la concesión minera Kristian David se realizaron 6 perfiles, estos cortes (o perfiles) serán en sentido transversal a la concesión, orientándolos de Norte-Sur.

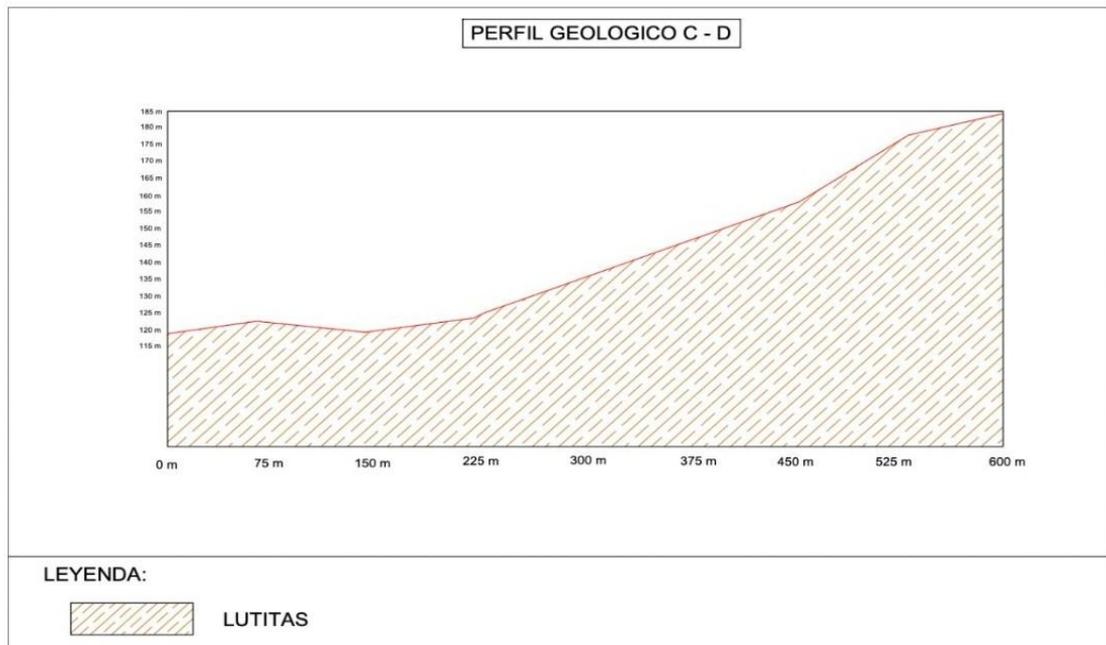
Los nuevos perfiles tomarán la siguiente caracterización C-D; E-F; G-H; I-J; K-L y por último M-N, estos perfiles serán representados en el plano ZN. En la figura 1.5 se indica la distribución.



**Figura 1.5:** Concesión minera Kristian David, brecha mineral, boca mina y cortes para perfiles geológicos.

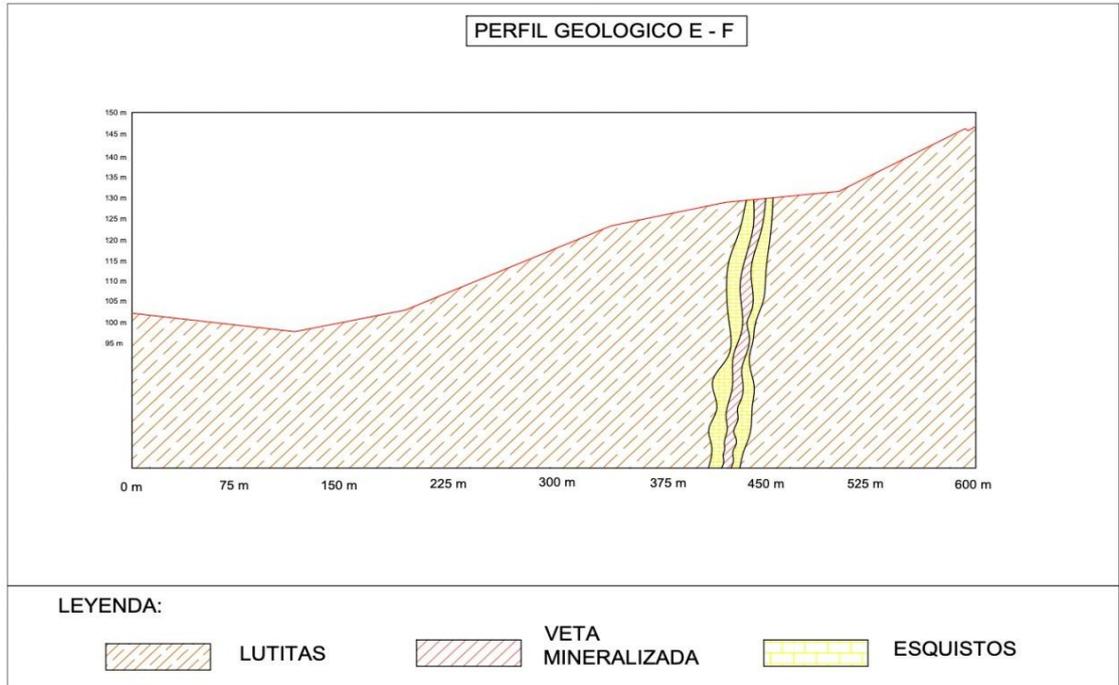
**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se presentan los cortes geológicos.



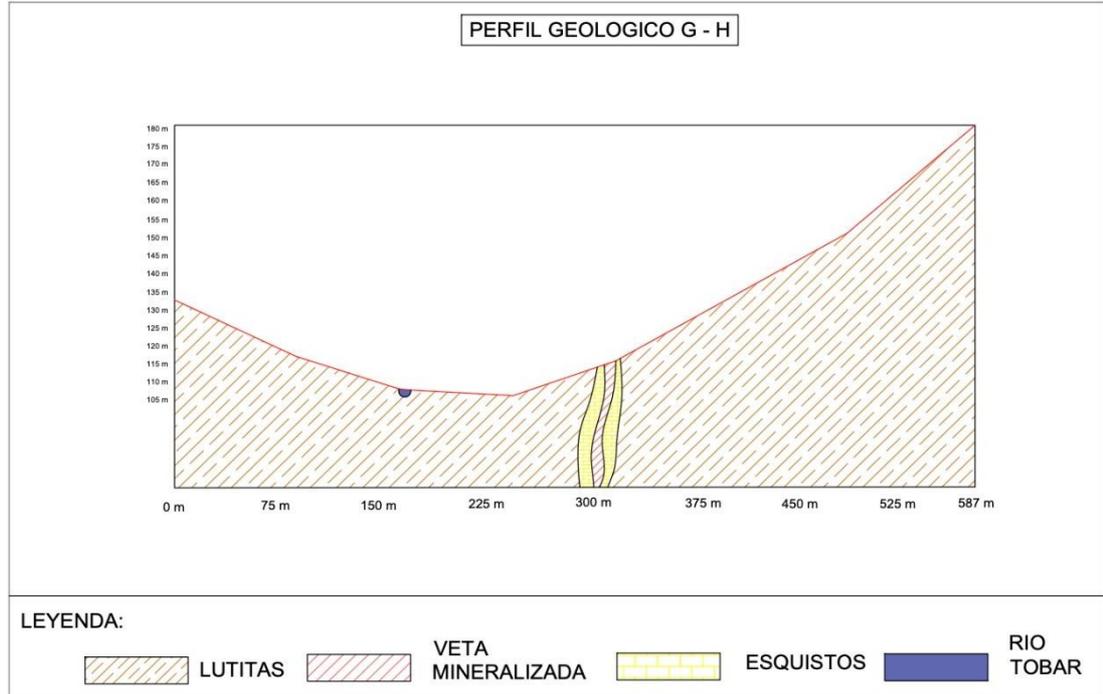
**Figura 1.6:** Corte geológico C-D.

**Fuente:** Elaboración propia.



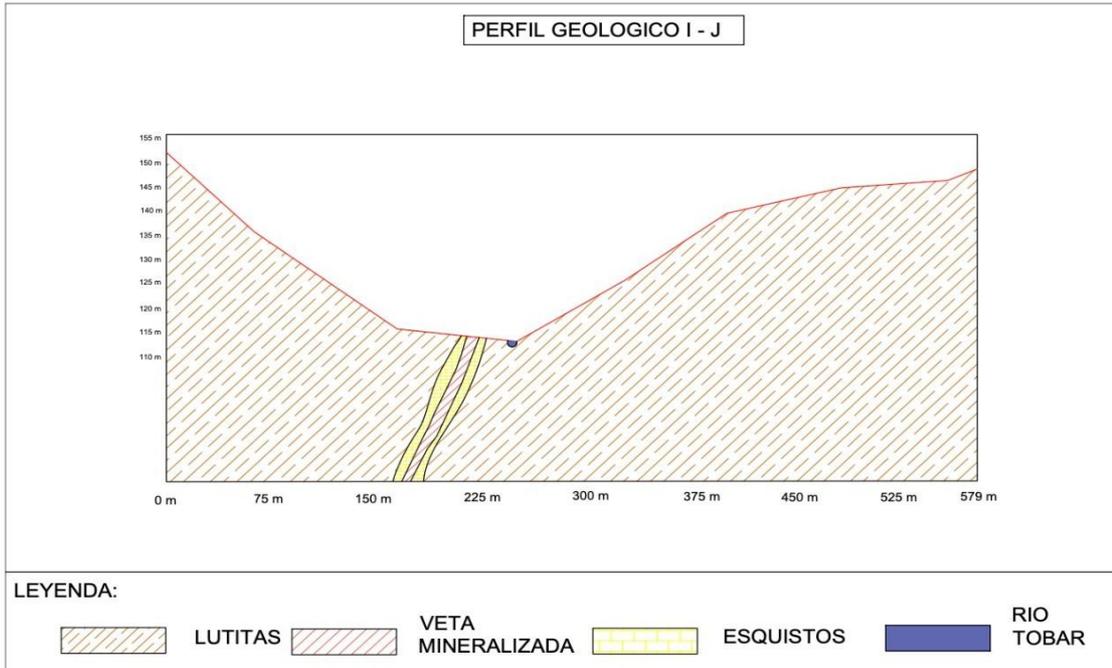
**Figura 1.7:** Corte geológico E-F.

**Fuente:** Elaboración propia



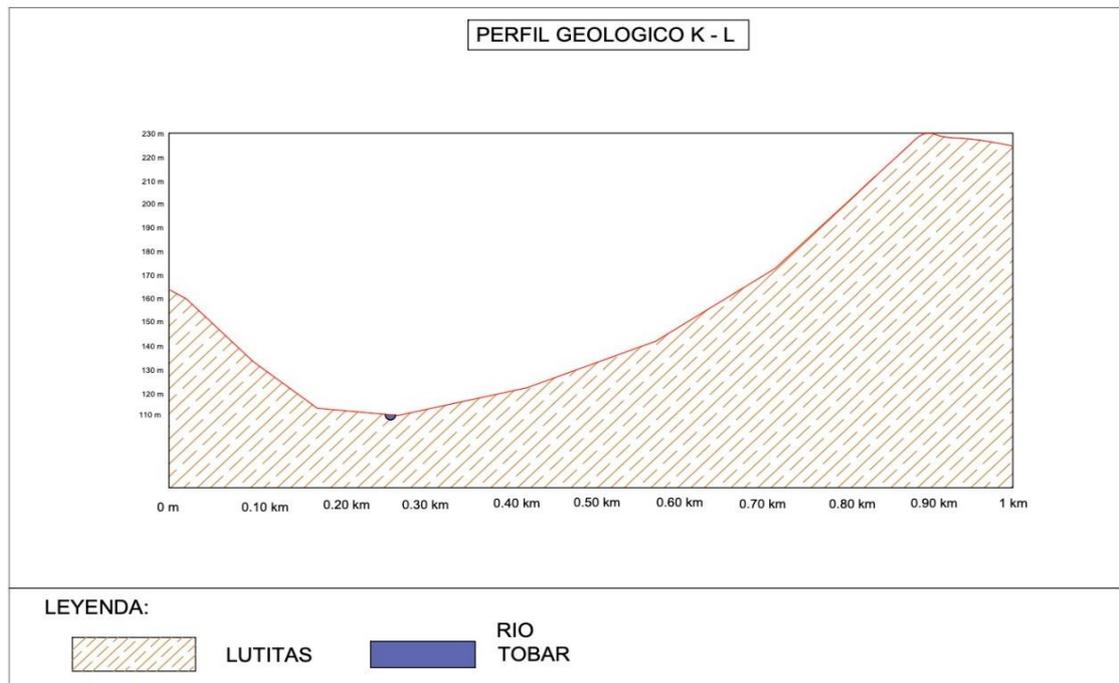
**Figura 1.8:** Corte geológico G-H.

**Fuente:** Elaboración propia en software AutoCAD



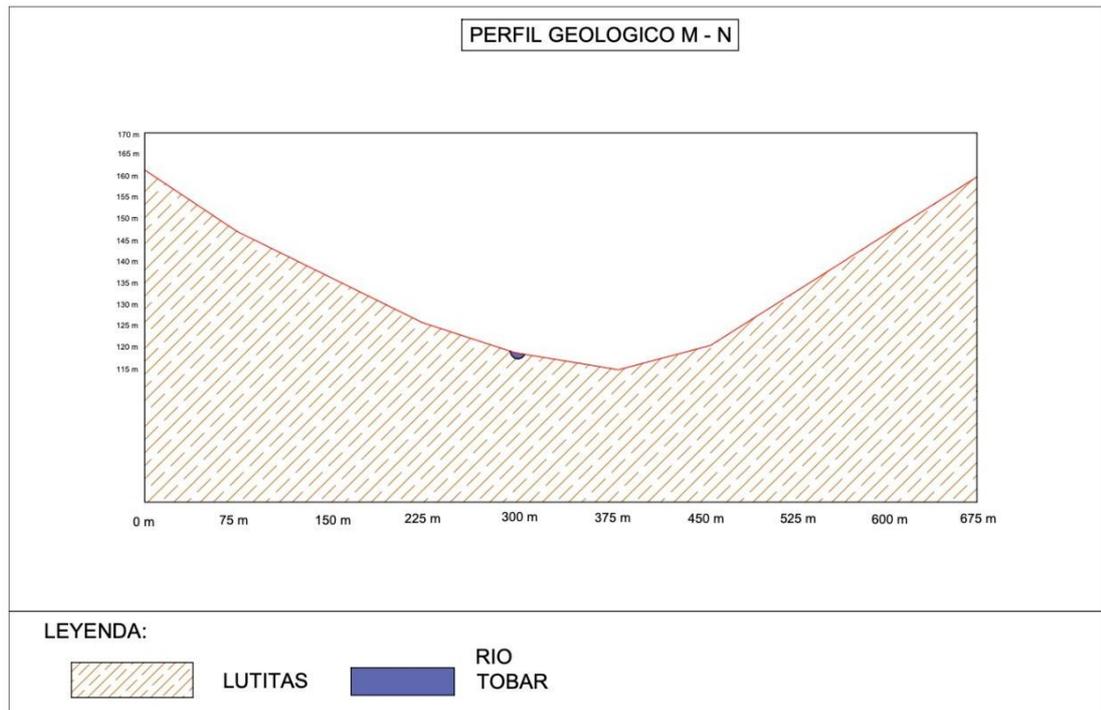
**Figura 1.9:** Corte geológico I-J.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1.10:** Corte geológico K-L.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1.11:** Corte geológico M-N.

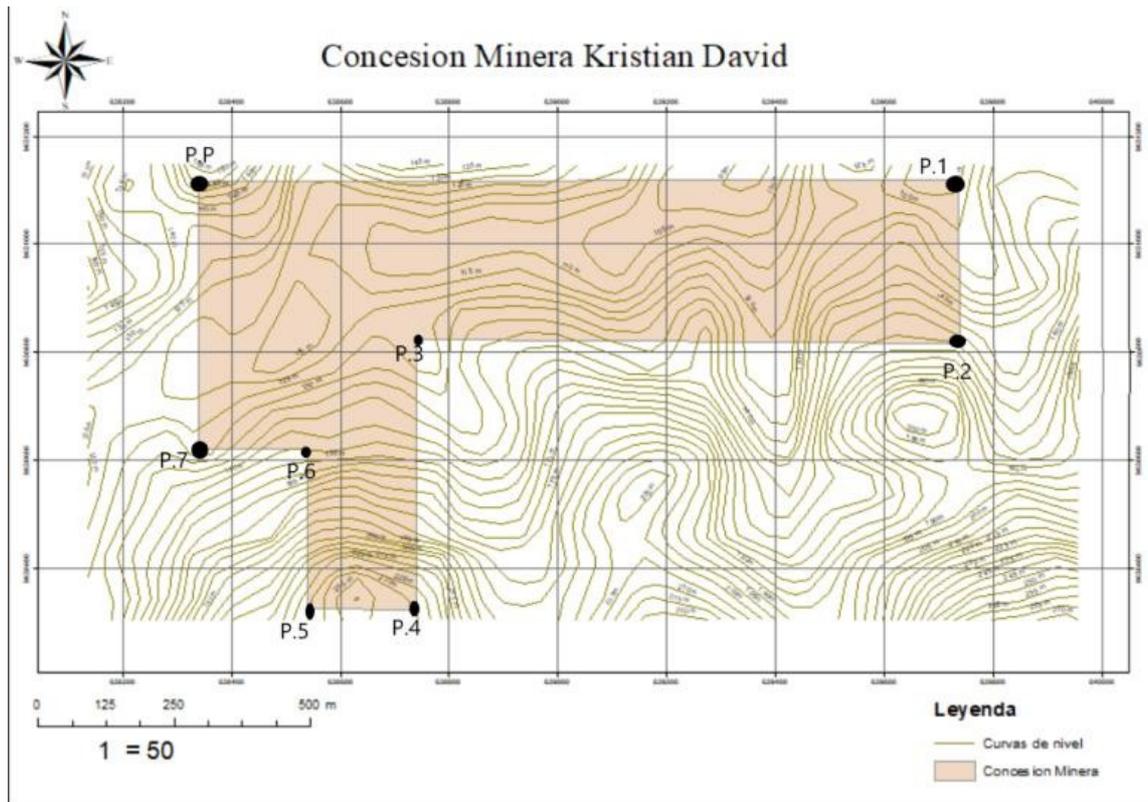
**Fuente:** Elaboración propia.

### 1.8.3. Gestión de datos

Para poder representar gráficamente la topografía en interior mina y exterior mina, es necesario realizar un levantamiento topográfico de las galerías de la mina e infraestructura. Lo que permitirá conocer el dimensionamiento de la mina y sus labores reales.

## 1.9. Levantamiento topográfico del contrato minero

El contrato otorgado a la empresa “Kristian David”, tiene una extensión de 560000 m<sup>2</sup> o 56 hectáreas.



**Figura 1.12:** Concesión minera Kristian David.

**Fuente:** Elaboración propia.

Esta toma de vértices o puntos geográficos se obtuvieron luego de un recorrido sobre toda la limitación de la concesión y fueron marcados por medio de hitos. Para obtener los puntos se dispuso de un dispositivo Garmin eTrex10.

Las coordenadas geográficas de ubicación del contrato se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 1.4:** Coordenadas geográficas de ubicación de la concesión minera Kristian David

<b>COORDENADAS UTM – DATUM PSAD 56</b>			
<b>VERTICES DE LA CONCESIÓN MINERA KRISTIAN DAVID</b>			
<b>VERTICE</b>	<b>ESTE (X)</b>	<b>NORTE (Y)</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>
<b>P.P.</b>	638600	9631500	P.P. - 1 = 500
<b>P.1</b>	638600	9631000	1 - 2 = 200
<b>P.2</b>	638800	9631000	2 - 3 = 300
<b>P.3</b>	638800	9630700	3 - 4 = 200
<b>P.4</b>	639000	9630700	4 - 5 = 500
<b>P.5</b>	639000	9631200	5 - 6 = 1000
<b>P.6</b>	640000	9631200	6 - 7 = 300
<b>P.7</b>	640000	9631500	7 - P.P = 1400

**Fuente:** Informe de producción concesión minero KRISTIAN DAVID.

### 1.10. Levantamiento topográfico de interior mina

Para el levantamiento topográfico de interior mina se emplearon 3 dispositivos: una cinta métrica de 50m de largo, una estación total GM-102 y una brújula Brunton.



**Figura 1.13:** Equipos para levantamiento topográfico cinta métrica de 50 m de largo, una estación total GM-102 y una brújula Brunton.

**Fuente:** Elaboración propia

La topografía dentro de la mina se la realizó con una brújula, cinta métrica si se trataba de galerías totalmente horizontales y en el caso de los piques, rebajes o pozos a 45° se utilizó la estación total.

La mina está compuesta por tres niveles, los cuales para el levantamiento topográfico han sido nombrados de forma correspondiente a su medición, en orden de: primero, segundo y tercer nivel. Las labores mineras actualmente se encuentran en el tercer nivel.

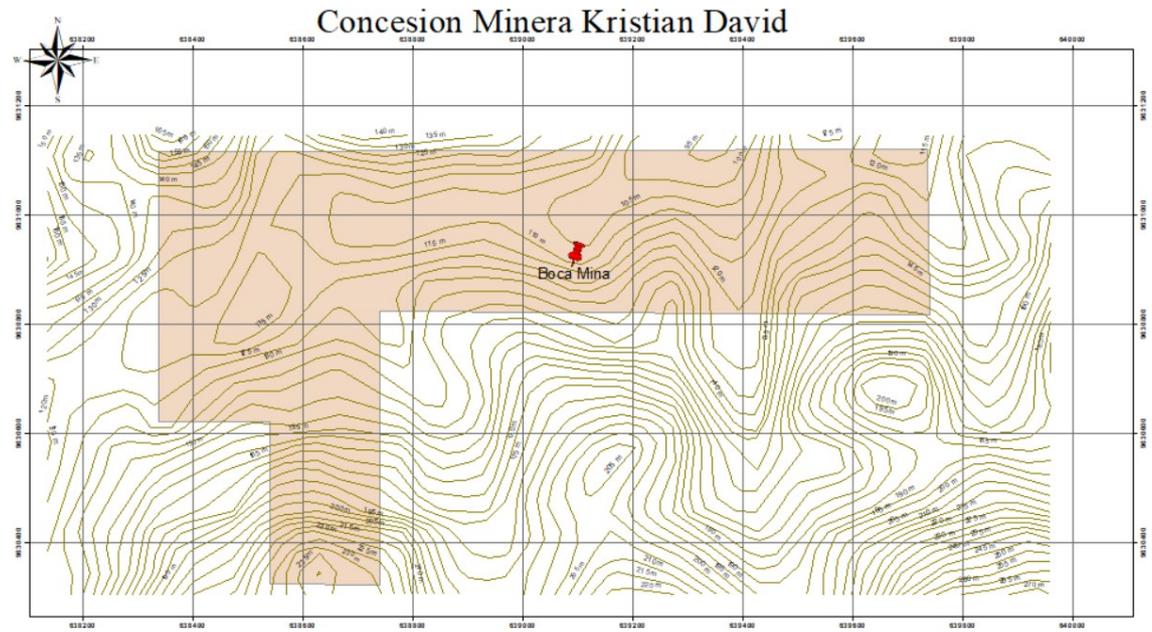
Paso a paso se fue realizando el levantamiento topográfico de interior mina. Los espacios levantados se midieron para obtener las dimensiones y la distribución de las labores.

