



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

**“Diseño de explotación para la empresa minera  
001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO EN MINAS**

**Autor:**

**JEAN CARLOS LABANDA VEGA**

**Director:**

**Ing. FERNANDO TULIO VALENCIA GÜARICELA**

**CUENCA, ECUADOR**

**2018**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto va dedicado a mi familia, quienes a diario creen en mí y siempre me han apoyado en los malos y buenos momentos de mi etapa universitaria y de mi vida, con quienes deseo compartir éste y todos mis logros futuros.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia, a mis padres Jenny Vega y Juan Labanda por darme el apoyo, servirme de motivación e inspiración, darme los recursos necesarios para iniciar, mantenerme y culminar mi etapa universitaria. A mis profesores por compartirme su conocimiento y ayudarme en mi desarrollo como estudiante, servirme de guías para la culminación del presente proyecto y por siempre atender con la mejor de las intenciones.

A mis compañeros por la grandiosa amistad generada y el compañerismo que siempre estuvo presente dentro y fuera del salón de clase, por ayudarme a desarrollarme como persona, estudiante y profesional. Al Sr. Jorge Maldonado por darme la oportunidad de realizar mi tesis en las instalaciones de la mina que son de su propiedad y al Ing. Holger Durazno por ayudarme con información necesaria para la realización del proyecto

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DEL PROYECTO</b> .....	2
1.1. Marco Teórico.....	2
1.2. Yacimientos minerales.....	4
1.2.1. Yacimientos terciarios, hidrotermales, brechas.....	9
1.3. Clasificación del Macizo Rocoso .....	11
1.3.1. Parámetros que caracterizan un macizo rocoso.....	13
1.3.1.1. Discontinuidades.....	13
1.3.1.2. Tamaño y forma de bloque .....	13
1.3.1.3. Resistencia a la compresión simple .....	15
1.3.2. <i>Rock Mass Rating</i> (RMR) .....	16

1.4. Sistemas de explotación.....	17
1.4.1. Auto-sostenimiento: .....	19
1.4.1.1. Cámaras y pilares:.....	20
1.4.1.2. Cámaras por subniveles: .....	21
1.4.2. Sostenimiento artificial:.....	23
1.4.2.1. Corte y relleno: .....	23
1.4.3. Por hundimiento:.....	25
1.4.3.1. Hundimiento por bloques:.....	25
1.4.3.2. Hundimiento por subniveles:.....	27
1.5. Topografía.....	28
1.5.1. Equipos de topografía.....	29
1.5.2. Métodos topográficos .....	30
1.5.3. Elementos generados por los levantamientos topográficos.....	31
1.6. Softwares mineros .....	31
1.6.1. Programas con aplicaciones mineras indirectas.....	32
1.6.1.1. Hojas de cálculo.....	32
1.6.1.2. Programas de dominio público.....	33
1.6.2. Programas con aplicaciones mineras directas o específicas .....	33
1.7. Software minero RecMin.....	34

<b>CAPÍTULO II: INFOMACIÓN GENERAL Y GESTIÓN DE DATOS .....</b>	<b>36</b>
2.1. Información de la Concesión .....	36
2.1.1. Ubicación geográfica y área minera.....	36
2.1.2. Accesibilidad a la concesión.....	37
2.1.3. Descripción de los procesos de la empresa .....	37
2.1.3.1. Exploración .....	37
2.1.3.2. Explotación y Extracción .....	37
2.2. Geología.....	39
2.2.1. Geología regional.....	39
2.2.2. Geología local .....	40
2.3. Mineralogía del yacimiento .....	40
2.4. Modelo geológico.....	42
2.4.1. Modelo geológico del yacimiento.....	42
2.5. Gestión de datos .....	57
2.5.1. Levantamiento topográfico del contrato minero.....	57
2.5.2. Levantamiento Topográfico de interior mina .....	58
2.5.2.1. Datos del levantamiento topográfico: .....	59
2.6. Edición de datos .....	63
2.7. Diseño de niveles.....	66

<b>CAPÍTULO III: DISEÑO DE EXPLOTACIÓN</b> .....	69
3.1. Calidad del macizo rocoso .....	69
3.1.1.1. Cálculo del RMR .....	71
3.1.1.2. Valor de RMR calculado.....	82
3.2. Diseño del sistema de explotación .....	85
3.2.1. Modelo de explotación .....	86
3.2.2. Diseño de galerías y subniveles .....	87
3.3. Secuencia de minado .....	90
3.4. Tiempo estimado de extracción.....	92
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	93
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	97
<b>ANEXOS</b> .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ejemplos de máximo y mínimo RQD.....	14
Figura 1.2. Sistema de explotación de cámaras y pilares.....	21
Figura 1.3. Sistema de explotación, cámaras por subniveles .....	23
Figura 1.4. Sistemas de explotación, corte y relleno .....	24
Figura 1.5. Sistemas de explotación, hundimiento por bloques .....	26
Figura 1.6. Sistemas de explotación, hundimiento por subniveles.....	28
Figura 2.1. Ubicación de las perforaciones.....	44
Figura 2.2. Afloración de brechas mineralizadas .....	46
Figura 2.3. Ubicación de la mina respecto a las brechas mineralizadas .....	46
Figura 2.4. Vista en planta del corte geológico AB.....	47
Figura 2.5. Corte geológico AB.....	48
Figura 2.6. Diseño de perfiles geológicos.....	49
Figura 2.7. Corte geológico CD.....	50
Figura 2.8. Corte geológico EF .....	51
Figura 2.9. Corte geológico GH .....	52
Figura 2.10. Corte geológico IJ .....	53
Figura 2.11. Mapa geológico del contrato minero.....	54
Figura 2.12. Mapa geológico del contrato minero.....	55
Figura 2.13. Perfil geológico AA' .....	56

Figura 2.14. Modelo geológico.....	57
Figura 2.15. Equipos para levantamiento topográfico.....	58
Figura 2.16. Planimetría del primer nivel .....	64
Figura 2.17. Planimetría del segundo nivel.....	65
Figura 2.18. Planimetría del tercer nivel.....	65
Figura 2.19. Niveles de la mina.....	67
Figura 2.20. Niveles de la mina y contorno topográfico.....	67
Figura 2.21. Niveles de la mina y curvas de nivel cada 5 metros .....	68
Figura 3.1. Familias de diaclasas presentes en el macizo rocoso .....	75
Figura 3.2. Humedad presente en las paredes del macizo rocoso .....	80
Figura 3.3. Dimensiones de las galerías.....	88
Figura 3.4. Dimensión de subniveles.....	88
Figura 3.5. Dimensión de los Niveles.....	89
Figura 3.6. Dimensión de los subniveles .....	89
Figura 3.7. Construcción del Tercer Nivel y Chimenea 1.....	90
Figura 3.8. Construcción de tercer nivel y sus subniveles .....	91
Figura 3.9. Esquema del sistema de explotación.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Clasificación genética de yacimientos Smirnov (1976).....	5
Tabla 1-2. Métodos de clasificación geomecánica.....	12
Tabla 1-3. Índice de calidad de la roca RMR.....	17
Tabla 2-1. Ubicación geográfica de la concesión Juntas 1 .....	36
Tabla 2-2. Hectáreas del área minera.....	37
Tabla 2-3. Coordenadas de ubicación de las perforaciones (WGS84) .....	44
Tabla 2-4. Coordenadas de ubicación del contrato de operación.....	58
Tabla 2-5. Ubicación geográfica de la bocamina (WGS84): .....	60
Tabla 2-6. Levantamiento topográfico del primer nivel .....	60
Tabla 2-7. Levantamiento topográfico de chimenea 1.....	61
Tabla 2-8. Levantamiento topográfico segundo nivel .....	62
Tabla 2-9. Levantamiento topográfico chimenea Nivel 2-Nivel 3 .....	63
Tabla 2-10. Levantamiento topográfico del tercer nivel.....	63
Tabla 3-1. Características de la granodiorita.....	69
Tabla 3-2. Clasificación de Deer & Miller.....	70
Tabla 3-3 Valoración de la resistencia a la compresión simple .....	72
Tabla 3-4. Valoración de RQD.....	73
Tabla 3-5. Valoración de espaciamiento de discontinuidades .....	73
Tabla 3-6. Valoración de la abertura de las juntas.....	75