La ubicación geográfica de la boca mina: se realizó con informes de la mina y con el GPS Garmin eTrex10 se determinó las coordenadas del WGS84, así como la altura de la misma.

**Tabla 1.5:** Coordenadas geográficas de la boca mina de la concesión minera Kristian David

<b>COORDENADAS UTM – DATUM PSAD 56</b>			
<b>DE LA BOCA MINA DE LA CONCESIÓN MINERA KRISTIAN DAVID</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>ALTURA (msnm)</b>
<b>1</b>	639102.00	9630919.00	113

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 1.14:** Ubicación de la boca mina de la empresa Kristian David.

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se presenta el mapa topográfico de toda la mina.

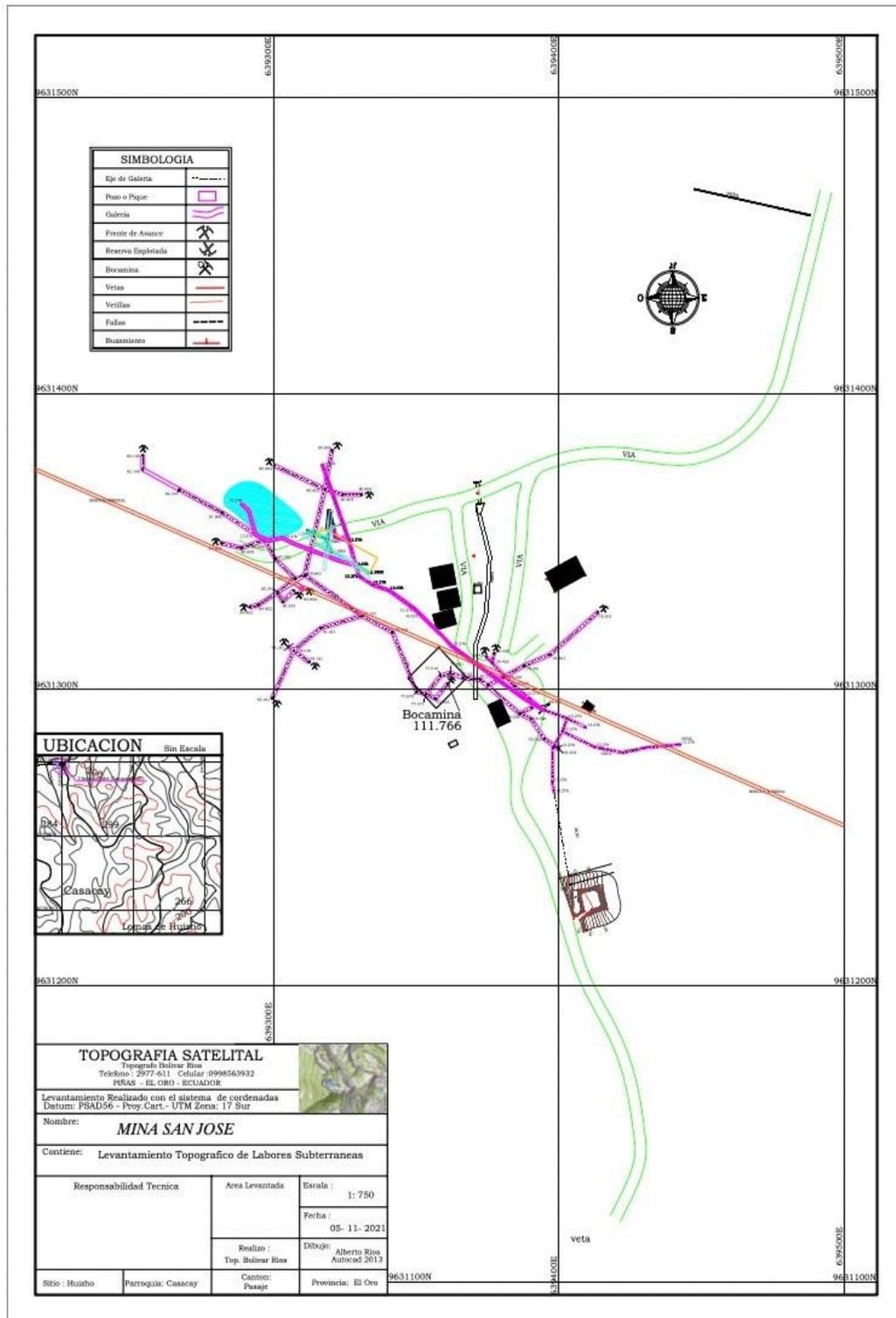


Figura 1.15: Plano topográfico de todas las labores de la boca mina de la empresa Kristian David.

Fuente: Ing. Bolívar Ríos software AutoCAD.

**Topografía primer nivel:** para el ingreso al primer nivel es necesario bajar por el pique de tránsito de personal, este nivel se comunica directamente con la superficie

por medio de dos piques, uno que es usado para el tránsito de personal y otro para transporte de materiales (mena, ganga, repuestos, manga de aire, mangueras de electricidad, mangueras de aire comprimido), en este nivel se encuentra 4 carros mineros de capacidad de 1 tonelada. Se encuentra a una profundidad de 50 m y actualmente se encuentra totalmente explotado, aunque si existen estribos minerales que sirven para soporte de las galerías. En el primer nivel se encuentra un pique que une el segundo nivel el cual es utilizado como galería de acceso a las labores y tránsito de personal. En el primer nivel se puede encontrar el sistema de electricidad en interior mina, sistema de izaje (un Winche), labores antiguas, así como una tolva de stock de mineral.

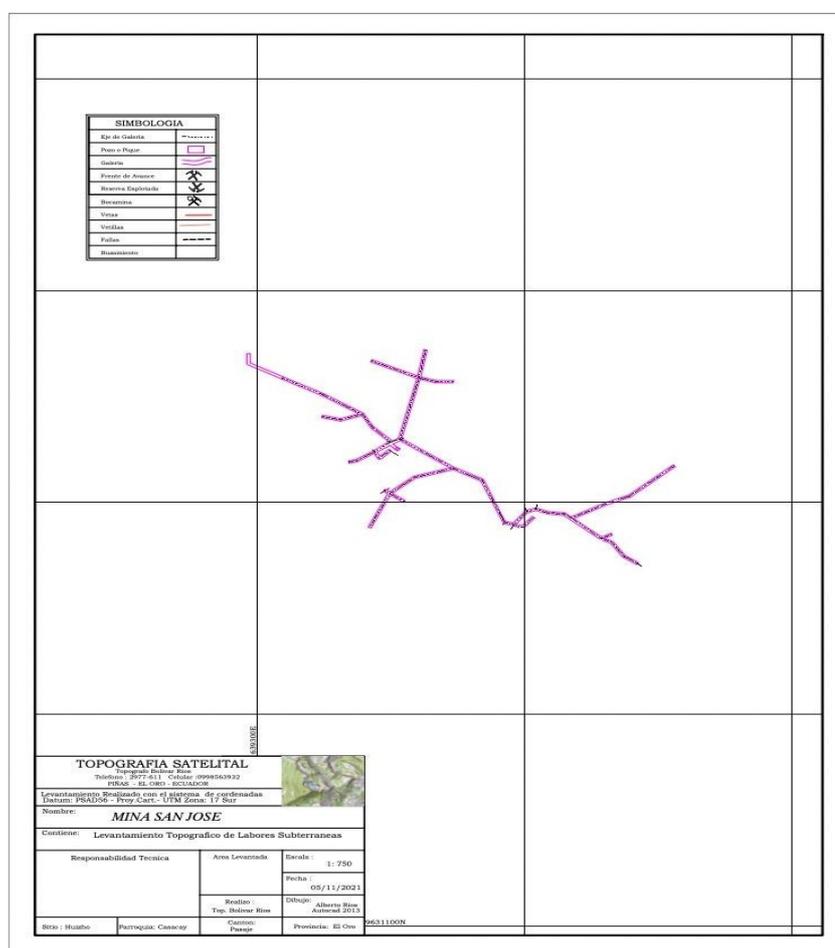


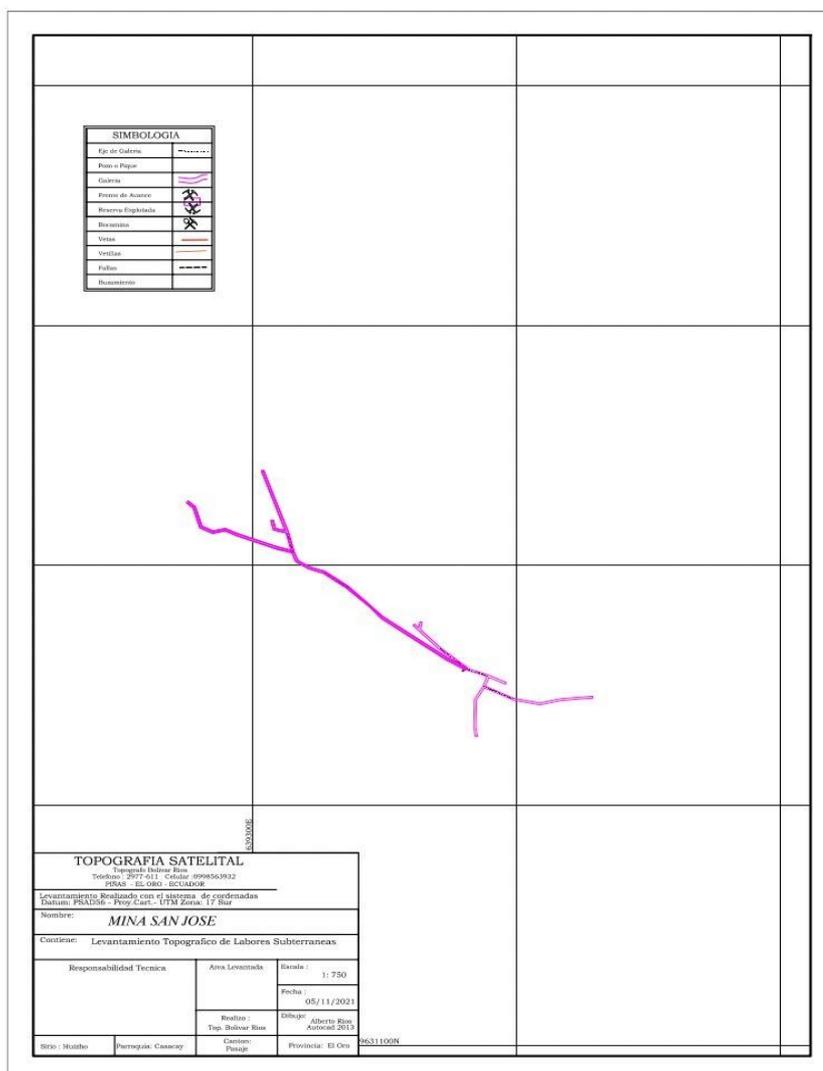
Figura 1.16: Plano topográfico del primer nivel.

Fuente: Ing. Bolívar Ríos software AutoCAD.

**Topografía segundo nivel:** se encuentra a 100 m de profundidad del primer nivel, actualmente se encuentran galerías ya explotadas con estribos que sirven para sostenimiento de la galería, en este nivel se tienen 3 carros mineros con capacidad de

1 tonelada, en este nivel se tiene un pique que comunica directamente al tercer y último nivel.

Este nivel sirve como galería de acceso principal para las labores mineras de carguío y transporte, así mismo, como para tránsito de personal. El levantamiento topográfico se lo realizo con la estación total y la brújula.



**Figura 1.17:** Plano topográfico del segundo nivel.

**Fuente:** Ing. Bolívar Ríos software AutoCAD.

**Topografía tercer nivel:** este nivel se encuentra a 70m de profundidad del segundo nivel, es decir, se encuentra a 220 m de profundidad de la superficie, en este nivel se pueden realizar las labores de perforación y voladura, además se encuentran los dos frentes de explotación que son explotados actualmente, para el transporte del mineral

es un sistema de izaje (un winche) por medio de un pique que también sirve para tránsito de personal.

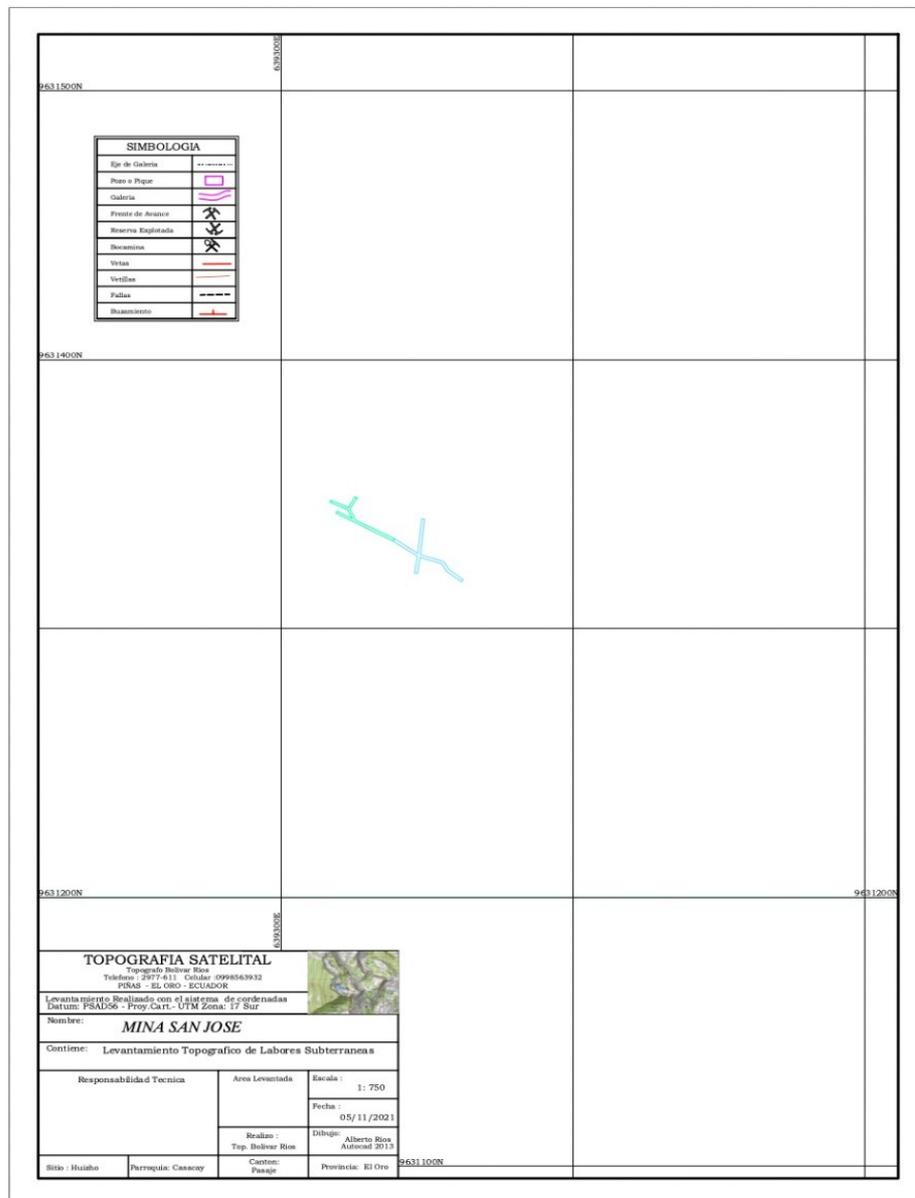
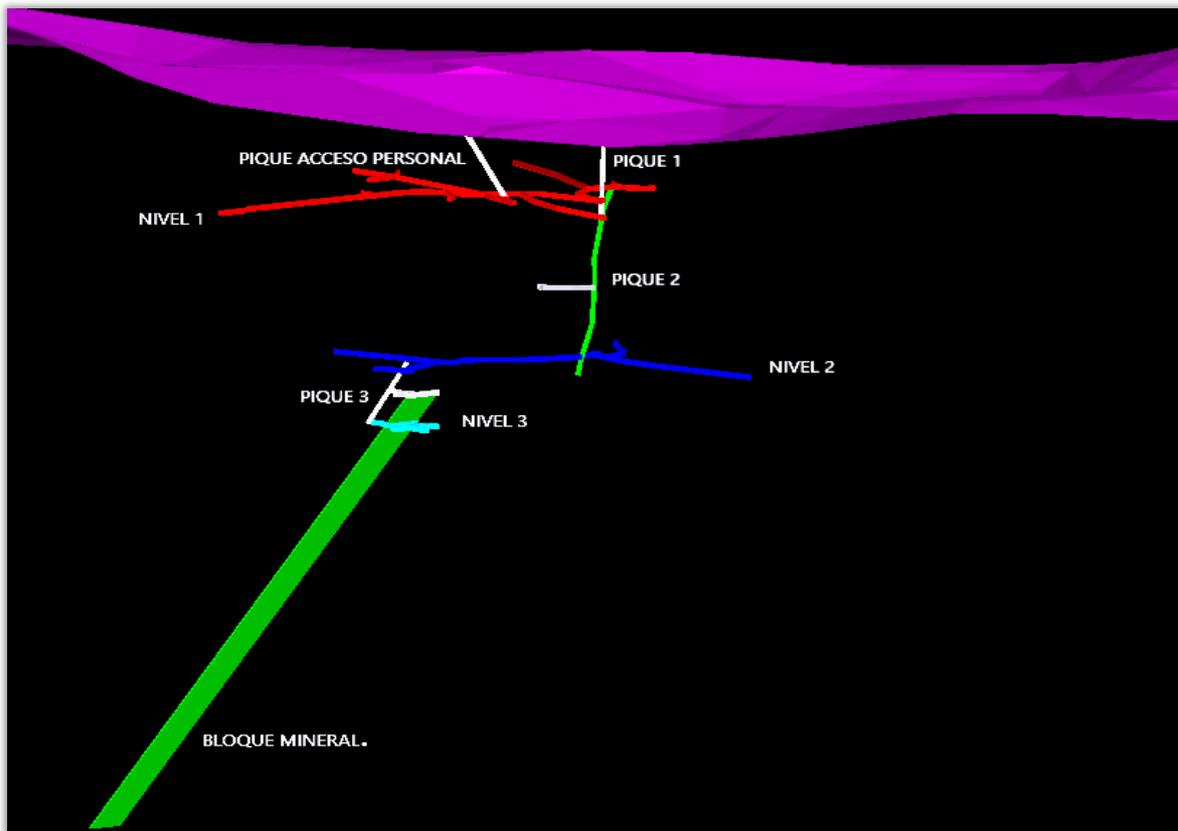


Figura 1.18: Plano topográfico del tercer nivel.

Fuente: Ing. Bolívar Ríos software AutoCA

### 1.11. Datos de levantamiento topográfico

Una vez ya obtenidos todos los puntos topográficos de cada sección de los tres niveles de la mina, se procedió a digitalizar y posteriormente modelar el sistema de explotación en el software minero RecMin.



**Figura 1.19:** Niveles de la mina y su topografía 3D.

**Fuente:** Elaboración propia en software minero RecMin.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

La minería es la actividad que mediante procesos mecánicos, físicos y químicos; busca de manera óptima la extracción, explotación, tratamiento, beneficio y comercialización de productos minerales metálicos y no metálicos.

La Minería es calificada como: industria extractiva, alto riesgo, localización determinada, relación producto- desperdicio.

- **Industria extractiva:** los recursos son aprovechados por la actividad minera, no son renovables, por esta razón la minería es una actividad que se maneja con responsabilidad, uso de tecnología y medidas técnicas que permiten obtener el máximo aprovechamiento posible del yacimiento. (Estudios mineros del Perú S.A.C., 2004)
- **Alto riesgo:** un proyecto minero cuenta con dos etapas: la primera es la búsqueda del recurso mineral, la cual inicia con la prospección y abarca hasta la exploración avanzada; y varía según los factores geológicos, topográficos, naturales, etc. La siguiente etapa mineral es la evaluación o análisis económico; que depende de la calidad y cantidad de mineral, inversión inicial, así como también el precio del metal. (Estudios mineros del Perú S.A.C., 2004)
- **Localización determinada:** una de las mayores peculiaridades de la minería y que la diferencia de otras actividades económicas, es que se desarrolla de manera In situ, siendo una actividad descentralizada y generadora de puntos de desarrollo internos para un país. (Estudios mineros del Perú S.A.C., 2004)
- **Alta relación entre producto y desperdicio:** la distribución natural de los minerales es heterogénea, situando valores de ley de forma aleatoria dentro del yacimiento; esto genera que la cantidad de Mena (mineral) a extraer, misma que cuenta con valores rentables (ley alta), sea de menor porcentaje en la relación Mena/ganga (material estéril). (Estudios mineros del Perú S.A.C., 2004)

Un proyecto minero se divide en etapas o fases, cada una genera indicadores que determinan su viabilidad. No se puede manejar una etapa de manera individual, todo

debe estar conectado, y cada una debe ser respetada y realizada en su debido momento, iniciando una nueva fase cuando la otra se termine (Griem-Klee, 2016).