Tabla 3-7. Valoración para la continuidad de las diaclasas .....	76
Tabla 3-8. Valoración para la rugosidad de las discontinuidades .....	77
Tabla 3-9. Valoración del relleno de las discontinuidades .....	78
Tabla 3-10. Alteración de las discontinuidades.....	78
Tabla 3-11. Valoración para la presencia de agua.....	79
Tabla 3-12 Determinación de los buzamientos con respecto al eje del túnel .....	81
Tabla 3-13 Valoración para túneles y minas.....	81
Tabla 3-14 Resultado del RMR.....	82
Tabla 3-15 Calidad del macizo rocoso.....	83
Tabla 3-16 Fortificación para el macizo rocoso de clase II .....	84

## DISEÑO DE EXPLOTACIÓN PARA LA EMPRESA MINERA 001

MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO

### RESUMEN

La propuesta plantea un estudio que determinó un sistema de explotación adecuado para la empresa 001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO; utilizando temas que incluyen: modelo geológico del yacimiento, levantamiento topográfico y modelo digital de la explotación.

Con la información obtenida del modelo geológico, se procedió a realizar un levantamiento topográfico de todas las áreas internas de la mina, para elegir el método fue necesario revisar las características técnicas, propias de sistema de explotación, con lo cual se determinó que las galerías y subniveles es el método más idóneo para el caso de estudio. Una vez definido el método se procedió a elaborar y diseñar la secuencia de explotación en el software RecMin y con ello completar el proyecto propuesto.

**Palabras clave:** explotación subterránea, diseño, yacimiento, galerías.



---

Fernando Tulio Valencia Guaricela  
**Director del Trabajo de Titulación**



---

Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Director de Escuela**



---

Jean Carlos Labanda Vega

**Autor**

**EXPLOITATION DESIGN FOR THE 001  
MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO MINING COMPANY**

**ABSTRACT**

The study determines an appropriate exploitation system for the 001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO mining company. The investigation includes a geological model of the deposit, a topographic survey and a digital model of the exploitation. A topographic survey of all the internal areas of the mine was carried out with the information obtained from the geological model. It was necessary to review the technical characteristics of the exploitation system in order to choose the correct method. It was determined that galleries and sub-levels was the most suitable method for this case study. Once the method was defined, the exploitation sequence was designed and developed using the RecMin software to complete the proposed project.

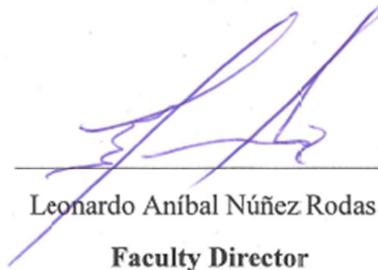
**Keywords:** underground exploitation, design, deposit, galleries.



---

Fernando Tulio Valencia Guaricela

**Thesis Director**



---

Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Faculty Director**



---

Jean Carlos Labanda Vega

**Author**



Translated by  
Ing. Paul Arpi

Labanda Vega Jean Carlos

Trabajo de Titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela. Msc.

Diciembre, 2018

## **DISEÑO DE EXPLOTACIÓN PARA LA EMPRESA MINERA**

### **001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO**

#### **INTRODUCCIÓN**

Todo proyecto minero necesita de un sistema de explotación que, sumado a otros componentes determinan su viabilidad; un mal sistema de explotación pone en riesgo el bienestar del mismo, pudiendo significar el término de las actividades. En general, las empresas ecuatorianas carecen de estudios que permitan establecer un orden adecuado para realizar las operaciones de explotación, siendo esto un grave peligro no solo para la empresa, sino que también para los mismos empleados o el entorno, la falta de profesionales en el área y la cultura laboral de trabajar de forma empírica, es consecuente de muchos inconvenientes a la hora de realizar minería.

Cada proyecto minero debe tener un sistema de explotación adecuado a las condiciones del yacimiento, el cual demuestre que es posible obtener la mayor cantidad posible del mineral; esto sin tener que poner en riesgo la estabilidad de la mina y maximizando los ingresos económicos del negocio. Es necesario tomar en cuenta que la mina en el cual se va a llevar a cabo el presente proyecto ha tenido varias administraciones, en las cuales cada uno realizó la extracción del mineral a su manera, dejando lugares de difícil acceso al interior de la mina, así como también salones –grandes espacios generados por una explotación desmedida y sin control– lo cual dificulta realizar las labores de manera continua.

La finalidad del presente proyecto es mejorar las condiciones de explotación de la mina, tanto en producción como en seguridad, mejorando las actividades que realiza.

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTOS DEL PROYECTO

El estado actual de la mina objeto de estudio será evaluado mediante un levantamiento topográfico a detalle lo que permitirá modelar en tres dimensiones el aprovechamiento subterráneo realizado, utilizando la información histórica también será posible generar un modelo geológico del depósito que sumado a información de carácter técnico operativo permitirá finalmente generar un modelo de explotación que mejore las condiciones productivas y de seguridad de la mina.

En el primer capítulo del proyecto: DISEÑO DE EXPLOTACIÓN PARA LA EMPRESA MINERA 001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO; se describe toda la información reunida para lograr entender de manera conceptual los temas que se van a abarcar para el desarrollo del presente proyecto.

#### 1.1. 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 comprende operaciones subterráneas, a cielo abierto, aluviales, costeras o minería de mar, combinadas, etc.

“La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores del *Homo Sapiens* empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea.” (Ministerio de Minas y Energía, 2003)

La minería como tal tiene propiedades que determinan la actividad; y la caracterizan las siguientes cualidades: industria extractiva, alto riesgo, localización determinada, relación producto-desperdicio.

- Industria Extractiva: los recursos que 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 importantes previas a la explotación. La primera es la búsqueda del recurso mineral, la cual inicia con la prospección y abarca hasta la exploración avanzada; y que varía según en torno a factores geológicos, topográficos, naturales, etc. La siguiente etapa es la evaluación o análisis económico; depende de la calidad y cantidad del mineral, inversión inicial, así como también del precio del metal, etc. (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 *in situ*, haciendo que se convierta en 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 aleatorio 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 deber ser respetada y realizada a su debido momento, iniciando una nueva fase cuando otra se termine. También es posible realizar dos etapas al mismo tiempo, eso únicamente en el caso de que la geomorfología del yacimiento y sus características físicas así lo permitan.

Las etapas que tienen lugar en la minería son:

- Prospección: Son actividades relacionadas 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 en un depósito o yacimiento mineral.

Se realizan labores de: extracción y perforación de testigos, análisis económicos, evaluaciones de reservas, modelado del yacimiento, etc.

- Producción y explotación: La explotación es la selección de métodos y técnicas adecuadas para la extracción selectiva del yacimiento mineral, busca extraer de forma rentable la mayor cantidad posible de mena pudiendo darse el caso de explotación subterránea o a cielo abierto. La producción busca convertir la mena en elementos minerales óptimos para su comercialización, empleando métodos hidrometalúrgicos o pirometalúrgicos.
- Cierre y abandono: Consiste en el término de las actividades mineras y en el desmontaje de toda la infraestructura generada 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 por la culminación del proyecto.