## 2.1. Yacimientos minerales

Debido a la presión interna generada al interior de la tierra, se generan procesos geológicos, que permiten la fluidez del magma hacia la superficie; cuando el magma queda atrapado internamente, da paso a la creación de formaciones plutónicas; donde se observa la presencia de minerales de interés económico. (Vasallo, 2008)

Las etapas que tienen lugar en la minería son:

- **Prospección:** son actividades realizadas con la búsqueda de una probable mineralización en un área determinada. Se realizan actividades como: mapeo de superficie, estudios geofísicos y geoquímicos, etc.
- **Exploración:** es el conjunto de procesos que determinan la cantidad de reservas posibles, probables y probadas de un depósito mineral. Se realizan labores de: extracción y perforación de testigos, análisis económicos, evaluaciones de reservas, modelado de crecimiento, etc.
- **Producción y explotación:** la explotación es la selección de sistemas y técnicas adecuadas para la extracción selectiva del mineral, busca extraer de forma rentable la mayor cantidad posible de Mena siendo una explotación subterránea o a cielo abierto. La producción busca convertir la mina en elementos minerales óptimos para su comercialización, empleando métodos hidrometalúrgicos o pirometalúrgicos.
- **Cierre y abandono de mina:** consiste en la finalización de las actividades mineras y en el desmontaje de toda la infraestructura utilizada para la realización de toda la actividad minera, incluye también la reparación ambiental de los daños causados al suelo por la construcción de las instalaciones; de igual manera incluye planes de desarrollo para las comunidades y que no se vean afectadas para la culminación del proyecto (Griem-Klee, 2016).
- Los yacimientos minerales presentan grandes variaciones en su tamaño, origen, forma, valor económico y contenido mineral, según sea el factor predominante, se determinará el tipo de yacimiento. En la clasificación de los yacimientos, predomina en las clasificaciones por su forma, sustancia y genética.

Una clasificación basada en este concepto sería:

- **Yacimientos regulares:** capas (carbón) y filones (fisuras, estratos, contacto, lenticulares).
- **Yacimientos irregulares:** stocks (masas irregulares con límites definidos) e Impregnaciones (masas irregulares con límites indefinidos). (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

Una clasificación más detallada se obtiene mediante clasificaciones genéticas que definen el proceso geológico que dio paso a la formación del yacimiento y, posteriormente a la concentración mineral.

Las clasificaciones más empleadas son las de Lindgren (1907 – 1913), Niggli (1988-1953), Schneiderhohn (1931-1941) y Smirnov (1974-1976) presentadas en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1:** Clasificación genética de yacimientos Smirnov (1976).

<b>CLASIFICACIÓN GENÉTICA DE LOS YACIMIENTOS MINERALES</b>		
<b>(Smirnov,1976)</b>		
<b>SERIE</b>	<b>GRUPO</b>	<b>CLASE</b>
<b>ENDÓGENA</b>	<b>Magmáticos</b> (polimetálicos)	Licuación
		Magmáticos Tempranos
		Magmáticos Tardíos
	<b>Pegmatíticos</b> (gemas, Li, Sn, tierras raras, W, F, cuarzo, feldespato, micas)	Pegmatitas simples
		Pegmatitas recristalizadas
		Pegmatitas metasomáticas
	<b>Carbonatitas</b>	Magmáticas
		Metasomáticas
		Combinadas
	<b>Skarn</b> (scheelita, casiterita, fluorita, calcopirita, blenda, galena, magnetita, hematita)	Calcáreos
		Magnesianos
	<b>Albita-Greisen</b>	Albita
		Greisen (casiterita, wolframita)
		Plutonogénicos

	<b>Hidrotermales</b> (barita, fluorita, piritita, calcopiritita, blenda, galena, cobres grises, argentita, platas rojas, cinabrio plata, oro, etc.)	Vulcanogénicos
		Amagmatogénicos (teletermales o estratiformes)
	<b>Sulfuros Masivos</b> Vulcanogénicos marinos (Pb-Zn-Cu)	Metasomáticos
		Vulcano-sedimentarios
		Combinados
EXÓGENA	<b>Intemperismo</b>	In situ
		Infiltrados
	<b>Placer</b> (oro, plata, platino, diamante, rubí, zafiro, casiterita, ilmenita, rutilo, mona-cita, granate entre otros)	Eluviales
		Deluviales
		Proluviales
		Aluviales
		Laterales
		Glaciares
		<b>Sedimentarios</b>
	Químicos (sales, yeso)	
	Bioquímicos (carbón, fosforitas)	
	Vulcanogénicos	
	METAMORFOGÉNICA	<b>Metamorfizados</b> (grafito, asbesto)
Metamorfizados de contacto		
<b>Metamórficos</b> (granate, corindón)		

Fuente: Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2017).

### 2.1.1. Yacimientos endógenos

Se consideran yacimientos endógenos aquellos que se generan en profundidades superiores a cuatro kilómetros, estos son relacionados a procesos geoquímicos internos de la tierra.

La liberación de calor interno se da por dos formas: por radiación y por convección, que básicamente se dan por la liberación de calor que es transmitido desde zonas

calientes a zonas frías.

La combinación de estos dos mecanismos son los responsables de los fenómenos internos del planeta, como: fenómenos sísmicos (terremotos), fenómenos magmáticos (volcanismo), además de fenómenos como metamorfismo. Estos dos últimos fenómenos pueden dar origen a rocas o yacimientos (Higueras, P., 2018).

## 2.1.2. Yacimientos exógenos

Se generan en las zonas internas a profundidades no mayores a 4 kilómetros y son relacionados con procesos geoquímicos. Estos yacimientos son formados por la descomposición de material pre-existente por la acción del magma y de presiones internas generadas por las zonas de subducción.

Los yacimientos exógenos se clasifican de la siguiente manera:

**Intemperismo:** formados por la alteración de rocas o depósitos pre-existentes en la zona de oxidación.

- **Placer:** formados durante el intemperismo o destrucción de cuerpos de antiguos yacimientos minerales con minerales químicamente estables, de alta dureza o de peso específico alto.
- **Sedimentarios:** originados como consecuencia de los fenómenos de depósito, en general a distancias más o menos grandes de la roca madre. Estos Depósitos o rocas sedimentarias se clasifican en mayor detalle, en función del proceso sedimentario, siendo los depósitos detríticos los de mayor importancia para la industria minera.
- **Rocas o Depósitos detríticos:** el depósito se origina de forma física, como consecuencia de la pérdida del poder de arrastre del agente de transporte, con lo que las partículas transportadas caen al fondo de la cuenca. Se depositan así los materiales sedimentarios (gravas, arenas) y minerales sedimentarios. Estas rocas o Depósitos de origen sedimentario suelen estar estructurados en capas, están afectados por la deformación tectónica, y suelen presentar una gran extensión lateral, y en general, una potencia (espesor) limitado. (Higueras, 2019)

### 2.13. Yacimientos metamórficos

El metamorfismo es un proceso en el que la elevación de las presiones y temperaturas, junto con el movimiento de fluidos hidrotermales, produce modificaciones en las texturas y la mineralogía de las rocas preexistentes. Estas modificaciones físico-químicas generan yacimientos metálicos, no metálicos y modificaciones en los preexistentes. (Fernández Maroto, 2014)

Los yacimientos asociados a las rocas metamórficas pueden ser de dos tipos:

- Yacimientos metamórficos: formados por procesos metamórficos propiamente dichos, fluidos metamórficos o intercambio de materia.
- Yacimientos metamorfizados: situados entre las rocas que sufren el metamorfismo y son afectados por los cambios de presión y temperatura, que pueden modificar su mineralogía o estructura, dando yacimientos característicos, relacionados íntimamente con las rocas que los contienen. (Fernández Maroto, 2014)

### 2.14. Clasificación de un yacimiento

Para una veraz clasificación de un depósito mineral y su material rocoso asociado, se deberá disponer de información geológica suficiente que incluya estudios de metalogénica, geología histórica de la zona y, sobre todo, de núcleos de barrenación provenientes de una exploración (Smirnov, 1976).

En forma general se pueden identificar los siguientes tipos de depósitos:

- Depósitos Masivos: depósitos de extensión considerable, tanto en sentido horizontal como vertical dentro de los cuales la mineralización está distribuida en forma relativamente uniforme (cobre diseminado, domos salinos)
- Depósitos Estratiformes: depósitos alojados paralelamente a los planos de estratificación de la roca huésped, la cual está formada por rocas sedimentarias (carbón, evaporitas –potasa-, fosforitas).
- Vetas: zonas de mineralización de gran longitud, con un ángulo de buzamiento pronunciado, pueden ser angostas de poca potencia (menos de 3m) y anchas o de

gran potencia (mayor de 3m).

- Cuerpos Lenticulares (clavos): cuerpo mineral en forma de lente que se presenta aisladamente en zonas mineralizadas, alojados dentro de depósitos masivos, mantos o vetas (sulfuros simples).
- Depósitos Tabulares (chimeneas): cuerpos masivos de forma cilíndrica y de dimensiones variables, con un desarrollo vertical significativamente mayor que su extensión horizontal.
- Depósitos de Placer: depósitos sedimentarios superficiales o cercanos a la superficie, generalmente de forma tabular y de extensión considerable (oro, platino, estaño, detritos).
- Detritos: fragmentos de partículas sólidas producidas por desintegración química y/o mecánica de la roca (suelos, gravas, arenas). (López Aburto, V., 1994).

#### **2.1.4.1. Rocas fracturadas con diaclasas**

- Estratos Laminares: cuerpos rocosos generalmente de origen sedimentario, pueden ser estratos delgados (menor de 30 cm) o gruesos (mayor de 30 cm), (lutitas y areniscas).
- Rocas Masivas: conjunto masivo de rocas con o sin fracturas en donde el grado de cementación entre los estratos produce un material rocoso de gran resistencia (brechas y conglomerados). (López Aburto, V., 1994).

## **2.2. Designación de la calidad de la roca (RQD)**

El índice RQD fue desarrollado en 1964 por D. U. Deere. Se determina midiendo el porcentaje de recuperación de testigo en testigos que miden más de 100 mm de longitud. Los testigos que no estén duros o firmes no deben contarse, aunque midan más de 100 mm de longitud. El índice RQD fue introducido para usarse con diámetros de testigo de 54,7 mm (testigo de tamaño NX). Se trata de uno de los principales indicadores para las zonas de roca de baja calidad. En la actualidad, el índice RQD se utiliza como parámetro estándar en el registro de testigos de perforación y es un elemento básico de los principales sistemas de clasificación de masa: el sistema de

clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR) y el sistema Q (SGS S.A., 2021).

**Tabla 2.2:** Tabla de clasificación del índice RQD

<b>Cociente:</b>	$RQD = (\text{Sumade}10) / \text{Itot} * 100\%$
<b>Clasificación:</b>	
<25%	Muy mala
25-50%	Mala
50-75%	Normal
75-90%	Buena
90-100%	Excelente

**Fuente:** (SGS S.A., 2021)

### 2.3. Separación de las discontinuidades

Una discontinuidad es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno. Los planos de discontinuidad de los macizos rocosos condicionan las propiedades y el comportamiento resistente, de deformación e hidráulico. Las discontinuidades brindan un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos provocando que estos sean más deformables y débiles. Las discontinuidades representan planos preferentes de alteración, meteorización y fractura y permiten el flujo de agua (Maza, 2017).

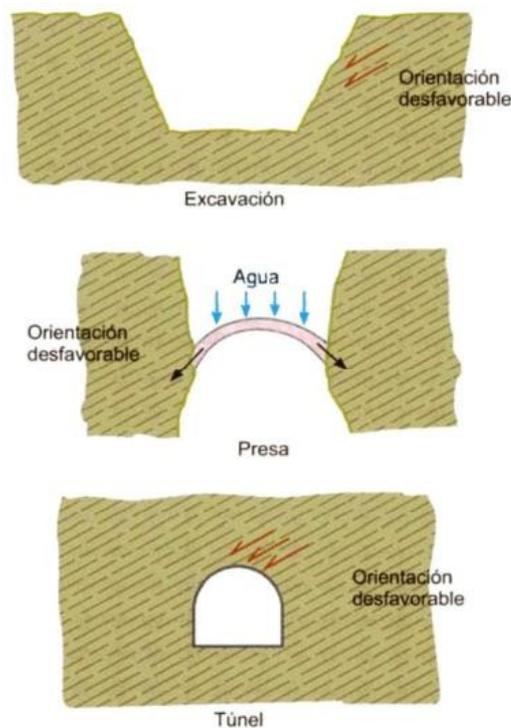
### 2.4. Condición de las discontinuidades

- Caracterización de las discontinuidades
- Orientación
- Separación

- Apertura
- Continuidad (persistencia)
- Características de las superficies de contacto (Universitat Politècnica de Catalunya, 2016).

## 2.5. Orientación de las discontinuidades

La orientación de las discontinuidades con respecto a las cargas aplicadas puede ser crítica para la estabilidad. La filtración de agua también depende de la orientación (Universitat Politècnica de Catalunya, 2016).



**Figura 2.1:** Orientación de las discontinuidades

**Fuente:** (Universidad Politècnica de Catalunya, 2016)

## 2.6. Clasificación mecánica del macizo rocoso (RMR)

La clasificación ha sido desarrollada por entre los años 1972 y 1989 y está basada en mediciones de campo de más de 300 casos de túneles, cavernas y cimentaciones en el mundo. Esta clasificación toma en cuenta seis parámetros básicos que son

- Resistencia de la compresión inalterada (Clasificación universal de Deere y Miller)
- Estado de las fisuras (abertura, continuidad, rugosidad, relleno, estado de las paredes)
- Espaciamiento de las fisuras.
- El rock Quality designation (RQD)
- Las condiciones del agua subterránea
- La orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

Cada uno de estos parámetros tiene un valor numérico que se suma o resta definiendo cinco categorías de calidad de roca.

**Tabla 2.3:** Índice de calidad de la roca RMR

Índice RMR	Clase	Calidad
100 a 80	I	Muy buena
80 a 60	II	Buena
60 a 40	III	Media
40 a 20	IV	Mala
< 20	V	Muy mala

**Fuente:** clasificación geo mecánica RMR (Bieniawski, 1989) (Lapresia, 2014)

## 2.7. Clasificación del macizo rocoso

Para determinar la composición de un macizo rocoso, se puede emplear técnicas químicas o físicas, que permiten la comprensión a detalle del mismo, para posterior a ello realizar los proyectos. En la industria minera, se utilizan parámetros de entrada como: RQD, GSI, RMR; utilizados como parámetros de entrada entre los métodos de diseño y como elementos básicos para el modelamiento numérico.

Cada sistema de clasificación permite conocer los dominios geomecánicos presentes en una mina, y cada una de ellas tiene su propia subdivisión que la hace diferente a otros sistemas. En la actualidad las clasificaciones se han generalizado y son ampliamente utilizadas tanto en fases de diseño como en ejecución de proyectos. (González de Vallejo et al, 2002).

La mayoría de los sistemas de clasificación giran en torno a la cuantificación de parámetros del macizo rocoso, considerados como variables, para posteriormente integrarse como resultado de un índice de calidad; logrando así, mediante observaciones directas y ensayos de campo, tener una aproximación del comportamiento y mecánico del macizo durante las obras presentadas.

Los macizos rocosos presentan comportamientos complejos, debido a los parámetros que influyen en sus propiedades y el carácter discontinuo que presentan. Los sistemas de clasificación aportan un índice de calidad del macizo mediante cuantificación de sus diferentes características, observación directa y sumando la relación de ensayos sencillos (González de Vallejo et al, 2002).

Existen pequeñas limitaciones dificultades en el uso de las clasificaciones geomecánicas; pero, su uso y aplicación de forma correcta y un criterio bien definido lo convierte en una herramienta útil para una ingeniería.

A pesar que han sido varios los sistemas de clasificación que se han creado; los más utilizados son: RMR, RQD y SGI, siendo el resto una variación o adaptación de estos. (Quispe, 2012)

## Sistemas de clasificación geomecánica

**Tabla 2.4:** Métodos de clasificación geomecánica.

NOMBRE	SIGLOS	AUTORES	AÑO	APLICACIÓN
Rock load	-	Terzaghi	1946	Túneles
Stand up prime	-	Lauffer	1958	Túneles
Rock Quality Designation	RQD	De Deer	1967	Testigos - Túneles
Rock Structure Raiting	RSR	Wickham et al.	1972	Túneles
Rock Mass Raiting	RMR	Bieniawski	1973	Túneles - Taludes
Rock Tunneling Quality Index	Q	Barton et al.	1974	Túneles

**Fuente:** (Quispe, 2012)

### 2.8. Topografía

Según (Thomas, 1920) cita a la topografía como el arte de determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie. Además, (Higgins, 1942) señalo a la topografía como el arte de realizar medidas sobre la superficie terrestre con el propósito de elaborar mapas, planos o determinar una superficie.

El equipo a utilizar para realizar el estudio topográfico fue una Estación Total, este es un equipo que tiene la característica de contar con herramientas de medición de distancia entre puntos, de este modo no necesita de metros o cintas. También se puede realizar la medición de ángulos verticales u horizontales, haciendo de esta forma más rápida y eficiente la toma de datos.

#### Elementos generados por los levantamientos topográficos

- **Planos topográficos:** son una representación bidimensional, sea digital o física, de la superficie terrestre sobre un plano. La representación es reducida, focalizada y específica de objetos escalados.

- **Mapas base o mapas topográficos:** estos mapas están normados y deben tener datos informativos de todos los puntos que intervienen dentro del espacio en el cual va a ser representado, estos pueden ser: vías de comunicación, relieve del terreno, red hidrográfica, ubicaciones de sitios y ciudades, ríos y centros poblados (IGAC, 2018).

## 2.9. Sistema de explotación

Un sistema de explotación es un conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan operaciones y actividades destinadas a obtener la mayor cantidad posible de mineral presente en un yacimiento.

Después de haber realizado las labores de exploración y determinación de reservas; la determinación del sistema de explotación se vuelve la mayor prioridad.

Es indispensable la implementación de un sistema de explotación, el cual se adapte a las condiciones del yacimiento; que brinde seguridad al personal; y que genere la producción de material requerido. Debe ser continuamente revisado, con el objetivo de saber si es necesaria la implementación de sostenimiento. (Alfaro, 2009)

Los sistemas de explotación se pueden realizar para: cielo abierto, subterráneo o aluvial.

Este proyecto se basará en un sistema de explotación subterráneo.

Los sistemas de explotación subterráneo se los puede dividir en la siguiente manera:

- **Sostenimiento natural:**
  - Cámaras y pilares (room and pillar).
  - Cámaras por subniveles (sublevel room).
  - Cámaras almacén (shrinkage stoping).
  - Gradadas de retroceso vertical (VCR).
  - Corte y relleno (cut and fill).
- **Por hundimiento**
  - Hundimiento por bloques (block caving).
  - Hundimiento por subniveles (sublevel caving).

- Tajo largo (long wall)
- Tajo corto (short wall)

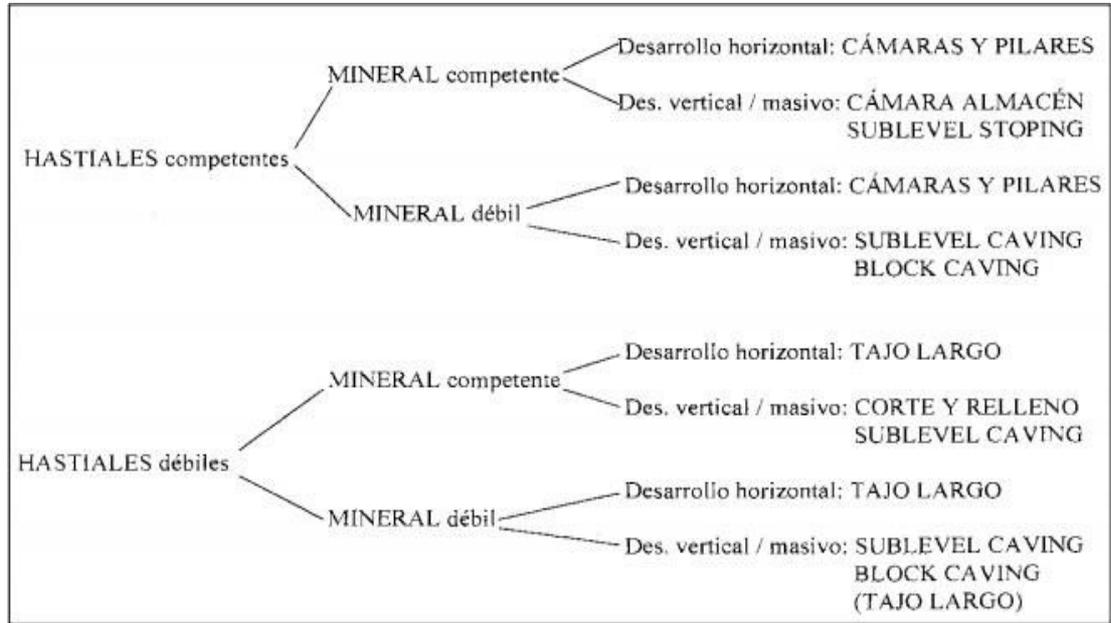


Figura 2.2: Sistemas de explotación subterráneo

Fuente: Métodos de explotación de interior (Husillo, R & Barral, N., 2020).

### 29.1. Sistemas tecnológicos más empleados

Tabla 2.5: Usos de sistemas de explotación más empleados

	CAMARAS Y PILARES	CAMARAS POR SUBNIELES	CORTE Y RELLENO	HUNDIMIENTO
<b>1. SOSTENIMIENTO DE CAMARAS</b>				
Rellenos	rec. pilares	rec. pilares	x	
Bulones	x		x	
Cables cementados	x	x	x	
<b>2. ARRANQUE</b>				
Gravedad				x
Perforación-voladura	x	x	x	x
Arranque mecánico	x			
<b>3. CARGA EN EL FRENTE</b>				
Sistemas continuos	x			
Cargadoras	x			
Scooptram (LHD)	x	x	x	x
<b>4. TRANSPORTE</b>				
Scooptram (LHD)	x	x	x	x
Camiones	x	x	x	x
transporte continuo (cintas...)	x			
<b>5. EXTRACCION</b>	todos	todos	todos	todos
<b>6. SERVICIOS</b>	todos	todos	todos	todos

Fuente: (Diseño de explotación e infraestructuras mineras subterráneas, sf).