## 1.2. Yacimientos minerales

Dentro de la tierra, existe una gran presión generada por el continuo accionar del núcleo. Debido a la presión interna, se generan procesos geológicos, que permiten la fluidez del magma hacia la superficie, en ciertas condiciones aquello no logra darse; y, el magma queda atrapado internamente que, da paso a la creación de formaciones plutónicas; y que justamente es en dichas formaciones que se da la presencia de minerales de interés económico. (Ph.D., 2008)

Los yacimientos presentan grandes variaciones en su tamaño, origen, forma, contenido mineral y valor económico. Es difícil que encajen todos estos factores en denominaciones propias y, según sea el factor predominante, será el tipo de clasificación empleada para determinar el yacimiento. En la clasificación de los yacimientos, predominan las clasificaciones por forma, sustancia y por su genética.

Clasificar un yacimiento utilizando su forma y sustancia es de las clasificaciones más sencillas, simplifican la interpretación utilizando el tipo de mineral y la cantidad existente, haciendo una rápida evaluación de reservas; también se fija en la forma y presentación que éste tiene, sus dimensiones, su rumbo, la dirección, etc.

Una clasificación basándose 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).

Una clasificación con mejor descripción, lo permiten las clasificaciones genéticas, 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), Schneiderhöhn (1931-1941) y Smirnov (1974-1976).

**Tabla 1-1. Clasificación genética de yacimientos Smirnov (1976)**

<b>SERIE</b>	<b>GRUPO</b>	<b>CLASE</b>
ENDÓGENOS	Magmáticos (polimetálicos)	Licuación
		Magmáticos tempranos
		Magmáticos tardíos
	Pegmatíticos (gemas, Li, Sn, tierras raras, W, F, cuarzo, feldespato, micas)	Pegmatitas simples
		Pegmatitas recristalizadas
		Pegmatitas metasomáticas
	Carbonatitas	Magmáticas

SERIE	GRUPO	CLASE
		Metasomáticas
		Combinadas
	Skarn (scheelita, casiterita, fluorita, calcopirita, blenda, galena, magnetita, hematita.	Calcáreos
		Magnesianos
	Albita – Greisen	
	Hidrotermales (barita, fluorita, pirita, calcopirita, blenda, galena, cobre gris, argentita, platas rojas, cinabrio, plata, oro, etc.)	Plutonogénicos
		Vulcanogénicos
		Amagmatogénicos
	Sulfuros masivos (vulcanogénicos marinos) (Pb-Zn-Cu)	Metasomáticos
		Vulcano-sedimentarios
		Combinados
	EXÓGENOS	Intemperismo

SERIE	GRUPO	CLASE	
		Infiltrados	
	Placer (oro, plata, platino, diamante, rubí, zafiro, casiterita, rutilo, entre otros)	Eluviales	
		Aluviales	
		Glaciares	
	Sedimentarios	Químicos (sales, yeso)	
		Bioquímicos (carbón, fosforitas)	
		Vulcanogénicos	
	METAMORFOGÉNICA	Metamorfizados (grafito, asbesto)	
		Metamórficos (granate, corindón)	

Fuente: Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2017)

Aquellos yacimientos que se generan en profundidades superiores o similares a los cuatro kilómetros, tomando en cuenta desde la superficie terrestre, se los considera como yacimientos minerales endógenos, son relaciones a procesos geoquímicos internos de la Tierra.

Los yacimientos minerales endógenos se clasifican en:

- Magmáticos: formados con el enfriamiento del magma
- Pegmatíticos: formados a partir de soluciones residuales de origen magmático.
- Carbonatíticos: relacionados con intrusivos del tipo central de composición ultrabásica alcalina.
- Skarns: formados por metasomatismo entre intrusivos silicatados y capas calcáreas.
- Albita-greisen: formados en las partes apicales de intrusivos ácidos y alcalinos.
- Hidrotermales: formados a partir de fluidos calientes gases-líquidos
- Sulfuros masivos: formados a partir de procesos volcánicos relacionados con zonas geosinclinadas.

Los yacimientos minerales exógenos se relacionan con procesos geoquímicos que tuvieron lugar en zonas internas a una profundidad no mayor a cuatro kilómetros. Estos yacimientos se forman a partir de la descomposición de material preexistente, adición de magma, presiones internas por las zonas de subducción, etc.

Los yacimientos minerales exógenos se clasifican en:

- Intemperismo: formados por la alteración de rocas o depósitos preexistentes 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: formados por diferenciación de la materia mineral por procesos químicos, bioquímicos o vulcanogénicos, durante los procesos sedimentarios.

Los yacimientos metamorfogénicos son aquellos que se forman durante procesos metamórficos.

- Metamorfizados: se crean por la deformación de antiguos depósitos.
- Metamórficos: formación de nuevos minerales a partir del metamorfismo de la roca.

### **1.2.1. Yacimientos terciarios, hidrotermales, brechas**

En los procesos magmáticos, el magma, durante su proceso hacia la superficie se va enriqueciendo de diferentes componentes; conforme se va abriendo paso irrumpe en la roca encajante, pasando por fisuras y, en algunos casos el magma se enriquece con agua. El agua, al ser un medio disolvente ayuda y favorece la disolución de otros elementos, favoreciendo de esta manera la generación de diferentes minerales.

La procedencia del agua es variada, y se determina que el agua puede tener su origen en una de las siguientes descripciones:

- Aguas connatas o de formación: su origen es en los intersticios o poros de las rocas, lugar donde las moléculas quedan atrapadas.
- Aguas magmáticas: aguas primarias derivadas de procesos ígneos que dan origen a rocas intrusivas y volcánicas.
- Aguas marinas: agua de los océanos, producto de las zonas de subducción.
- Aguas metamórficas: aguas liberadas por cambios mineralógicos de minerales hidratados a minerales anhidros.
- Aguas meteóricas: incluye aguas superficiales y subterráneas.

La principal característica, es la transformación de un mineral inicial, en una nueva asociación de minerales, de mayor estabilidad bajo las condiciones físico-químicas que presenta los yacimientos hidrotermales (presión, temperatura, composición de fluidos). Debido a la interacción de agua y el magma, el cambio de temperatura puede ser insignificante, y dar lugar a la creación de cristales grandes; o puede generar

un enfriamiento rápido y repentino ocasionando que no exista paso a la formación de granos euhedrales.

Otra característica importante en los yacimientos hidrotermales, es la alteración que sufren los minerales primarios, lo cual depende de la capacidad del fluido para realizar la transformación en el mineral. El agua permite no solo rellenar los intersticios de la roca, sino que, también ayuda a fracturar y fisurar la roca, permitiendo así, una mayor alteración de la misma. La alteración puede darse por infiltración o por la difusión de los materiales que son transportados en el fluido, puede darse también por ambos procesos.

Los factores que influyen en la alteración hidrotermal de las rocas son:

- Temperatura: la diferencia de temperatura entre el fluido (magma y agua) y la roca encajante, afecta a su composición mineralógica.
- Composición del fluido: el pH del fluido debe tener un constituyente ácido, de esta manera, a menor pH mayor será el efecto de alteración.
- Permeabilidad de la roca: en rocas compactas -ígneas en su mayoría- la permeabilidad no permite que ingresen fluidos en sus poros, aunque eventualmente los fluidos producen fracturamiento hidráulico, otorgando permeabilidad secundaria en la roca.
- Duración de la interacción agua/roca: un mayor volumen de circulación del fluido y, una exposición constante y duradera, provocará cambios más significativos y completos en la roca.
- Presión: aunque no esté ligado directamente en la alteración de la roca; ayuda en el fracturamiento de la roca, para posterior a ello se realice la alteración por la acción geoquímica del fluido hidrotermal.

Los procesos que se generan debido a la alteración hidrotermal son:

- Decantación directa: los minerales de mayor densidad y con punto de fusión más alto, son los primeros en depositarse, como el magma va perdiendo temperatura, los minerales empiezan a formarse y luego se quedan atrapados en los intersticios de la roca.