### 2.9.1.1. Cámaras y pilares

El sistema de explotación Room and Pillar o también cámaras y pilares, consiste como su nombre lo indica, en la explotación de bloques separados por pilares de sostenimiento. La recuperación de los pilares puede ser parcial o total, en este último caso, la recuperación va acompañada del hundimiento controlado del techo que puede realizarse junto con la explotación o al final de la vida del yacimiento (Aquise,2015)

Este sistema de explotación es aplicado ampliamente, debido a su bajo costo de explotación y a una explotación moderadamente selectiva. Los yacimientos que mejor se presentan para una explotación por Room and Pillar, son aquellos que presentan un ángulo de manto bajo, aunque también es aplicable en yacimientos de manto con ángulos que van entre 30° y 40°, es decir, en yacimientos de manto crítico. (Aquise, 2015)

Para determinar la disposición de los pilares, el tamaño y las dimensiones de la cámara se deben tomar en cuenta:

- Calidad de la roca
- Potencia del yacimiento (ley mineral)
- Geomorfología del yacimiento
- Geometría del yacimiento

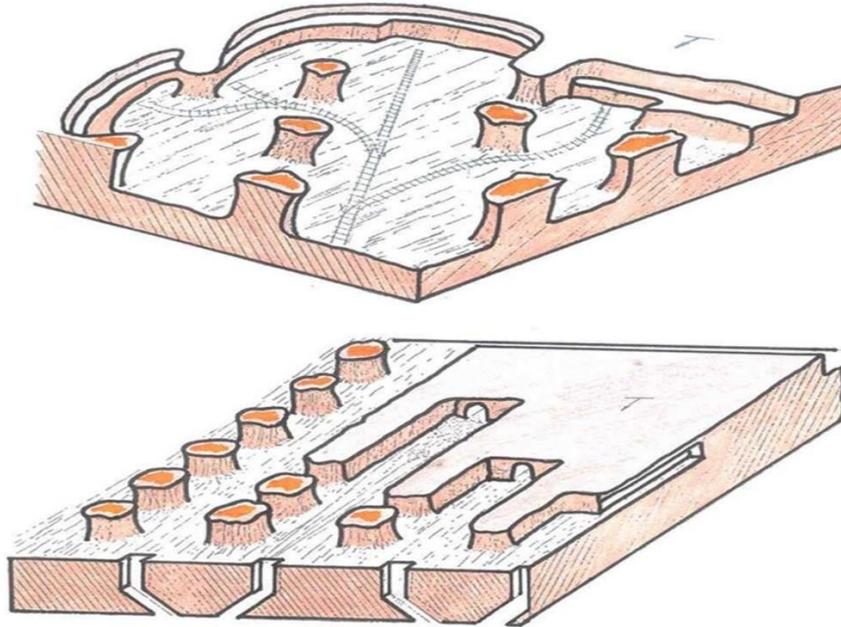
#### **Ventajas:**

- Costo de inversión baja
- Sistema simple
- Estabilidad de forma natural
- Sistema selectivo
- Baja dilución mineral

#### **Desventajas**

- Baja o moderada productividad

- Requiere gran mano de obra
- No se recupera el pilar



**Figura 2.3:** Sistema de explotación de cámaras y pilares

**Fuente:** (Aquise, 2015)

### 2.9.1.2. Cámaras por subniveles

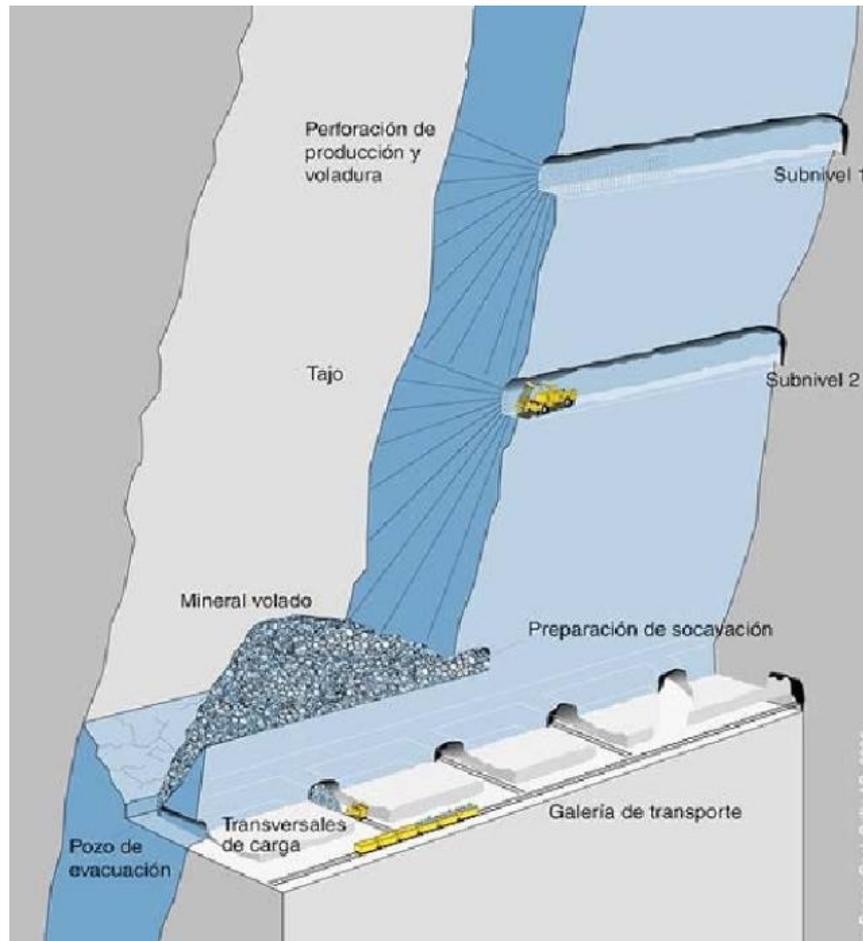
Este sistema es aplicable en yacimientos regulares, es decir con una geometría muy poco variable; además, el mineral y la roca en caja deben ser resistentes al esfuerzo. La principal característica de este sistema es la alta productividad, utiliza muy bien la gravedad para dejar caer el material entre los subniveles, todo el material es almacenado y extraído por un nivel inferior y llevado por medio de sistemas de izaje. Básicamente son dos parámetros los que se toman en cuenta para el diseño de la distancia entre los niveles y cada sub nivel, los parámetros son: el costo de operación y la dilución mineral. Por lo siguiente los costos disminuyen al aumentar la altura, pero al hacer eso también aumenta la dilución, ambos parámetros son directamente proporcionales. La distancia entre niveles oscila entre 90 a 100 m, pero toda la cámara y los sub niveles pueden llegar a tener entre 15 a 30 m de distancia entre cada uno.

Las cámaras longitudinales, al describir una superficie mayor de hastiales, son peores para la dilución que las transversales. Pero estas últimas necesitan unos pilares que representan normalmente el 50% del mineral del yacimiento (UPM, 2007).

Actualmente la distancia entre niveles oscila entre 100 y 130 m para toda la cámara y sus niveles de sitúan de cada 30 m de altura (UPM, 2007).

Últimamente se ha empleado este sistema de yacimientos de poca pendiente, aunque su eficacia es mucho menor. Es posible empelar en yacimientos verticales de poca potencia, hasta un mínimo de 7 m, con sub niveles paralelos a los hastiales. En yacimientos de mayor potencia se pueden trazar las cámaras en dirección perpendicular a los hastiales. En general, el sistema se adapta a las condiciones de cada yacimiento (UPM, 2007).

Debido a la amplia preparación previa que se necesita, es necesario disponer de medios económicos para realizar una fuerte inversión, pero en compensación es uno de los de menor costo y con mayor garantía de seguridad. Estas condiciones deben ser tenidas en cuenta a la hora de elegir el sistema, que por otro lado es uno de los mejores en condiciones adecuadas al macizo rocoso. Es importante seleccionar correctamente la altura del nivel en la preparación de la mina, ya que esto influye en el tamaño óptimo de las cámaras. Esta altura oscila entre 60 y 130 m (UPM, 2007).



**Figura 2.4:** Sistema de explotación, cámaras por subniveles

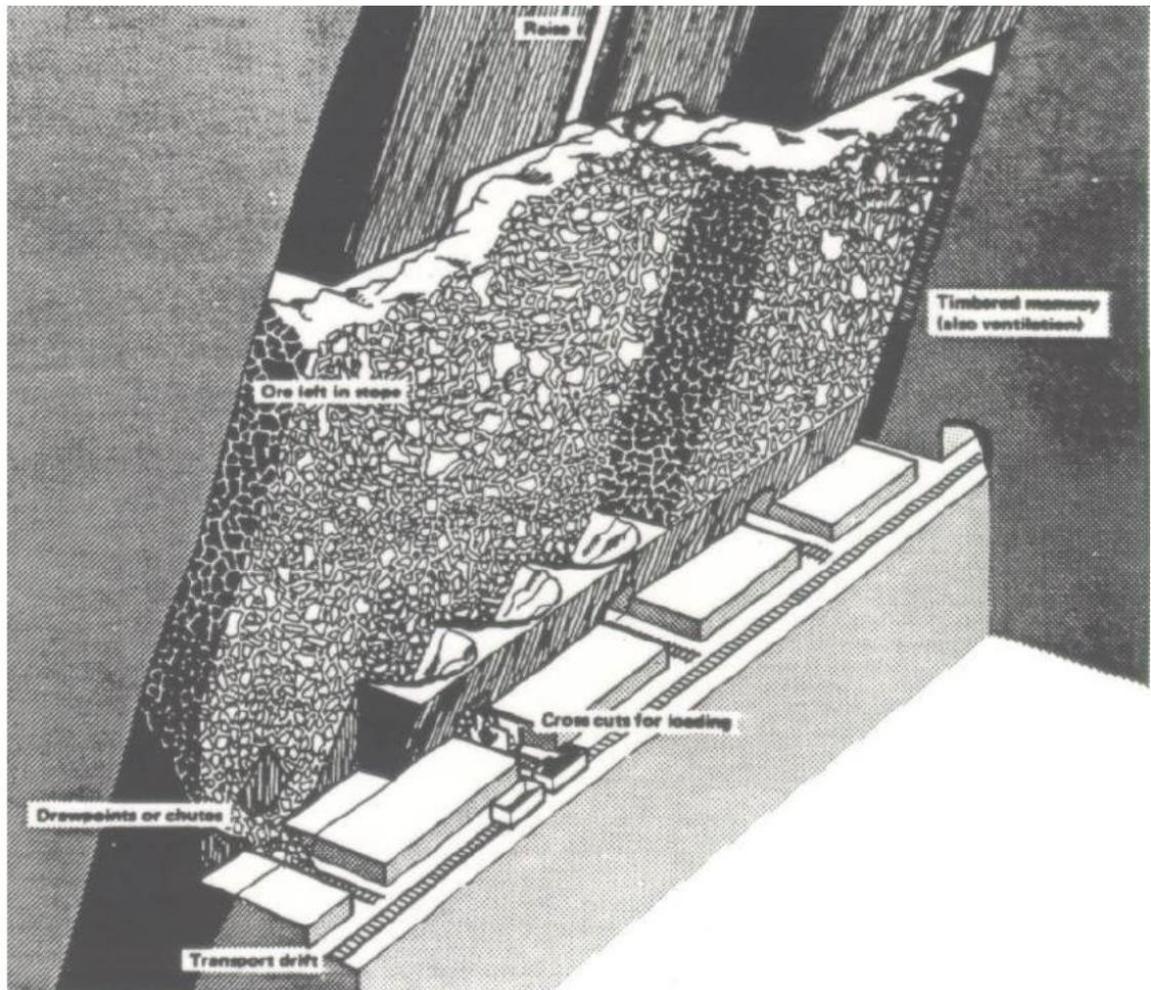
**Fuente:** (Tapia A, 2013)

### 2.9.1.3. Cámaras almacén (shrinkage stoping)

El shrinkage stoping es un sistema de explotación vertical aplicable a vetas, principalmente para los yacimientos con filones estrechos, vetas angostas o en aquellos en el que no pueden emplearse otros sistemas. Este sistema consiste en utilizar el mineral quebrado como piso de trabajo para seguir explotando de manera ascendente. Este mineral provee además soporte adicional de las paredes hasta que el yacimiento se completa y queda listo para ser vaciado.

Los yacimientos se explotan ascendentemente en tajadas horizontales, sacando solamente el 35% que se esponja y dejando hasta el momento del vaciado el resto (65%). Es un sistema intensivo en mano de obra, difícil de mecanizar (Maquera, 2019).

Se aplica generalmente a vetas angostas de 1.2 m a 30 m o a cuerpos donde otros sistemas o técnicas son económicamente inviables. Para asegurar que el mineral fluya, el mineral no debe tener presencia de arcillas, ni debe oxidarse rápidamente, generando cementación. El cuerpo mineralizado debe ser continuo para evitar la dilución. El estéril debe extraerse (Maquera, 2019).



**Figura 2.5:** Sistema de explotación, cámaras almacén (shrinkage stoping)

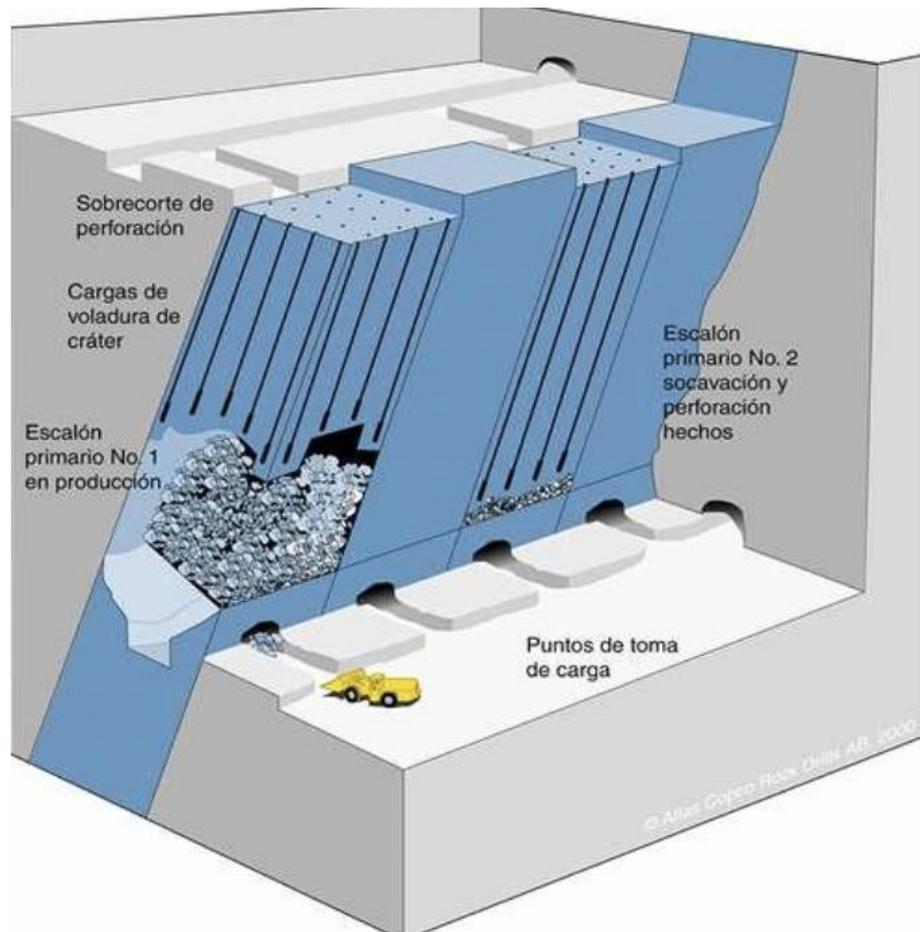
**Fuente:** (Olivares H, 2013)

#### 2.9.1.4. Gradadas de retroceso vertical (VCR)

Explotación de gradadas de retroceso vertical, Vertical Cráter Retreat (VCR), es un sistema de explotación que se usa desde hace pocos años. El principio se basa en una

singular técnica de voladura, es decir voladura de cráter. Dicho sistema está patentado en Canadá y es similar al de Cámaras-Almacén (UPM, 2007).

El mineral se excava en subniveles horizontales y las labores de arranque comienzan desde abajo y avanzan en sentido ascendente. El mineral fracturado puede permanecer en la galería soportando los hastiales (UPM, 2007).



**Figura 2.6:** Sistemas de explotación, hundimiento por bloques

**Fuente:** (Muñoz del Pino, E., 2002)

El mineral se extrae desde el fondo de la galería, se perfora a través de un sistema de tolvas siendo una técnica similar al sistema de cámaras de almacén. El mineral, dentro de una galería, se perfora hacia abajo desde la sobre excavación, con martillos en fondo.

Los barrenos que llegan a la excavación, tienen un diámetro de 170 mm, son paralelos entre sí y se cargan desde la sobre-excavación con cargas concentradas especiales, situadas a una distancia fija por encima del frente horizontal inferior de la galería. La voladura fragmenta el mineral a un tamaño tal, que el mismo puede ser manipulado por cargadores LHD.

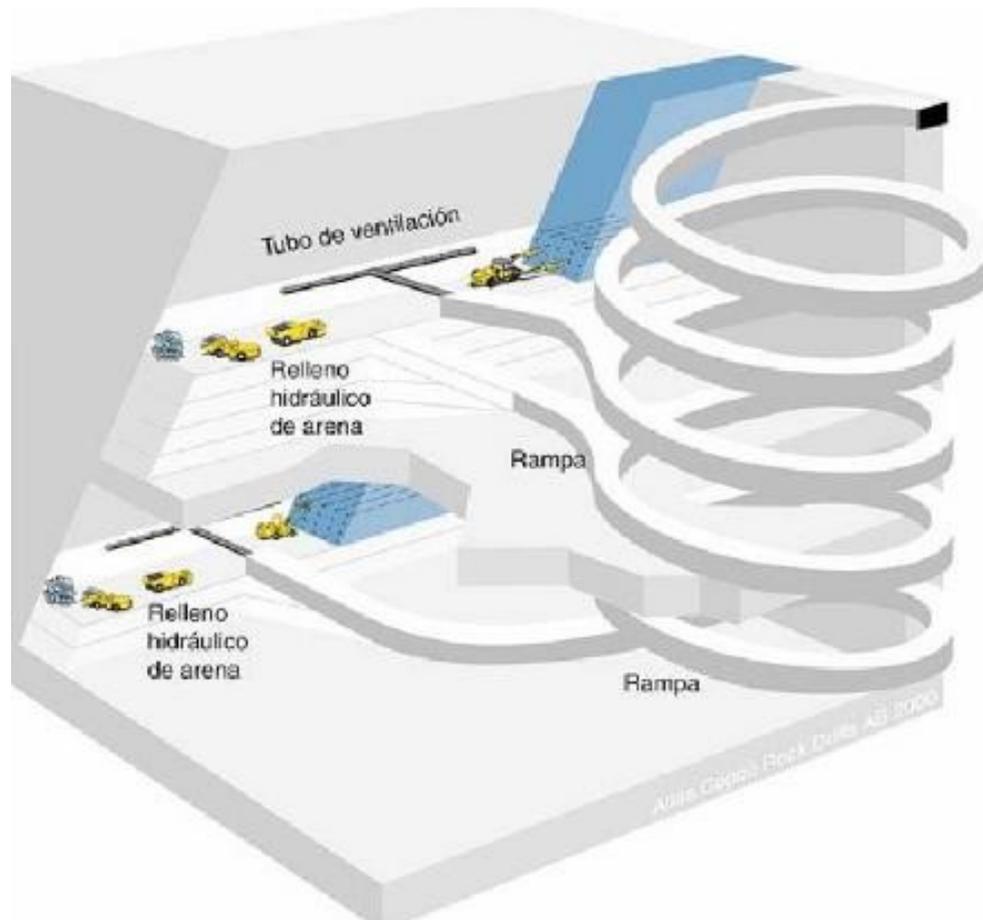
La Explotación por gradas en retroceso vertical depende en técnicas de carga y voladura que otros sistemas de explotación. Es importante que esta fase de la operación sea desarrollada y refinada en la mina para que funcione con seguridad. Una voladura que no rompa la franja completa de mineral puede significar que esa parte del mineral debe ser sacrificado (UPM, 2007).

#### **2.9.1.5. Corte y relleno**

La característica del sistema es el ciclo repetido perforación, voladura, carga y relleno. El mineral que se extrae se encuentra atrapado por secciones horizontales o inclinadas, y se trabaja en sentido ascendente desde la galería base (Minerosoy, 2016).

A medida que el mineral es extraído; el espacio o cavidad que se produce al extraer el mineral, es relleno con material estéril, en proporción adecuada para continuar con las labores, o bien puede ser el caso que, se realice por completo la extracción y luego se hace el relleno completo de la cámara (Herrera Herbert, 2020).

El tipo de material utilizado para el relleno suele ser el mismo material estéril, proveniente de la roca de caja, o por labores preparatorias de la mina, en ciertos casos, si existe una mayor inversión, y, de ser requerida mejores sistemas de relleno por condiciones geológicas y que puedan afectar la estabilidad de la cámara, el relleno se lo hace con arena, grava o cemento (Herrera Herbert, 2020).



**Figura 2.7:** Sistemas de explotación, corte y relleno.

**Fuente:** (Tapia A, 2013)

Debido a la facilidad del sistema, la recuperación de mineral y también porque se puede aplicar en yacimientos verticales y sub horizontales, lo ha vuelto uno de los sistemas más extendidos y aplicados de la minería metálica moderna.

El sistema puede ser utilizado como una variante al sistema de subniveles, debido a las similitudes al inicio de la elaboración de los sistemas. Si en una planificación se determina realizar cámaras por sus niveles, puede que en la práctica las propiedades del macizo determinen que se pueda alternar técnicas entre los sistemas.

A retirar el material de la cámara se deben realizar cámaras pequeñas; para almacenar mineral y luego hacer vertido en vagones y ser retirados a la superficie; para almacenar el mineral, por lo general los buzones son colocados entre 20 a 25 m (Herrera Herbert, 2020).

Sus principales ventajas son que la recuperación es cercana al 100%, siendo mucho más selectiva que el sistema de cámara de subniveles o el sistema VCR, lo que significa que se pueden trabajar las secciones de alta ley dejando sin explotar las zonas de baja ley. Es una opción interesante cuando se tiene una forma irregular y una mineralización dispersa. Es un sistema seguro que puede alcanzar un alto grado de mecanización (Herrera Herbert, 2020).