- Reemplazo: la roca encajante, es susceptible a variaciones, y debido a la composición de la misma, da origen a la creación de nuevos minerales que, en condiciones adecuadas son estables en un ambiente hidrotermal.
- Lixiviación: la roca al estar compuesta por elementos químicos; algunos de ellos son lixiviados o extraídos por los fluidos hidrotermales, los cuales se asientan sobre la roca próxima, creando una capa completa de elementos lixiviados.

### **1.3. Clasificación del Macizo Rocosó**

Para determinar la composición de un macizo rocoso, se pueden emplear técnicas químicas o físicas, que permiten la comprensión a detalle del mismo, para posterior a ello realizar proyectos. En la industria minera, se utilizan parámetros de entrada como: RQD, GSI, RMR; utilizados como parámetros de entrada en 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 métodos. En la actualidad las clasificaciones se han generalizado y son ampliamente utilizadas tanto en fases de diseño como en la ejecución de proyectos.

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 geomecánico del macizo durante las obras presentadas.

Los macizos rocosos presentan comportamientos complejos, debido a los parámetros que influyen en sus propiedades y al 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 realización de ensayos sencillos (González de Vallejo et al, 2002).

Existen pequeñas limitaciones y 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 la ingeniería.

A pesar de 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.

Sistemas de clasificación geomecánica:

**Tabla 1-2. Métodos de clasificación geomecánica**

<b>Nombre</b>	<b>Siglas</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Aplicación</b>
<i>Rock load</i>	-	Terzaghi	1946	Túneles
<i>Stand up prime</i>	-	Lauffer	1958	Túneles
<i>Rock Quality Designation</i>	RQD	De Deer	1967	Testigos – Túneles
<i>Rock Structure Rating</i>	RSR	Wickham et al.	1972	Túneles
<i>Rock Mass Rating</i>	RMR	Bieniawski	1973	Túneles – Taludes
<i>Rock Tunnelling Quality Index</i>	Q	Barton et al.	1974	Túneles

Fuente: Comportamiento de roca blanda en un túnel de exploración diseñado con el sistema Q (Quispe, 2012)

### **1.3.1. Parámetros que caracterizan un macizo rocoso**

Entre los principales parámetros que se analizan para clasificar un macizo rocoso, se tiene en cuenta: la resistencia de la roca matriz, la presencia de agua, la tensión en el macizo y las discontinuidades.

#### **1.3.1.1. Discontinuidades.**

La mayoría de las clasificaciones están pensadas para el estudio de macizos en los que la resistencia de la roca matriz es elevada y la gran mayoría de las roturas se producen a través de discontinuidades, por tanto, la descripción de estas representa una parte muy importante de los sistemas de clasificación.

La continuidad o persistencia es uno de los parámetros más difícilmente cuantificables. Es muy importante tener en cuenta que la continuidad medida en rumbo puede ser muy diferente a la medida en la dirección de buzamiento, lo cual puede variar sustancialmente el resultado obtenido cuando aplicamos clasificaciones geomecánicas.

Todos los parámetros referentes a las discontinuidades y anteriormente descritos suelen darse, no para una discontinuidad en particular, si no, que suelen referirse a grupos de familias a modo de disminuir el número de parámetros y facilitar los cálculos.

Se denomina familia de discontinuidades al conjunto de aquellas que presentan una misma orientación y propiedades semejantes.

#### **1.3.1.2. Tamaño y forma de bloque**

La intensidad de fracturación del macizo es uno de los parámetros más complejos de medir debido a su carácter tridimensional. El tamaño y forma de los bloques de roca intacta que quedan entre las discontinuidades condicionan en gran medida el comportamiento del macizo. Los macizos constituidos por bloques de gran tamaño tienden a ser menos deformables. En el caso de taludes, los macizos formados por bloques de pequeño tamaño pueden llegar a romperse con mecanismos propios del suelo (ISRM, 1978). Estos dos factores están determinados por el número de familias, su espacio y continuidad.

El tamaño de los bloques puede describirse principalmente mediante dos parámetros: el índice de tamaño de bloque ( $I_b$  o  $V_b$ ) y el número total de discontinuidades que interceptan un metro cúbico de macizo ( $J_v$ ).