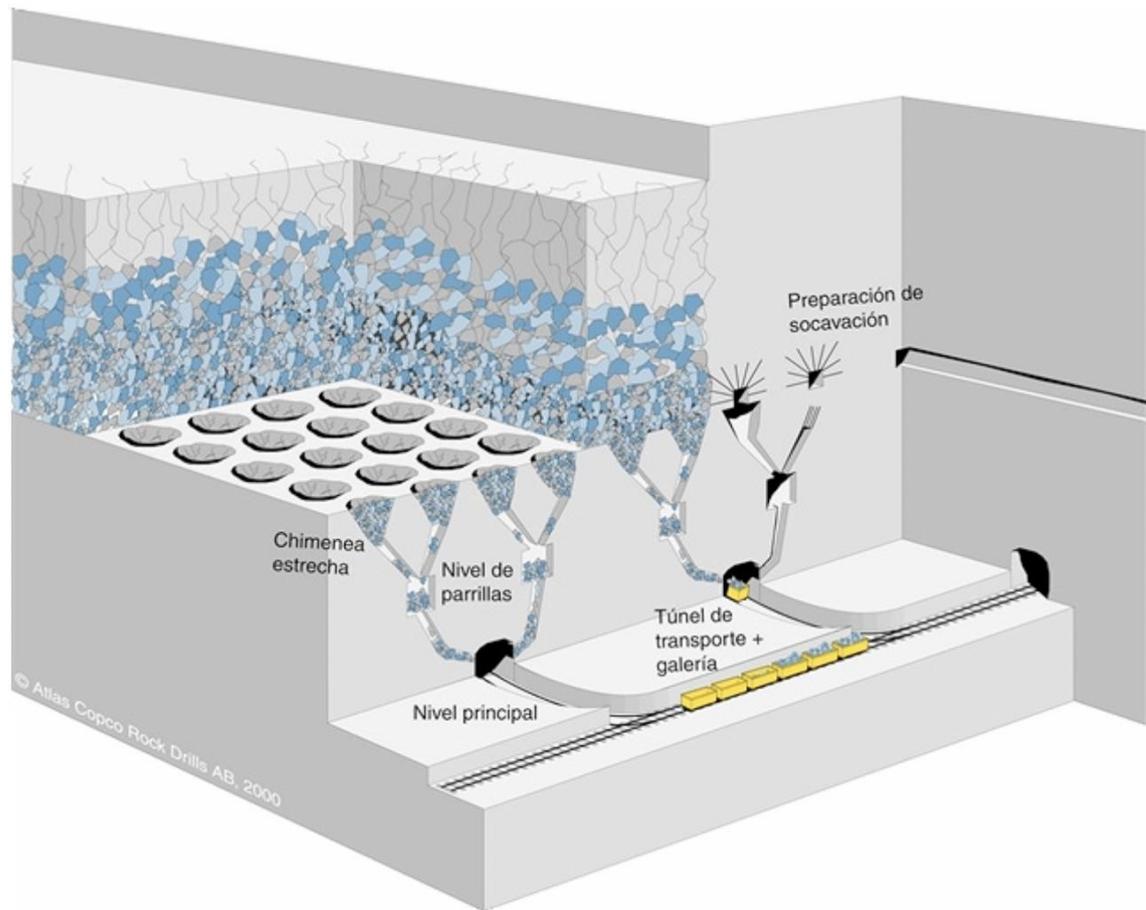
## **2.9.2. Por hundimiento**

Dentro de los sistemas de explotación se toma en cuenta dos sistemas: hundimiento por bloques y hundimiento por subniveles.

### **2.9.2.1. Hundimiento por bloques**

Este sistema se emplea en vestimentas de grandes dimensiones, preferentemente horizontales o sub horizontales, se divide en bloques o sectores, y cada bloque es extraído desde su base.

Para acceder al bloque y fragmentarlos en redes pequeñas de chimeneas y galerías, que permitan una correcta facturación del mineral, la perforación se realiza desde la parte inferior, de ese modo la zona de fractura asciende progresivamente mientras se continúa la perforación; el material se quebranta y la fragmentación mejora, permitiendo la extracción del mineral en la parte baja del bloque, en puntos de cargas previamente construidos (Minerosoy, 2016).



**Figura 2.8:** Sistemas de explotación, hundimiento por bloques

**Fuente:** (Muñoz del Pino, E., 2002)

Para poder aplicar el sistema se requiere que tenga las siguientes condiciones:

- Que el mineral a explotar fragmente naturalmente bien. Que la roca encaja antes era bastante resistente, toda la infraestructura se sostendrá sobre ella.
- Un yacimiento de grandes dimensiones.

Entre los principales yacimientos y los más comunes que permitan realizar el sistema están: mineral de hierro y minerales muy dimensionados en zonas desérticas.

**Ventajas del sistema son:**

- Bajo costo de producción.
- Producción elevada.
- Puedes mejorar las condiciones aumentando la eficacia y seguridad del trabajo.
- Frecuencia de accidentes baja.

**Las desventajas del sistema son:**

- La preparación larga del bloque hasta la etapa de extracción.
- Dilución alta del mineral, así como, la pérdida del mismo.
- Dificultades para la descarga del mineral.
- No es un sistema que facilita la selectividad del mineral, se extraen zonas de alta y baja ley a la vez.
- Rápida oxidación de mineral.

**2.9.2.2. Hundimiento por sub niveles**

Este sistema se emplea en yacimientos de forma vertical o tubular, de gran espesor, masivos o que cuentan con una potencia considerable, mayor a los 20 m; este sistema se divide en bloques o sectores, y cada bloque es extraído de su base.

La roca mineralizada debe presentar condiciones de excelentes de estabilidad, dureza y resistencia, para evitar que las grandes cámaras generadas por el hundimiento lleguen a colapsar (Labanda, 2018).

Para lograr llegar a la roca mineralizada, se debe primero elaborar sub niveles, desde los cuales se empieza delimitar los bloques a ser fragmentados, se accede a la parte media del bloque y se perfora en todas las direcciones posibles, para lograr así una mayor fragmentación, al final se extrae todo el material por un nivel inferior o base (Labanda, 2018).

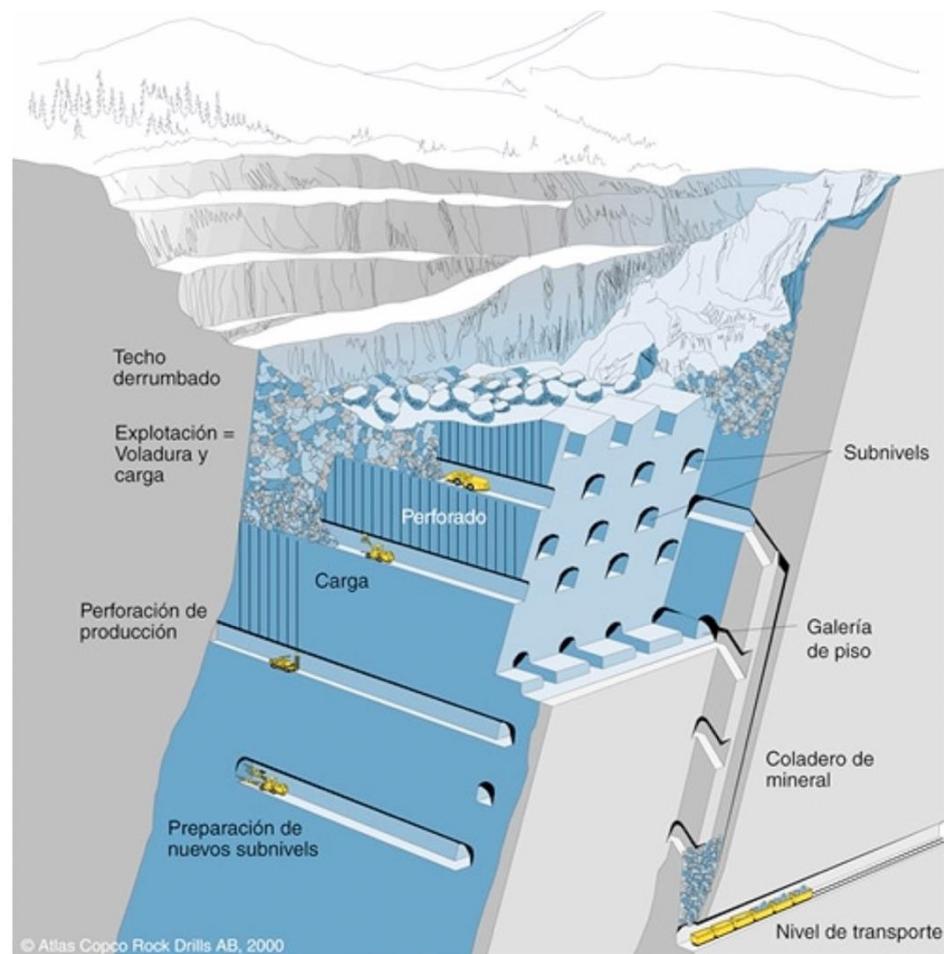
El mineral se recolecta en buzones con forma de embudo, que son emplazados en la base del mismo nivel inferior, con ello se facilita la extracción del mineral y se logra la optimización del sistema (Labanda, 2018).

**Ventajas del sistema:**

- Permite aplicaciones mecanizadas.
- Alta productividad.
- Sistema seguro y fácil de ventilar.
- Recuperación sobre el 90%.
- Dilución baja menor al 20%.

**Desventajas del sistema:**

- Intensivo en capital, bastante desarrollo antes de iniciar la producción.
- No selectivo.
- Aplicable sólo en criaderos verticales.



**Figura 2.9:** Sistemas de explotación, hundimiento por subniveles

**Fuente:** (Muñoz del Pino, E., 2002)

### **293. Tajo largo (long wall)**

En la aplicación por tajos largos se extrae el mineral a lo largo de un frente de trabajo derecho con una extensión longitudinal grande.

El área de arranque cerca del frente se mantiene abierta para dar espacio para el personal y el equipo de explotación.

Se puede dejar que se hunda el techo a cierta distancia detrás del frente de trabajo. La explotación de tajos largos es aplicable a yacimientos de poca potencia y estratificados con un espesor uniforme y una extensión horizontal grande.

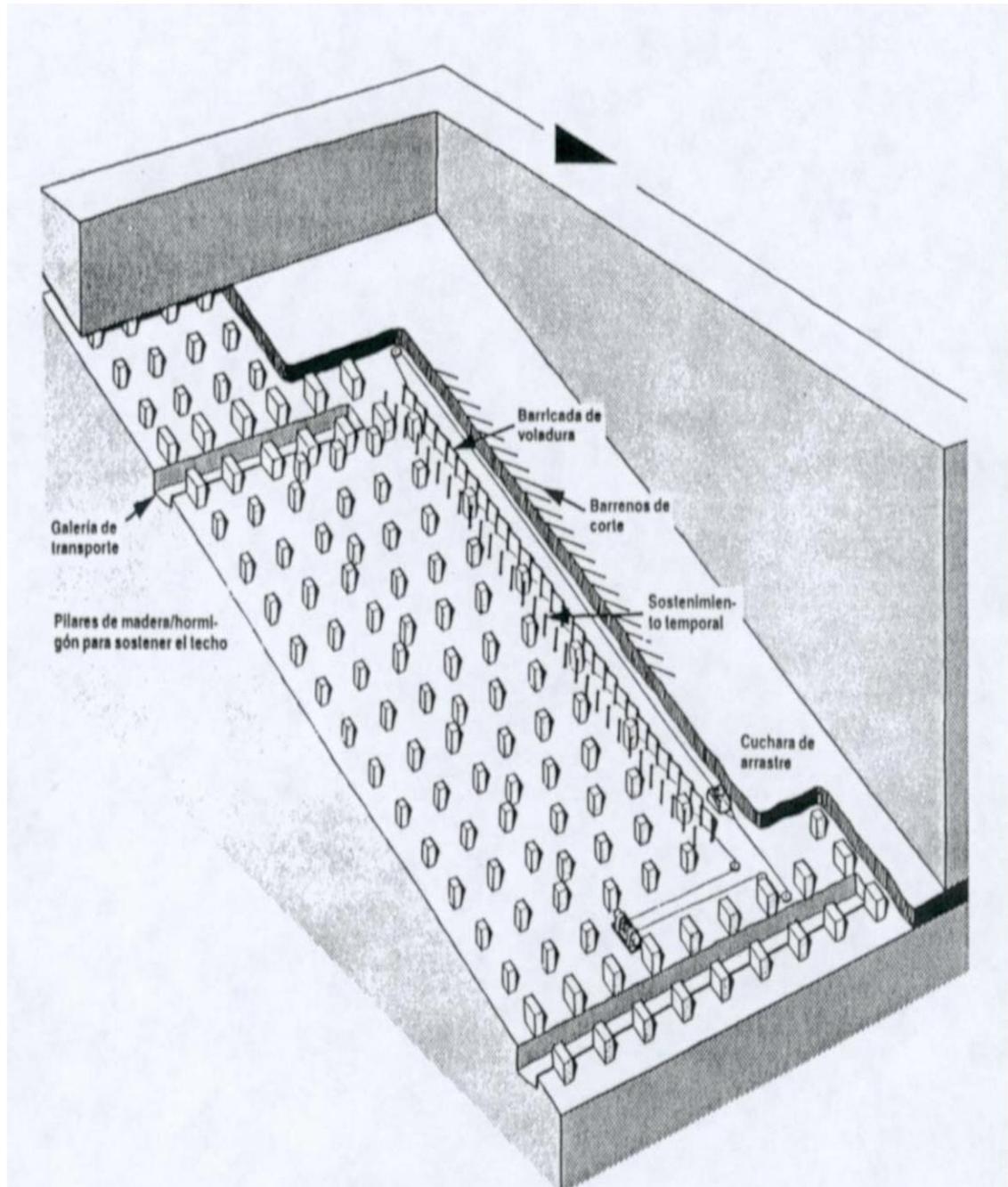
El yacimiento puede ser representado por una veta de carbón, una capa de potasa o un aglomerado aurífero.

La explotación es aplicable en roca tanto dura como blanda, ya que el área de trabajo a lo largo del frente de explotación puede ser sostenida cuando sea necesario.

La preparación consiste básicamente de una red de galerías de transporte que se requieren para dar acceso a las áreas de explotación y para el transporte del material arrancado.

Las galerías de transporte se pueden disponer normalmente en forma esquemática, ya que el depósito se extiende por una amplia área, y tiene forma de una capa plana. La distancia entre dos galerías de transporte adyacentes determina la longitud del frente de tajos largos.

En condiciones de roca dura se excava por perforación y voladura convencionales. Se perforan barrenos cortos a lo largo de la frente en forma de corte lateral. En minerales blandos (carbón), no se necesita perforación y voladura, sino que puede cortarse mecánicamente.



**Figura 2.10:** Sistemas de explotación, tajos largos

**Fuente:** (Muñoz del Pino, E., 2002)

## 2.10. Software minero

La gran cantidad de información que se genera a partir de una explotación, facilita el entendimiento de las condiciones geológicas del yacimiento; pero, para lograr llevar el registro de dicha información, así como también, lograr gestionar y almacenarla; es

necesario generar una base de datos que permita hacer uso de los mismos, y así, editar los parámetros necesarios para alcanzar el objetivo final, que sería la interpretación total del yacimiento.

Existen programas para: evaluación de recursos, reservas minerales, modelamiento geológico, planeamiento minero y diseño de explotaciones; de la misma manera hay programas que no están ligados del todo a la actividad minera; pero su aplicación sirve para la edición de datos, y se los puede usar como alternativa. (Herrera, J., 2006)

Entre los programas utilizados en el campo minero, se destaca RecMin, el cual será utilizado para este proyecto.

Su hubiese que establecer una primera jerarquización de los diferentes programas existentes en el mercado con aplicación a la citada temática, creemos que su aplicación parcial o total de sus herramientas y además el precio de adquirirlos sería el mejor parámetro a considerar. Así se podría hablar de dos grupos de programas: programas con aplicaciones mineras indirectas y programas con aplicaciones mineras directas o específicas.

### **2.10.1. Programas con aplicaciones mineras indirectas**

Son programas que han sido desarrollados para el manejo de datos, tanto la edición como la administración de los datos. Su finalidad ha sido ayudar al usuario a tener una mejor organización y visualización, no están enfocados en un área específica, sino que, han sido elaborados de forma general, y de esta manera logran analizar de forma general cualquier tipo de información, sin importar la procedencia o el tipo de datos que contenga.

Estos programas cuentan con herramientas que pueden ser utilizados en aplicaciones mineras, obteniendo así, resultados muy interesantes. El acceder a este tipo de programas resulta sencillo, muchas de las veces no requieren de un curso avanzado para su manejo, y obtener la licencia del programa no suele representar una inversión muy costosa.

Dada la gran cantidad de programas que se podrían abarcar dentro de este grupo, se los podría clasificar en: hojas de cálculo y programas de domino público.

### 2.10.1.1. Hojas de cálculo

La hoja de cálculo sirve para almacenar y administrar datos, pudiendo generar tablas y gráficos con ellos, almacena valores numéricos y alfa-numéricos, en cada una de las celdas, de las cuales se compone la hoja de cálculo.

En minería el programa se utiliza para cada etapa de un proyecto, ya sea en exploración, explotación, beneficio, etc. Los datos pueden ser de cualquier procedimiento y gracias a las herramientas de los programas que usan las hojas de cálculo, se puede lograr un mejor entendimiento de la información obtenida.

En la actividad minera la hoja de cálculo puede ayudar con información obtenida como:

- Datos de sondeo: posición geográfica (X, Y, Z); altura, profundidad, ley media, etc.
- Diferencia entre la superficie y la anomalía más profunda registrada, así como también, la anomalía más cercana a la superficie.
- Información sobre la cantidad de material extraído por área de trabajo, dimensiones de las galerías, avance diario, etc.
- Almacenamiento de datos de levantamientos topográficos, y conversión del formato del archivo para importar los datos a otros programas.
- Conversión de coordenadas; registro de valores contables y económicos; costos de operación; consumo de material explosivo; gráficos de valores, costos de operación; etc.

### 2.10.1.2. Programas de dominio público

Son programas que, debido a su facilidad de acceso nos permiten almacenar y hacer uso de información proveniente de la actividad minera; esto, gracias a que cuentan con herramientas útiles para dicho fin, tal es el caso de la función polilínea, en los programas CAD, una herramienta que permite digitalizar la información de puntos y coordenadas provenientes de las hojas de cálculo, y de este modo tener un conjunto de líneas, que pertenecen a un plano específico y cuentan con un sistema de coordenadas. También se puede realizar dibujos de 2D y 3D; una vez guardados los archivos, se puede importar la información a otros programas, tales como: ArcGIS, SURFER, SGeMS, RecMin, etc.

### **2.10.1.3. Programas con aplicaciones mineras directas o específicas**

Estos programas han sido desarrollados en empresas, las cuales su giro de negocio es el sector minero. Muchos de los desarrolladores fueron empresas mineras, que necesitando un software útil y adecuado para cada proceso minero; se plantearon crear un programa que logre abarcar toda la información de un proyecto específico.

En algunos casos se ha visto el apoyo del gobierno para la inclusión de nuevas tecnologías que sirven para el desarrollo de la nuestra minera, tal es el caso de Australia, que cuenta con el sector de software de minería y exploración minera de Australia (EMS), dicho sector ha colaborado para generar tecnologías especializadas para el sector minero, y que, impulsado el desarrollo de algunas marcas emblemáticas de la industria, como es el caso de: Maptek Vulcan, Micromine, Surpac, QMASTOR, entre otras.

Lo que hace único este tipo de software es: la capacidad para operar con grandes bases de datos, y que han sido desarrollados para la minería a gran y mediana escala. Estos programas no requieren de otras aplicaciones de aporte o ayuda, puesto que, cuentan con módulos que han sido desarrollados para cada etapa del proceso, de esta manera logran generar una línea continua para el correcto uso de la información.

## **2.11. Software minero RecMin**

RecMin fue creado en 1992 por el Dr. Cesar Castañón Fernández, profesor principal de la Universidad de Oviedo, es un software creado como un programa de aplicación privada, para las actividades diarias de la empresa canadiense Rio Narcea Gold Mines S.A.

Con el pasar de los años el software logro ser de libre acceso para los usuarios, permitiéndoles descargar de forma gratuita desde internet; ofreciendo cursos en línea, lo que ha permitido que los usuarios lleguen a utilizar el software de manera eficiente.

RecMin cuenta con aplicaciones que permiten editar y hacer uso de la información; cada módulo puede crear un proyecto, editar la información de sondajes, modelado en 3D, elaboración de sistemas de explotación y un módulo para guardar el desarrollo o el avance.

**Ventajas:**

- Software de libre acceso.
- Sirve para la importación de datos de sondeos.
- Crea superficies topográficas, a partir de archivos DXF y DWG, que hayan sido elaboradas en CAD.
- Visualización n 3D.
- Elaboración de bloques de explotación a partir de modelos geométricos.
- Interpolación de leyes correspondiente a cada bloque.

**Desventajas:**

- No contiene herramientas geo-estadísticas para estimar por kriging un modelo de bloques.
- No permite editar yacimientos.
- Se puede aplicar únicamente para mediana y pequeña minería.
- Se aplica únicamente en el sistema operativo Windows.

### CAPÍTULO 3

#### DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

Para proceder a la elaboración de un modelo de sistema de explotación es necesario conocer la información de las labores mineras actuales de la mina, argumentación que se realizó en los capítulos anteriores. A partir de ello y con ayuda del software minero RecMin, se puede realizar una propuesta de diseño del minado del yacimiento.

#### 3.1 Calidad del macizo rocoso

De acuerdo al modelo geológico del yacimiento se logró establecer que, dada la ubicación de la concesión minera, se sitúa dentro de roca metamórfica y sedimentaria, de grano grueso y medio respectivamente. Las rocas son esquistos, filitas, y lutitas, que encuentran en toda la región, las cuales forman parte de la geología local.

**Tabla 3.1:** Características de los esquistos.

Tipo de características	Descripción	Valor
Tipo de roca	Metamórfica	
Composición	Micas, moscovita y biotita.  Cuarzo, feldespato, anfíboles, lutita, lodolita, y limolita. Pizarra.	
Dureza	Escala de Mohs	7
Índice de resistencia a la carga puntual		3.8 MPa
Densidad		2.5 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión simple		83 MPa
RQD		50 % - 75 %

**Fuente:** Elaboración propia.

En la escala de clasificación de Deer & Miller se indica que las rocas con resistencia igual o superior a 3,5 e igual o menor a 6,5 MPa, se las considera como rocas de resistencia media.

**Tabla 3.2:** Clasificación de Deer & Miller

<b>Resistencia a la compresión simple</b>	<b>(MPa)</b>
Muy débil	0 – 1,5
Débil	1,5 – 3,5
Media	3,5 – 6,5
Alta	6,5 – 10,00
Muy alta	>10,00

**Fuente:** Mecánica de rocas y geo mecánica de macizos (Universidad Politécnica de Cataluña)

### 3.1.1. Cálculo del RMR

Para obtener el valor RMR de Bieniawski, es necesario conocer seis parámetros del macizo rocoso o la formación en cuestión. Como el esquisto es el elemento de mayor predominio en el área minera, el cálculo de RMR será desarrollado en base a dicha roca.

Los parámetros a utilizar para analizar son:

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

Cada parámetro otorga una valoración para obtener el valor del índice de calidad de la roca por el sistema de Rock Mass Rating (RMR). Para eso, es necesario sumar las valoraciones y el dato final que permitirá conocer la calidad de la roca

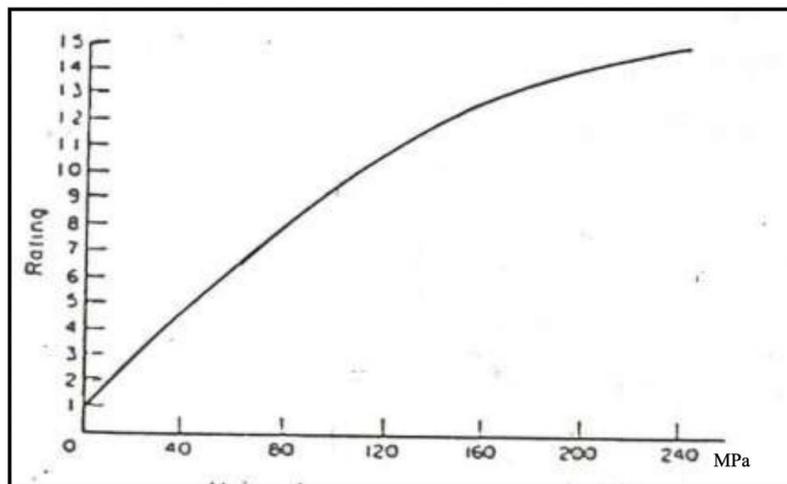
### 3.1.1.1. Resistencia a la compresión simple

La valoración para los esquistos respecto a la compresión simple, es referente a la tabla 3.3.

**Tabla 3.3:** Valoración de la resistencia a la compresión simple

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

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).



**Figura 3.1:** Gráfico para calcular el parámetro de resistencia a la compresión simple.

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Los esquistos al poseer un valor de resistencia a la compresión simple de 83 MPa y 3.8 MPa a la resistencia a la carga puntual (datos de la empresa), se las puede considerar como Dura. La valoración en el primer parámetro es de 7.

### 3.8.1.1 Rock quality designation (RQD)

La calidad de la roca RQD se puede determinar:

- Trozos de roca testigos mayores a 10 cm recuperados en sondeos.
- Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen ( $1\text{m}^3$ ) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro  $J_v$ .
- Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades por (Hudson, 1989).

Para el primer caso se utiliza la ecuación A:

$$RQD = \frac{\Sigma (\text{Testigos o Núcleos de sondeo de longitud} > 10 \text{ cm})}{\text{longitud total de perforación}} 100\%. \quad (\text{A})$$

Para el segundo caso se utiliza la ecuación B:

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v \quad (\text{B})$$

Para el tercer caso se utiliza la ecuación C:

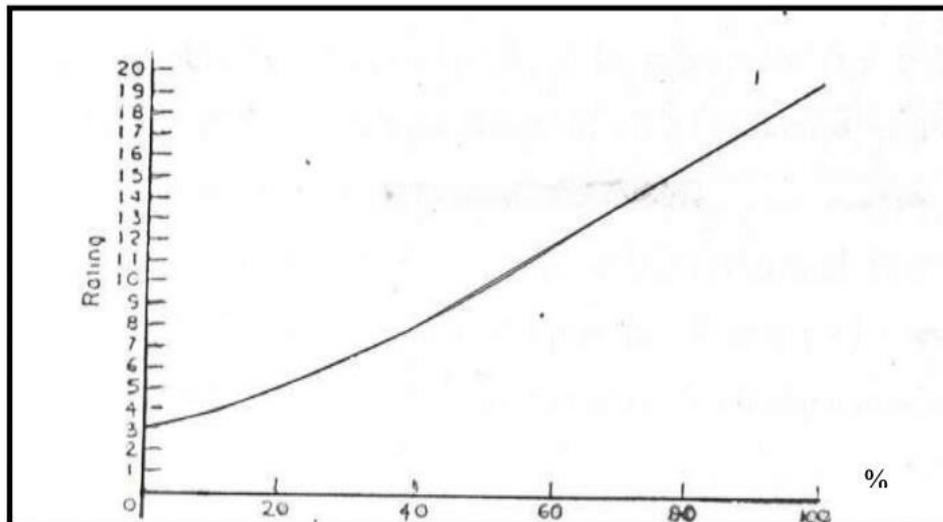
$$RQD = 100e^{(0,1\lambda)}(0,1\lambda + 1) \quad (\text{C})$$

El valor obtenido en las fórmulas A, B o C son comparados con la siguiente tabla:

**Tabla 3.4:** Valoración del RQD

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

**Fuente:** Clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

**Figura 3.2:** Grafico para calcular el parámetro de RQD

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Jv: Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen ( $1\text{m}^3$ ) del macizo rocoso.

Se determinó que en  $1\text{m}^3$  de macizo rocoso de encontraron 16 discontinuidades.

$$RQD = 115 - 3,3 (Jv)$$

$$RQD = 115 - 3,3 (16)$$

$$RQD = 62,2\%$$

Para este tipo de esquito el valor del RQD es de 62.2 % de calidad. La valoración en el segundo parámetro es de 13.

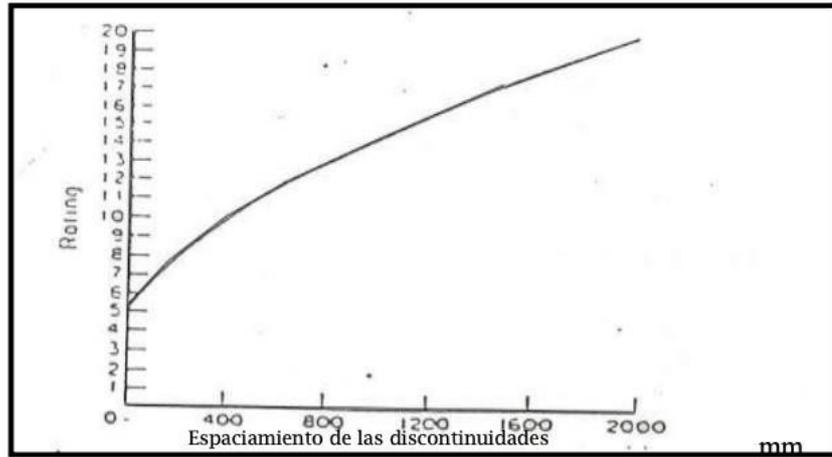
### 3.8.1.2 Espaciado de las discontinuidades

La valoración con respecto a la separación de las discontinuidades se indica a través de la tabla 3.5.

**Tabla 3.5:** Valoración de espaciamento de discontinuidades

<b>Descripción</b>	<b>Espaciado de las juntas</b>	<b>Tipo de macizo rocoso</b>	<b>Valoración</b>
Muy separadas	>2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 – 2 m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 – 600 mm	En bloques	10
Juntas	60 – 200 mm	Fracturado	8
Muy juntas	<60 mm	Machacado	5

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

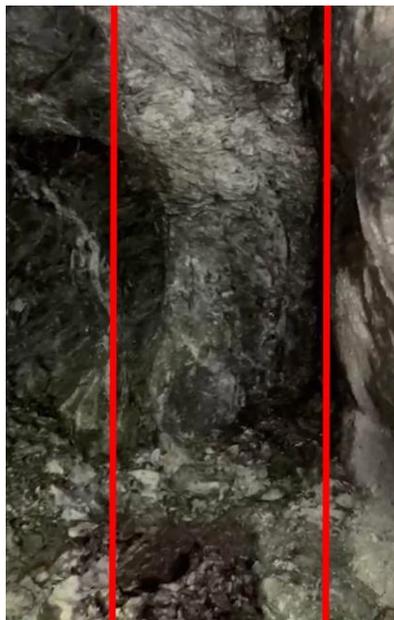


**Figura 3.3:** Gráfico para calcular el parámetro de espaciado de las discontinuidades.

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Las familias de diaclasas de la mina en cuestión, consideran un espaciado de 0.6 a 2 metros. Lo anterior, le confiere al macizo rocoso una caracterización de separadas, a lo cual le incumbe una valoración de 15.

En la figura 3.4 a continuación se puede presenciar las principales familias de diaclasas que constituyen al macizo rocoso.



**Figura 3.4:** Familia de diaclasas del macizo rocoso

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.8.1.3 Condiciones de las discontinuidades

Las condiciones están representadas por: la abertura de las discontinuidades, la continuidad de discontinuidades, la rugosidad de discontinuidades, el relleno de discontinuidades y la alteración de discontinuidades.

#### Aberturas de las discontinuidades

**Tabla 3.6:** Valoración de la abertura de las juntas

GRADO	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE LAS CARAS	VALORACIÓN
1	Abierta	>5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1
3	Cerrada	0,1 – 1 mm	4
4	Muy cerrada	<0,1 mm	5
5	Ninguna	0	6

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

La abertura de discontinuidades se encuentra en el rango de 1 a 5 mm de separación, esto indica que el grado corresponde a 2, siendo su valoración moderadamente abierta y correspondiente a 1.

#### Continuidad o persistencia de las discontinuidades.

**Tabla 3.7:** Valoración para la continuidad de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCIÓN	CONTINUIDAD	VALORACIÓN
1	Muy baja	<1 m	6
2	Baja	1 – 3 m	4
3	Media	3 – 10 m	2
4	Alta	10 – 20 m	1
5	Muy alta	>20 m	0

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

La continuidad de las familias de diaclasas se halla en una media 1 a 3 metros. Por lo consiguiente, su valoración es de 4.

### Rugosidad de las discontinuidades

A través de la tabla que se presenta a continuación (Tabla 3.8), se muestran las valoraciones que se alcanzan de acuerdo a la rugosidad de las discontinuidades.

**Tabla 3.8:** Valoración para la rugosidad de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

El macizo rocoso presenta las caras ligeramente rugosas, por lo tanto, el grado corresponde a 3 y su valoración es de 3.

### Relleno de las discontinuidades

**Tabla 3.9:** Valoración para el relleno de discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5 mm	2
3	Duro > 5 mm	2
4	Duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Dado el poco espaciamiento entre discontinuidades, existe presencia de relleno blando entre las mismas menor a 5 mm, por lo cual su valoración para el parámetro es de 2.

### Alteración de las discontinuidades

**Tabla 3.10:** Valoración para la alteración de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Las familias de diaclasas existentes en la mina se presentan moderadamente alteradas, por lo consiguiente su grado es de 3 y su valorización es de 3.

#### 3.8.1.4 Presencia de agua

**Tabla 3.11:** Valoración para la presencia de agua

CAUDAL POR 10 M DE TUNEL	RELACIÓN PRESIÓN AGUA – TENSION PPAL MAYOR	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Nulo	0	Seco	15
<10 litros/min	<0,1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0,2 – 0,5	Goteando	4
>125 litros/min	>0,5	Fluyendo	0

**Fuente:** Clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

La cantidad de agua que se filtra en la mina es significativa, existe una moderada infiltración, que incluso es notorio a simple vista. En la figura 3.5 se demuestra que la humedad presente es mayor a los 25 l/min.

El agua existe de forma significativa, por lo tanto, se relaciona con la descripción Goteando, y corresponde a una valorización de 4.



**Figura 3.5:** Humedad en las paredes del macizo rocoso

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.8.1.5 Orientación de las discontinuidades**

Para la valoración de este parámetro se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar, esta clasificación se especifica a continuación:

**Tabla 3.12:** Tabla de clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.

<b>Dirección Perpendicular al eje de la obra</b>				<b>Dirección Paralelo al Eje de la Obra</b>		<b>Buzamiento 0 - 20 Cualquier dirección</b>
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz	Buz	Buz	Buz	Buz	Buz	
45' - 90'	20' - 45'	45' - 90'	20' - 45'	45' - 90'	20' - 45'	
<b>Muy favorable</b>	<b>Favorable</b>	<b>Medio</b>	<b>Desfavorable</b>	<b>Muy Desfavorable</b>	<b>Medio</b>	<b>Desfavorable</b>

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

En el macizo rocoso se puede realizar distintas labores mineras, como la valoración de túneles y minas y de los taludes. A continuación, se detalla cada descripción de estas.

### **Valoración para túneles y minas**

**Tabla 3.13:** Tabla de valoración para túneles y minas.

<b>Calificativo</b>	<b>Valoración</b>
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

## Valoración para taludes

**Tabla 3.14:** Tabla de valoración para taludes.

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Para este proyecto se usará la primera tabla que es la de valoración de túneles y minas. En la figura 3.4 indica la distribución de las discontinuidades. Las labores del túnel son de forma paralelas ya que las galerías están construidas a  $130^\circ$  o  $135^\circ$ . El rumbo de las diaclasas se encuentra a  $110^\circ$  y presentan un buzamiento promedio entre  $40^\circ$  y  $45^\circ$ . Para el caso descrito se considera que la relación del buzamiento de las discontinuidades respecto al eje del túnel, se describe como dirección paralela al eje de la obra y es calificado como medio.

La valoración para este tipo de macizo rocoso, teniendo en cuenta el calificativo de medio es -5.

### 3.1.2. Valor de RMR calculado

Determinados los valores en cada parámetro obtenemos la siguiente tabla:

**Tabla 3.15:** Resultado del RMR

<b>Parámetro</b>		<b>Valoración</b>
Resistencia a la compresión simple	83 MPa	7
RQD	62,2 %	13
Espaciamiento de las juntas	0,6 a 2 m	15
<b>Condiciones de las diaclasas</b>		
Abertura	1 - 5 mm	1
Continuidad	1 – 3 m	4
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Blando, menor a 5 mm	2
Alteración	Moderadamente alterada	3
Humedad	Goteando	4
Orientación	40°a 45°	-5
<b>Total (Valor de RMR)</b>		<b>47</b>

**Fuente:** Elaboración propia

La calidad de la roca fue establecida mediante la última clasificación de Bieniawski, la cual se rige en el valor de RMR calculado. Dicha clasificación está reflejada en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16:** Calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm <sup>2</sup>	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm <sup>2</sup>	<15°

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Considerando el valor de RMR de 47, en este caso, la calidad de la roca que concierne a los esquistos es Media, con una clase III.

El tipo de sostenimiento que se debe emplear según la calidad de la roca presente está dado por Bieniawski. Dicha roca se analiza con el índice de calidad RMR. De acuerdo a la condición de la roca, se refleja a continuación una guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería.

**Tabla 3.17:** Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante

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

	proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.		50mm al frente.	acero y tablestacas si se requiere.
--	--	--	-----------------	-------------------------------------

**Fuente:** clasificaciones geo mecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Se consideró que en este caso la roca es Regular de clase III, de acuerdo a lo reflejado en la tabla 3.17.

**Tabla 3.18:** Elección de la Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm de diámetro) inyectados	Soporte con concreto armado	Soporte con madera
(III)Roca regular, RMR: 47	Frente superior y destroza, 1.5-3m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10m del frente.	Pernos sistemáticos, 4m de longitud espaciados 1.5-2m en la corona y hastiales con malla en la corona.	50-100mm en la corona y 30mm por los lados.	Ninguno.

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3.18, la roca requiere principalmente de un sostenimiento de pernos sistemáticos de 4 metros de longitud espaciados a 2 metros en la corona y hastiales con malla en la corona, se realizará un soporte completo a 10 metros del frente. El concreto se ha determinado que no es requerido, y para este tipo de roca no hay soporte de madera.

Como ya se ha descrito, los esquistos están presentes en toda la zona de explotación y concesión minera; de modo que ya se ha detallado e indicado en la revisión de la mina. Las galerías existentes cuentan con un sistema de fortificación con soportes de madera,

considerando que la mina cuenta con 11 años de explotación, ha sido sostenida con madera y pilares de concreto; aun así, la roca es regular y causa contratiempos, ya que se producen desprendimientos de rocas y asentamientos en las galerías.

Las particularidades de la roca, como la dureza y la resistencia a la compresión, no permiten que el sostenimiento sea de manera natural y se vea obligado a realizar labores de fortificación en las zonas de mayor riesgo o más antiguas de trabajo.

### **3.2. Diseño del sistema de explotación**

Para poder realizar el diseño óptimo de explotación de este proyecto minero, se considera la geometría del depósito mineral (yacimiento) como parámetro fundamental, ya que todos los depósitos tienen diferentes características tanto físicas como químicas y se optarían diferentes sistemas de explotación.

El tipo de yacimiento es de brecha hidrotermal (Endógeno), por lo cual el único sistema de explotación es de manera subterránea.

En este caso determinamos que la mejor opción para una explotación, sería por el sistema de subniveles ya que la geometría del yacimiento cuenta con una potencia que va desde los 60 centímetros hasta los 4 metros, posee un buzamiento que va desde los 62° hasta los 75° y la orientación es de N35°, existen cuatro fallas existentes en la región que no alteran el rumbo ni el direccionamiento de la brecha, pero si posiblemente alteren el estado de la roca encajante.

Para elaborar este sistema de explotación se debe tomar en cuenta las características físicas de la roca, por esos es recomendado hacer los niveles 4 y nivel 5 con una separación o distancia máxima de 100 metros entre cada uno de los niveles, y situar subniveles a una distancia de 25 metros de separación.

Las galerías se las realizaran de manera transversal a la brecha hidrotermal, hasta hallar el depósito mineral para luego proceder con las labores de extracción de manera paralela al yacimiento.

#### **3.2.1. Modelo de explotación**

El modelo de explotación óptimo es el sistema por subniveles, se propone la construcción de 2 piques (piques 4 y 5) de 100 metros de profundidad, 2 niveles

(niveles 4 y 5) con distancia de 100 metros entre sí y entre cada nivel la construcción de 3 subniveles que nos da como resultado 6 subniveles, a una distancia de 25 metros de profundidad, con este modelo se aprovecha y abarca la mayor parte del yacimiento mineral existente.

Las galerías pueden tener una extensión hasta los límites de la concesión minera ya que un socio de la empresa es el titular minero.

Las galerías de los niveles y subniveles se elaborarán de manera transversal a la brecha hidrotermal ya que así se logra mayor estabilidad en la roca encajante, las galerías principales tanto como los niveles y piques tendrán las dimensiones necesarias para el libre tránsito de personal, mineral, herramientas, ventilación, iluminación y sistema de drenaje; sin la necesidad de que verse tener que parar la producción o arriesgar la integridad de algún obrero u ocasionar pérdidas materiales.

Los subniveles serán de menor dimensión porque la función principal de ellos será para la carga y transporte hacia las tolvas.

Para iniciar este sistema de explotación se creará un pique de 100 metros de profundidad donde se colocará un winche y escaleras con descansos de metal a una distancia de 9 metros para mayor seguridad al transitar el personal.

Art.45.- “En los piques verticales o inclinados, los compartimientos de carga (balde, carros) y de tránsito del personal (escaleras), deben estar separados por estructuras como madera, hormigón, metal, etc. Se deberá prever la instalación de puntos de anclaje y líneas de vida homologadas y certificadas para la ejecución de actividades en piques. (RENOVABLES, 2020)

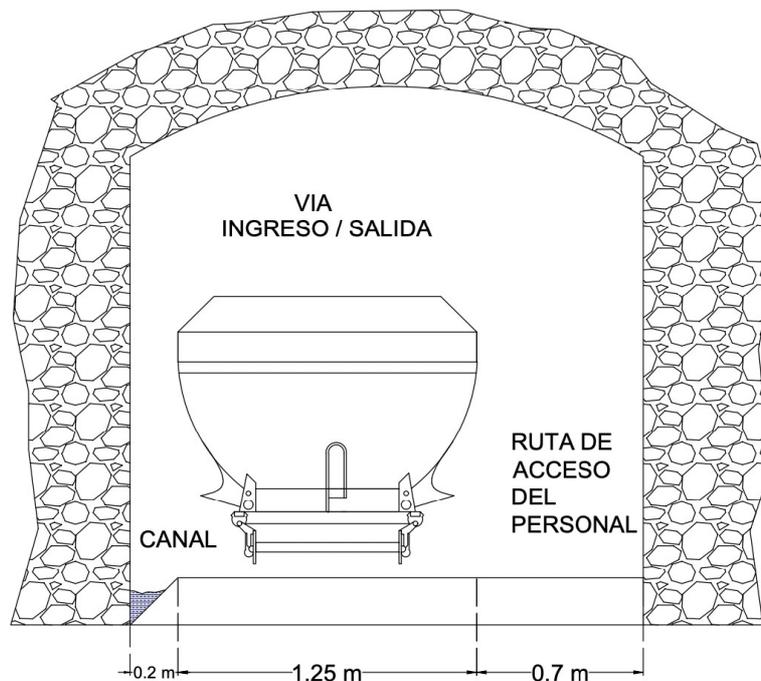
Para este modelo de explotación será necesario implementar 2 winches con baldes de capacidad de 1 tonelada con su respectivo sistema de izaje, 16 carros mineros de capacidad de 1tonelada, el sistema de explotación adecua a la mina y se tiene que adquirir nuevos equipos para una lograr optimización de producción.

### 3.2.2. Diseño de niveles y subniveles

Para este sistema de explotación se comienza desde el Nivel 3 creando un pique (pique 4) con una profundidad de 100 metros, a continuación, se crea el Nivel 4 al final del pique 4. Entre el nivel 3 y 4 existe una distancia de 100 metros de profundidad que será aprovechado para crear 3 subniveles (3.1, 3.2, 3.3) direccionados transversalmente a la brecha hidrotermal y distanciados entre si 25 metros.

Una vez ya creados los subniveles en el pique 4, y el nivel 4 se elaborará otro pique (Pique 5) de 100 metros de profundidad que une el nivel 4 con un nuevo nivel (Nivel 5). Entre el nivel 4 y 5 hay una distancia de 100 metros de profundidad que será aprovechado para crear otros 3 subniveles (4.1, 4.2, 4.3) direccionados transversalmente a la brecha hidrotermal y distanciados entre si 25 metros.

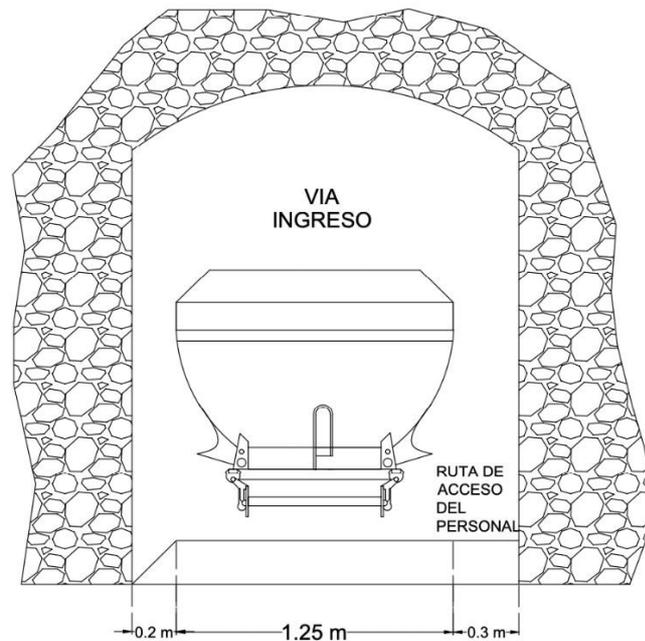
Las dimensiones de las galerías serán efectuadas en base a la maquinaria. En las galerías principales los vagones transitaran en un riel que sirve como vía de ingreso y vía de retorno, así mismo se debe contar con el espacio para el tránsito del personal, por lo cual se indica en la figura 3.6. las dimensiones que va a tener las galerías.



**Figura 3.6:** Dimensiones de los niveles.

**Fuente:** Elaboración propia.

Las dimensiones de los subniveles serán de menor tamaño (figura 3.7), de igual manera tendrán un carril para el tránsito de mineral en el carro minero y el espacio para tránsito del personal y, con la opción de estoquear el mineral en los buzones o tolvas de almacenamiento y posteriormente la extracción del mineral a la superficie por medio de un sistema de izaje colocado en el pique principal.

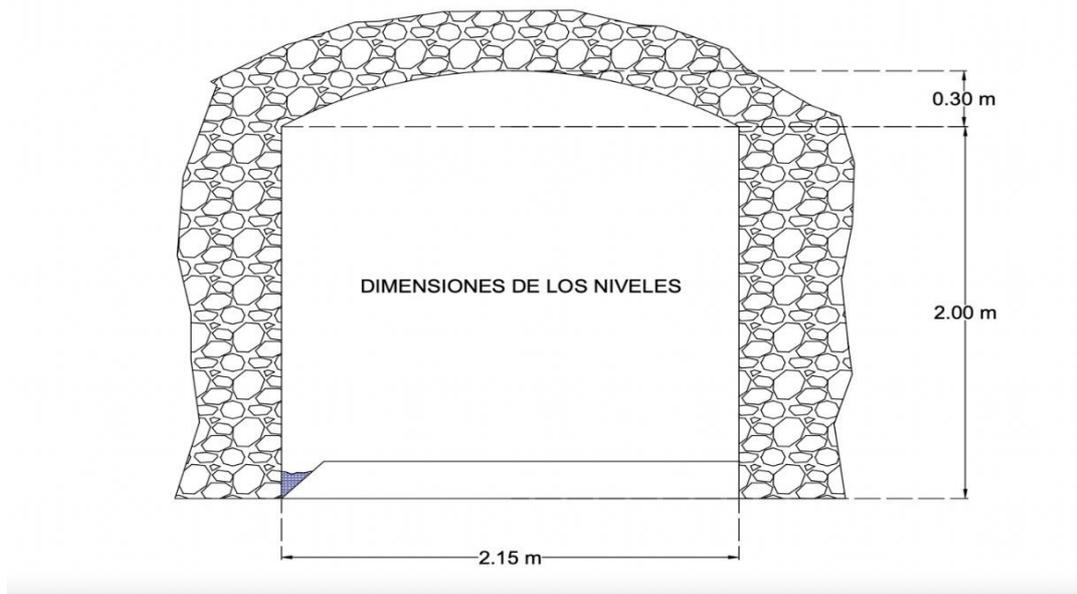


**Figura 3.7:** Dimensiones de subniveles

**Fuente:** Elaboración propia.

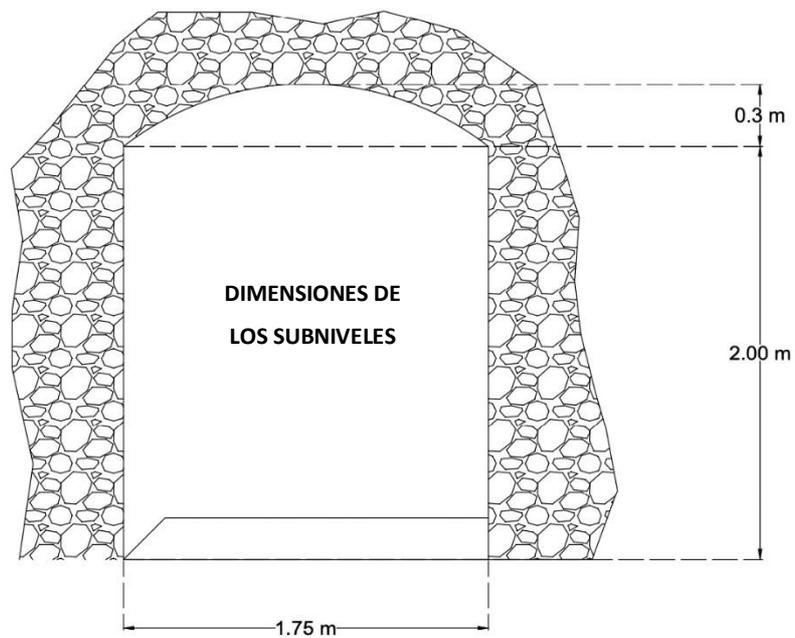
Para obtener el espacio suficiente para las labores de carga y transporte del mineral y el tránsito del personal se construyen las galerías principales (niveles) con una luz de 2,30 metros de alto y 2,15 metros de ancho.

A igual manera la construcción de los subniveles se realizará con el espacio necesario para las labores que se ejecutaran en este medio, por lo tanto, la luz de los subniveles será de 2,30 metros de alto y de 1,75 metros de ancho.



**Figura 3.8:** Dimensiones de los niveles.

**Fuente:** Elaboración propia



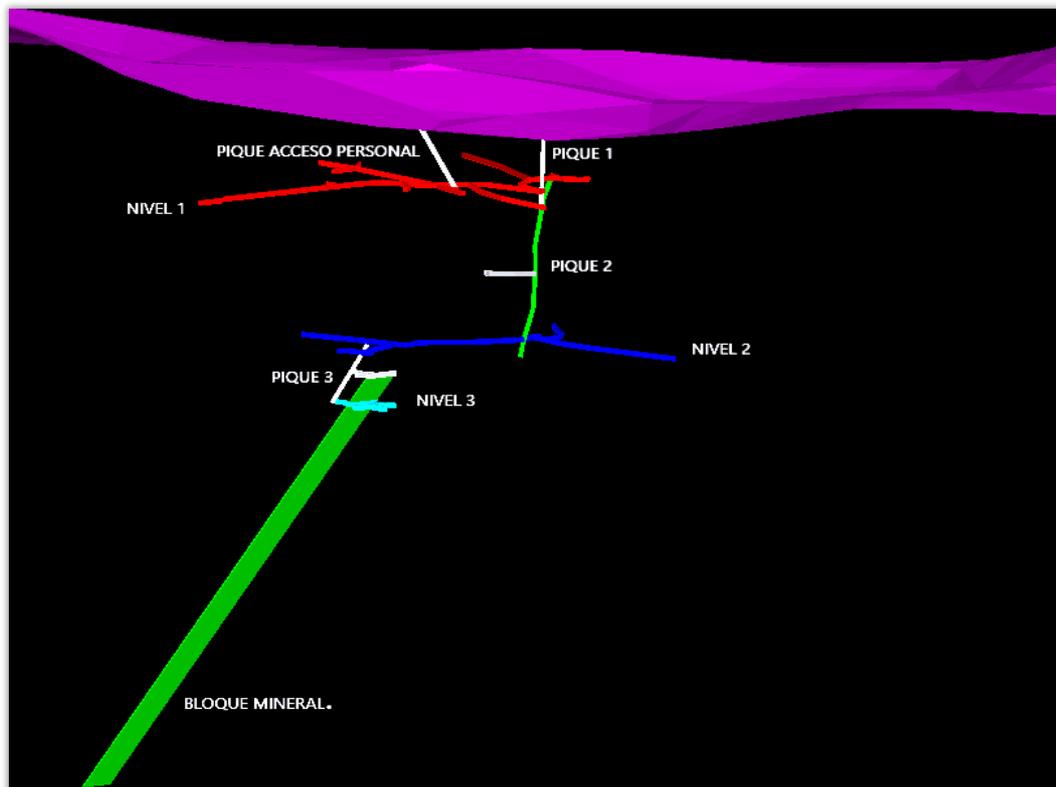
**Figura 3.9:** Dimensiones de los subniveles

**Fuente:** Elaboración propia

En fin, en nuestra propuesta de un nuevo sistema de explotación, se recomienda la elaboración de 2 piques, 2 galerías principales (2 niveles) y 6 subniveles, logrando con ello mayor aprovechamiento de mineral y su extracción de forma rápida, sistemática y organizada

### 3.3. Secuencia de minado

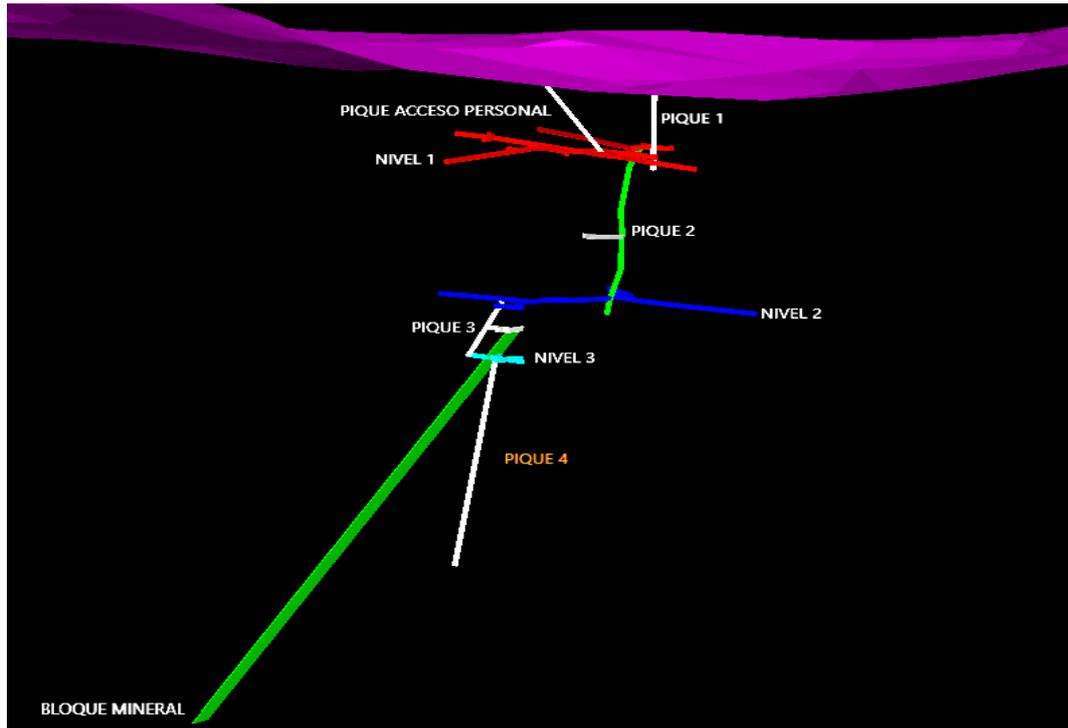
La empresa minera cuenta con varias construcciones como: desde la superficie se tiene 2 piques uno que es solo para el tránsito del personal (acceso) y otro que es para el tránsito mineral (Pique 1), existen 2 piques más (Pique 2, Pique 3) que unen el nivel 1 con el nivel 2 y otro pique que une el nivel 2 con el nivel 3, cuenta también con 3 niveles y dos galerías de exploración una se encuentra en el pique 2 y otra se encuentra en el pique 3.



**Figura 3.10:** Condición y labores actuales de la mina

**Fuente:** Elaboración propia

Para el desarrollo de la propuesta del nuevo diseño, se construirá un pique denominado el Pique 4 con una profundidad de 100 metros, a continuación del nivel 3 con una inclinación de 80°.



**Figura 3.11:** Construcción del pique 4.

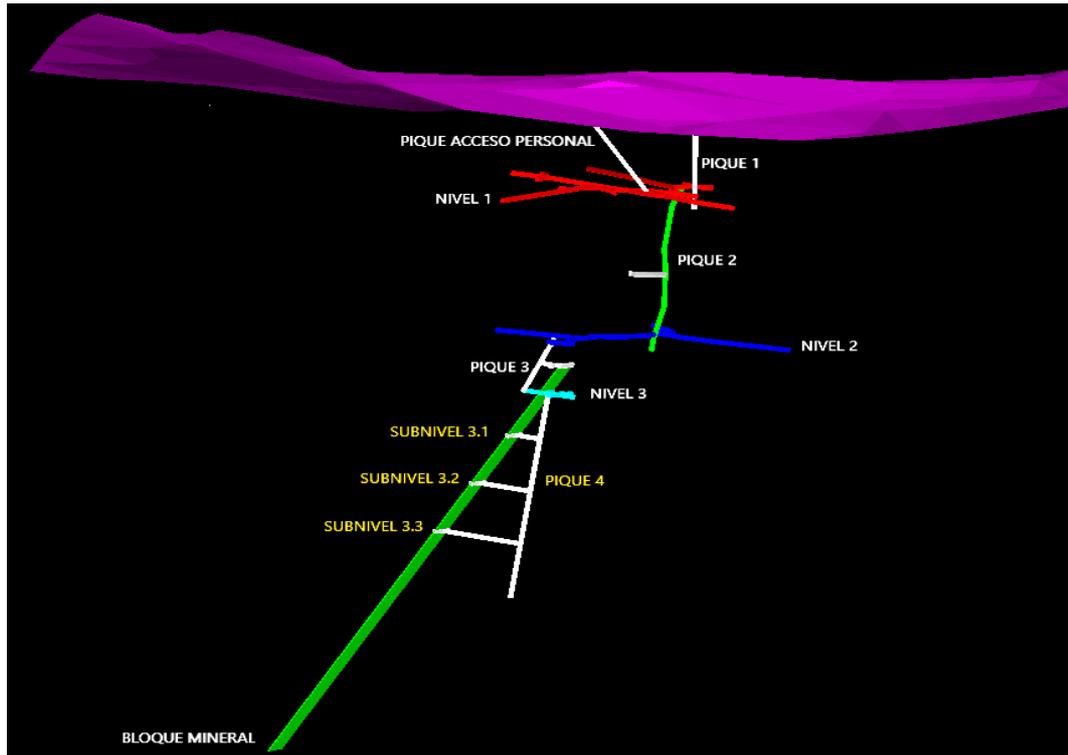
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.19.** Descripción de la construcción del pique 4.

LABOR	DESCRIPCIÓN
PIQUE 4	Se construye con una inclinación de 80° y 100 metros de profundidad.

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez ya terminada la construcción del Pique 4, se procede a construir 3 subniveles de manera transversal al bloque mineral y a estos subniveles se los denominaron con el nombre de 3.1, 3.2, 3.3, separados entre sí a una distancia de 25 metros.



**Figura 3.12:** Construcción de los 3 subniveles en el pique 4.

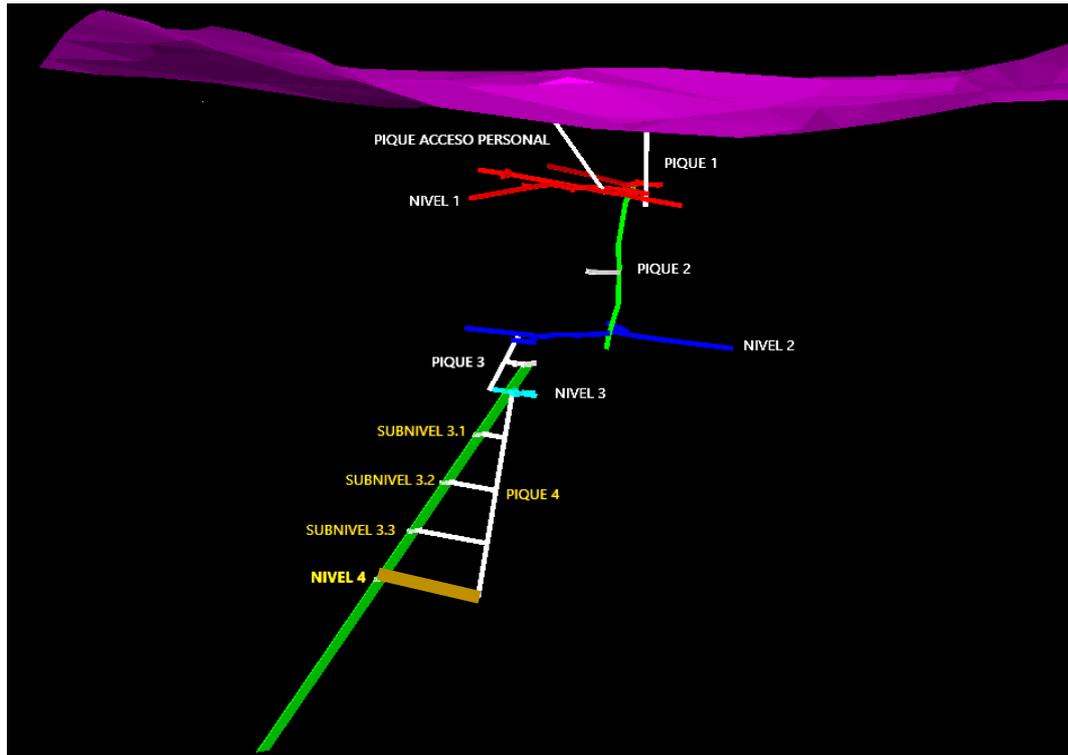
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.20.** Descripción de la construcción de los 3 Subniveles en el Pique 4.

LABOR	DESCRIPCIÓN
SUBNIVEL 3.1	Se construye en el PIQUE 4 a 25 metros de profundidad del nivel 3, se lo realiza con una distancia transversal (E-O) de 15 metros hasta llegar al bloque mineral.
SUBNIVEL 3.2	Se construye en el PIQUE 4 a 25 metros de distancia del Subnivel 3.1, se lo realiza con una distancia transversal (E-O) de 25 metros hasta llegar al bloque mineral.
SUBNIVEL 3.3	Se construye en el PIQUE 4 a 25 metros de distancia del Subnivel 3.2, se lo realiza con una distancia transversal (E-O) de 34 metros hasta llegar al bloque mineral.

**Fuente:** Elaboración propia

Ya terminada la construcción de los subniveles en el Pique 4, se elabora el Nivel 4 a 25 metros de profundidad del Subnivel 3.3 de manera transversal al bloque mineral.



**Figura 3.13:** Construcción del Nivel 4.

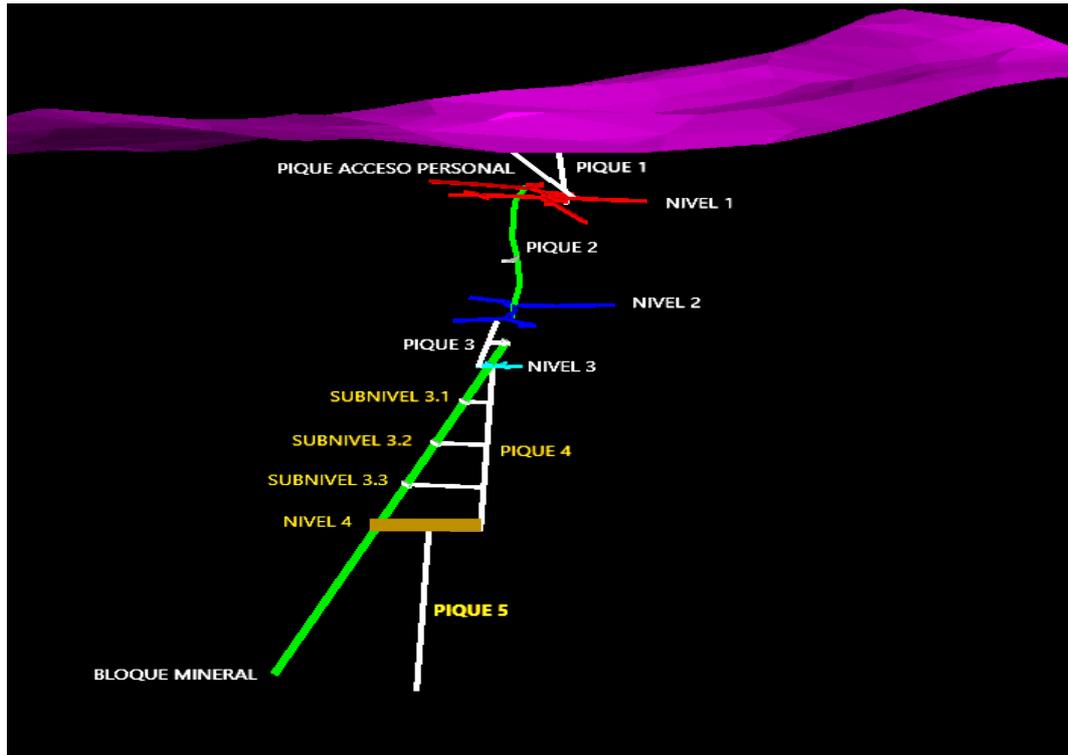
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.21.** Descripción de la construcción del Nivel 4.

LABOR	DESCRIPCIÓN
NIVEL 4	Se construye este nivel al fondo del Pique 4, es decir, a 100 metros de distancia del Nivel 3, se lo realiza de manera transversal (E-O) con una distancia de 45 metros hasta llegar al bloque mineral.

**Fuente:** Elaboración propia

Realizado el Nivel 4 se procede a construir un pique a continuación del Nivel 4 denominado Pique 5, con una profundidad de 100 metros y con una inclinación de 80°.



**Figura 3.14:** Construcción del Pique 5 a continuación del Nivel 4.

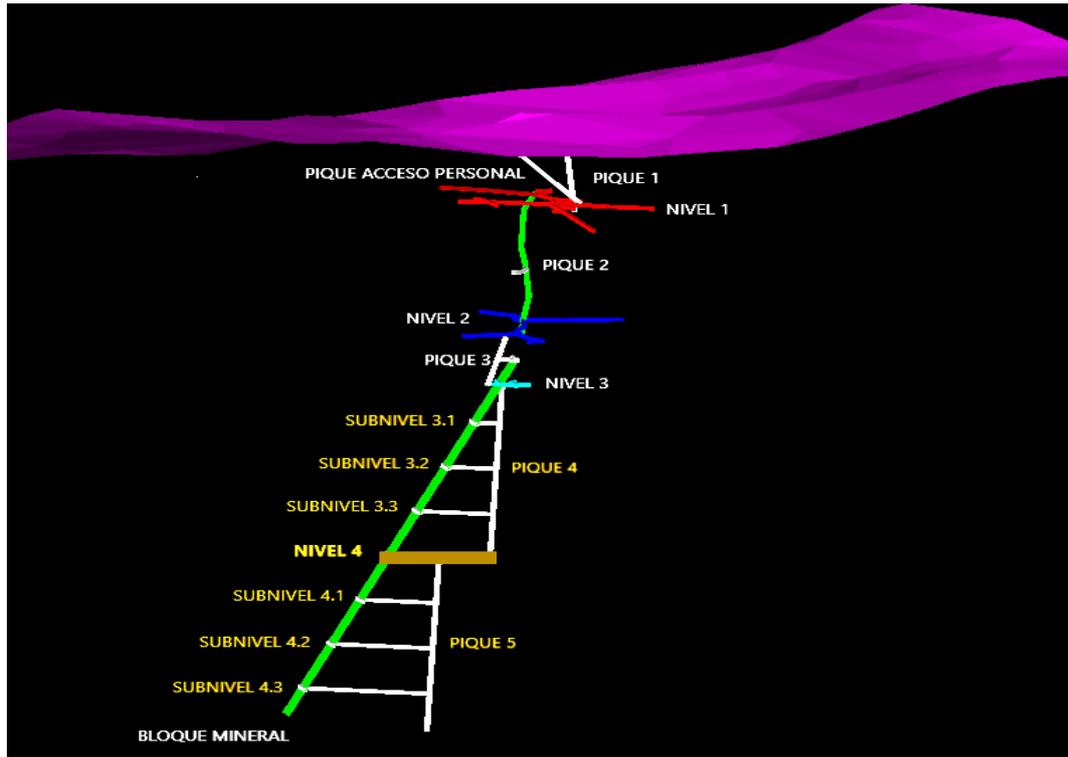
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.22.** Descripción de la construcción del Nivel 4.

LABOR	DESCRIPCIÓN
PIQUE 5	Se construye el Pique 5 en el Nivel 4, es decir, tomando en referencia 25 metros de distancia en la galería transversal (E-O) desde el fondo del Pique 4, se lo realiza con una inclinación de 80° y una profundidad de 100 metros.

**Fuente:** Elaboración propia

Ya culminado el Pique 5 se procede a realizar 3 subniveles, separados entre sí 25 metros y construidos transversalmente al bloque mineral, se los denominará subniveles: 4.1, 4.2, 4.3.



**Figura 3.15:** Construcción de los 3 subniveles a continuación del Pique 5.

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.23.** Descripción de la construcción de los 3 Subnivel en el Pique 5.

LABOR	DESCRIPCIÓN
SUBNIVEL 4.1	Se construye en el Pique 5 a 25 metros de profundidad del nivel 4, se lo realiza con una distancia transversal (E-O) de 34 metros hasta llegar al bloque mineral.
SUBNIVEL 4.2	Se construye en el Pique 5 a 25 metros de distancia del Subnivel 4.1, se lo realiza con una distancia transversal (E-O) de 45 metros hasta llegar al bloque mineral.
SUBNIVEL 4.3	Se construye en el Pique 5 a 25 metros de distancia del Subnivel 4.2, se lo realiza con una distancia transversal (E-O) de 52 metros hasta llegar al bloque mineral.

**Fuente:** Elaboración propia

Ya terminada la construcción de los subniveles en el Pique 5, se elabora el último nivel denominado Nivel 5 a 20 metros de profundidad del Subnivel 4.3 de manera transversal al bloque mineral.

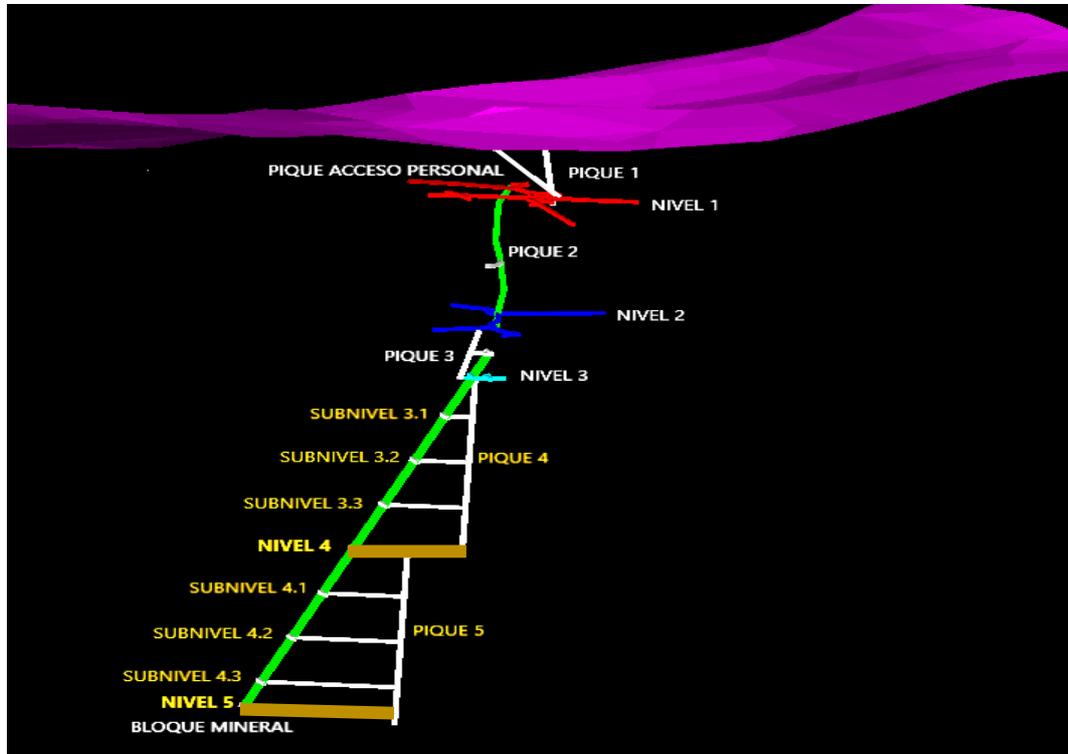


Figura 3.16: Construcción del Nivel 5.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24. Descripción de la construcción del Nivel 5.

LABOR	DESCRIPCIÓN
NIVEL 5	Se construye este nivel a 20 metros de profundidad del subnivel 4,3, es decir, a 95 metros de distancia del Nivel 4, se lo realiza de manera transversal (E-O) con una distancia de 61 metros hasta llegar al bloque mineral.

Fuente: Elaboración propia

Los 5 metros restantes del Pique 5, serán utilizados como un reservorio de acumulamiento de agua para ser bombeada a la superficie por medio de bombas del sistema de drenaje.

### **3.4. Tiempo estimado de extracción**

La producción de la mina es de 25 t/día, por la tecnología, los equipos, la maquinaria e instalaciones en los sistemas de winches de izaje. Debido a que este proyecto minero no consta con los estudios apropiados para que las condiciones de la mina mejoren y optimicen la producción, no se logra aumentar la producción al momento.

Serán dos niveles dentro del yacimiento a explotar, entre ambos, la cantidad de reservas estimadas llegan a 89.650 toneladas. Para extraer dicha cantidad no será necesario un cambio en la maquinaria de la mina ya que sus dimensiones no requieren de un mejoramiento en maquinaria.

El tiempo estimado para la extracción, sin aumentar el ritmo de producción diario de la mina y tomando en cuenta la construcción de los piques, galerías y subniveles, será de aproximadamente 10 años.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Para el presente proyecto se realizó el 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 sobre todo lograr proponer un diseño de explotación óptimo, en donde se pueda aprovechar los recursos de la mejor manera posible.
- Para determinar el tipo de roca se utilizó la clasificación geomecánica de Bieniawski 1989, determinando que la roca presente es de tipo III, correspondiente a roca buena; con respecto al sostenimiento que debe ser aplicado con la ayuda del RMR se obtuvo un valor de 47, lo que da como resultado que se necesita un sostenimiento sistemático de pernos de 4 metros de longitud, espaciados a 2 metros en la corona y hastiales con malla. Otro punto a considerar en la fortificación es que no es necesario la implementación de shotcret.
- Tras el análisis, podemos deducir que el diseño propuesto garantiza la seguridad y la producción de nuevos frentes de trabajo, dando paso a nuevas labores de explotación, obteniendo como resultado un mayor beneficio económico para la empresa.
- De acuerdo a los resultados de la caracterización geomecánica se determinó que el sistema de explotación más idóneo es el de subniveles, el mismo que será implementado tomando en consideración niveles principales con dimensiones de 2,15 x 2,30 metros y subniveles de 1,75 x 2,30 metros.
- A partir de los resultados obtenidos, se determinó que el diseño propuesto se acopla a la situación de la mina, ya que actualmente cuenta con los equipos necesarios que permitan que sea factible su aplicación.

- La nueva propuesta implica el franqueo de 2 piques ciegos, 2 niveles y 6 subniveles adicionales aparte de los que ya están construidos en la mina.
- Para acceder a los niveles y subniveles se usarán 3 piques ya construidos en la mina actualmente, además de los 2 piques propuestos en el nuevo diseño que servirán como acceso de personal y transporte de mineral; estos serán franqueados con un ángulo de inclinación de 80 grados y profundidad de 100 metros; cada pique comunicará 3 subniveles y 2 niveles (Nivel 3 y Nivel 4 – Nivel 4 y Nivel 5, respectivamente); los niveles y subniveles estarán separados cada 25 metros de distancia entre sí. Con la implementación del nuevo sistema, se logrará alcanzar una profundidad total de 420 metros desde bocamina.

## Recomendaciones

- Se sugiere a la titular minera gestionar el presupuesto necesario para dar el debido mantenimiento a las labores más expuestas, debido a que el macizo rocoso se encuentra fracturado, esto puede representar a futuro posibles daños a la seguridad y salud de las personas que se encuentran laborando, además de que no se tiene un control adecuado de la cantidad de material que se puede extraer, lo que genera pérdidas en la mina, el objetivo de la inversión actual es conseguir una extracción responsable, segura y técnica.
- Previo a la implementación del diseño y en un futuro cercano la expansión de la zona de explotación, se recomienda implementar una base de datos en donde se encuentren todos los estudios geológicos realizados, parámetros técnicos a tomar en cuenta para el sistema de explotación, además de información general de la mina.
- Analizar con mayor detenimiento y de manera periódica el registro continuo de las familias de diaclasas, con el fin de determinar la variación geomecánica de la veta mineralizada.
- Realizar una actualización de las reservas explotables mientras se realizan labores de avance, de esta manera se podrá tener un control de la explotación y también se podrá saber las reservas de mineral real que es posible extraer en los frentes de trabajo.
- Esta propuesta técnica podría ser utilizada por los interesados para generar un mayor beneficio que tenga una aplicación a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

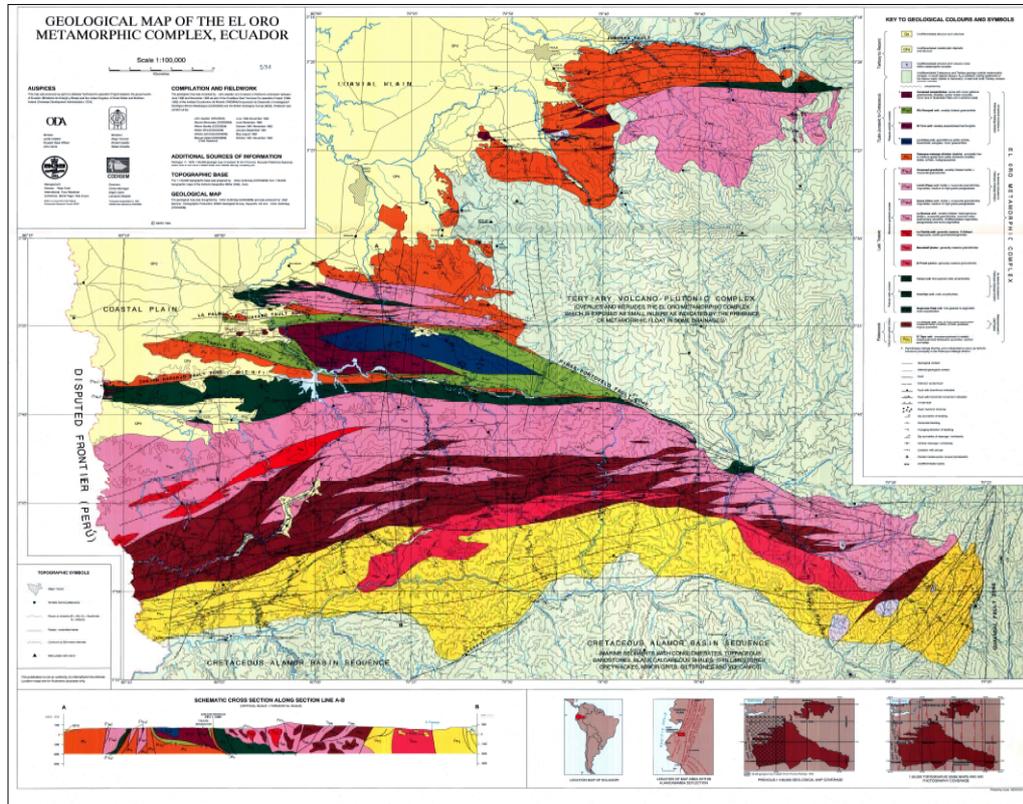
- Mena, P., & Garzón, C. (2015). Características relevantes de la provincia de El Oro. Delimitación política y Geología. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/304209418\\_Capitulo\\_1\\_Caracteristicas\\_relevantes\\_de\\_la\\_provincia\\_de\\_El\\_Oro\\_Delimitacion\\_politica\\_y\\_Geologia/link/5769665508ae2d7145ba8067/download](https://www.researchgate.net/publication/304209418_Capitulo_1_Caracteristicas_relevantes_de_la_provincia_de_El_Oro_Delimitacion_politica_y_Geologia/link/5769665508ae2d7145ba8067/download)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca. (2015). *Levantamiento de Cartografía Temática Escala 1:25.000, Lotes 1 y 2*. Obtenido de [http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria\\_tecnica\\_Geomorfologia\\_PASAJE\\_20151117.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Geomorfologia_PASAJE_20151117.pdf)
- Secretaría Técnica Planifica Ecuador. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Pasaje. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1pymcykNZJ-0VGCYAjw10XtlOunpxuYAk/view>
- Geoportal del Catastro Minero. (2021). *Cantón Pasaje*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1pymcykNZJ-0VGCYAjw10XtlOunpxuYAk/view>
- SGS S.A. (2021). *Designación de la Calidad de La Roca (RQD)*. Obtenido de <https://www.sgs-latam.com/es-es/mining/metallurgy-and-process-design/unit-operations-and-metallurgical-services/comminution-and-beneficiation/rock-quality-designation-rqd>
- Maza, M. (2017). *Análisis cinemático de dos taludes de macizo rocoso en la ciudad de Loja para conocer su grado de estabilidad*. Loja. Obtenido de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/17551/3/Maza%20Guachisaca%20Marjorie%20Michelle.pdf>
- Universitat Politècnica de Catalunya. (2016). *Mecánica de Rocas y GeoMec. de Macizos, en Ing Civil y del Petróleo*. Obtenido de [https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/assignaturas/gmcp/tema-3/mr2021-22\\_tema-3-discontinuidades.pdf](https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/assignaturas/gmcp/tema-3/mr2021-22_tema-3-discontinuidades.pdf)
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pasaje. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO%20PDyOT%20%20CANTON%20PASAJE\\_15-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO%20PDyOT%20%20CANTON%20PASAJE_15-11-2014.pdf)

- Griem-Klee, S. (2016). *apuntes exploraciones mineras: Metodos de exploracion y prospeccion*. Obtenido de geovirtual: <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/01-Introduccion-Exploraciones-Prospeccion.htm>
- Vasallo, L. (2008). *Yacimientos Minerales Metalicos*. Queretaro: Servicio Geologico Mexicano. Obtenido de SGM.
- Higuera, P. (2019). *Yacimientos Minerales*. Obtenido de Universidad de la Mancha: <https://blog.uclm.es/pablohiguera/yacimientos-minerales/>
- Fernández Maroto, G. (2014). *Yacimientos Minerales*. Obtenido de Universidad de Cantabria: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/3426/course/section/3084/2.2%20Yac%20Volcanogenicos%20y%20Yac.%20Metm%C2%A2rficos.pdf>
- IGAC. (12 de Octubre de 2018). *Instituto Geográfico Agustín Cadazzi. Cartografía*. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/ide/datos-e-informacion/cartografia>
- UPM. (2007). *Diseño de Explotaciones e Infraestructura MIneras Subterráneo*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [https://oa.upm.es/21841/1/071101\\_L3\\_labores\\_subterraneas\\_2.pdf](https://oa.upm.es/21841/1/071101_L3_labores_subterraneas_2.pdf)
- Maquera Ordoñez, R. D. (2019). *Criterios de selección de métodos de explotación subterránea para optimizar la producción*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14417/Maquera\\_Ordo%C3%B1ez\\_Roky\\_David.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14417/Maquera_Ordo%C3%B1ez_Roky_David.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Herrera Herbert, J. (2020). *Introducción a la minería subterránea*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [https://oa.upm.es/62726/1/METODOS\\_MINERIA\\_INTERIOR\\_LM1B4T4R0-20200406.pdf](https://oa.upm.es/62726/1/METODOS_MINERIA_INTERIOR_LM1B4T4R0-20200406.pdf)
- Labanda Vega, J. (2018). *Diseño de explotación para la empresa minera 001 Maldonado Sánchez Jorge Armando*. Cuenca: Universidad del Azuay. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8628/1/14295.pdf>
- RENOVABLES, E. D. (2020). *Reglamento SST Minera*.
- López Aburto, V. (1994). *Manual para la Selección de Métodos de Explotación de Minas*. Facultad de Ingeniería, UNAM.

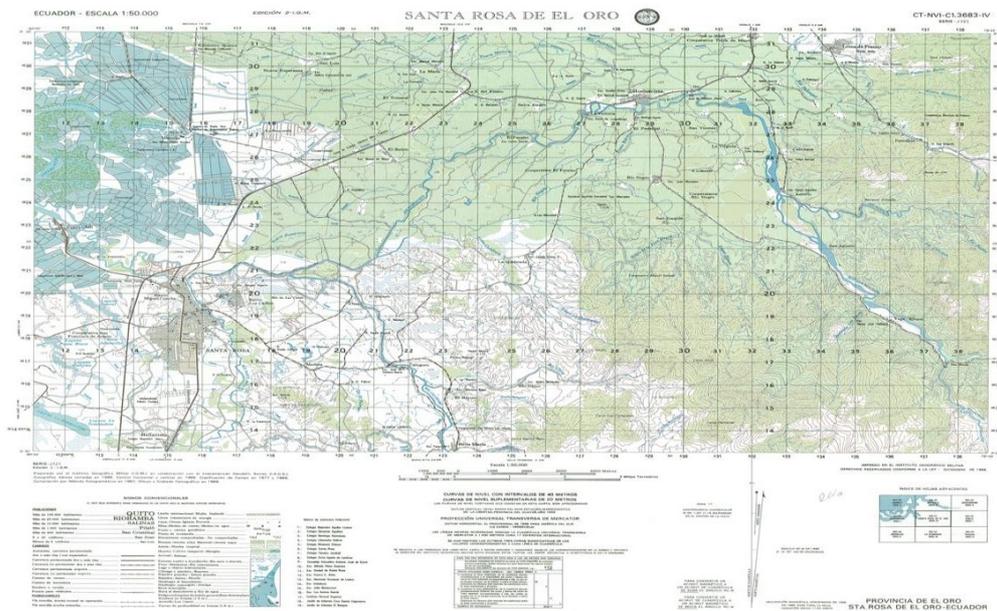
Gonzales de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica, 1ra edición Prentice Hall*. Madrid. 715 p.

Quispe, Y. I.(20120. Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenidos de:  
[http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1244/1/quispe\\_ay.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1244/1/quispe_ay.pdf)

ANEXOS



Anexo 1: Mapa geológico de la provincia de El Oro.



Anexo 2: Mapa topográfico de la zona de la concesión minera.



Anexo 3: Tolva en superficie de la mina Kristian David.



Anexo 4: Winche de izaje de la mina Kristian David.



Anexo 5: Muestra de mineralización de la mina Kristian David.



Anexo 6: Mineralización de la mina Kristian David.



Anexo 7: Transporte de mineral en la mina Kristian David.



Anexo 8: Bocamina de la mina Kristian David.



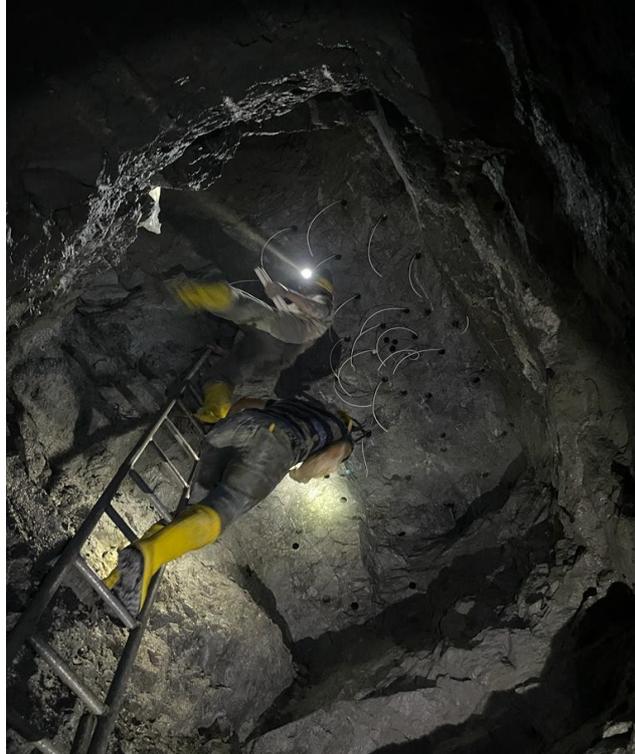
Anexo 9: Área de máquinas de la mina Kristian David.



Anexo 10: Área de combustible de la mina Kristian David.



Anexo 11: Polvorín de la mina Kristian David.



Anexo 12: Perforación para voladura en la veta mineralizada.



Anexo 13: Frente de explotación de la mina Kristian David.



Anexo 14: Proceso de encendido para voladura.



Anexo 15: Pique tránsito mineral.



Anexo 16: Levantamento topográfico a detalle.