En muchas ocasiones el único método utilizado para determinar la intensidad de fracturación en un macizo es el índice “*Rock Quality Designation (RQD)*”, que se define como la relación de los trozos de testigo mayores de 100 mm y la longitud total de la maniobra en un sondeo (Deere, 1962)

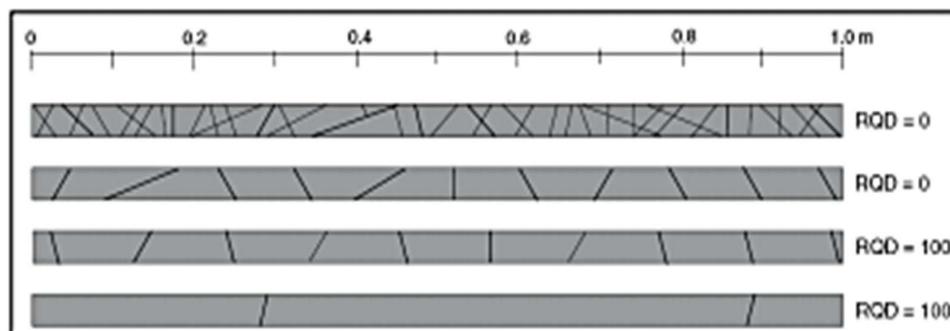
Hay ocasiones en las que no se dispone de sondeos, en estos casos el RQD puede obtenerse, a partir del espaciado de juntas, siguiendo el método propuesto por *Priest and Hudson* (1976):

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Siendo  $\lambda$  el número de juntas por metro lineal.

El RQD presenta, como apuntan varios autores, muchas limitaciones y una incorrecta utilización puede ocasionar importantes errores.

La primera limitación del RQD viene determinada por su propia definición. Al ser arbitraria la medida de los 100 mm no tiene, como puede verse en la figura 1.1



**Figura 1.1. Ejemplos de máximo y mínimo RQD**

Fuente: (Palmstrom, 2001)

La otra gran limitación del RQD viene dada, al igual que en otras medidas lineales aplicadas a propiedades tridimensionales, por la gran sensibilidad a la direccionalidad de la medida.

Los parámetros tridimensionales ( $I_b$  o  $J_v$ ) caracterizan mucho mejor el tamaño del bloque que el RQD (Palmstrom, 2005). “El RQD es un parámetro práctico para la testificación de testigos de sondeo, pero no es suficiente por si solo para la adecuada descripción de un macizo rocoso” (Bieniawski, 1989).

En ocasiones donde se necesite el valor de RQD, por ejemplo, para su utilización en una clasificación geomecánica, es recomendable, sobre macizos anisotrópicos, utilizar las siguientes correlaciones propuestas por Palmström (1974):

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

Para bloques planos o alargados y la relación:

$$RQD = 110 - 2,5 J_v$$

para bloques de forma cúbica.

### **1.3.1.3. Resistencia a la compresión simple**

La resistencia de la matriz rocosa presenta una gran importancia en el comportamiento del macizo, sobre todo cuando se trata de rocas blandas, ya que los macizos compuestos por rocas duras se ven más influenciados por el comportamiento de las discontinuidades que por el comportamiento de la matriz rocosa.

La mejor manera para determinar la resistencia a compresión simple de una roca es mediante ensayos de laboratorio. El ensayo de resistencia a compresión uniaxial aporta un valor fiable de la resistencia de la roca matriz. No obstante, existen métodos de campo para la determinación de la resistencia de una matriz rocosa. Los más utilizados son el ensayo de carga puntual, el martillo Schmidt y los índices de campo.

Un método ampliamente utilizado es el ensayo de carga puntual o *point load test* (PTL). El ensayo se basa en la rotura de una muestra de roca por la aplicación de una fuerza de compresión mediante dos puntas cónicas.

La posibilidad de realizar el ensayo sobre muestras irregulares hace del PLT una herramienta muy útil en el campo. Esto junto a la gran facilidad del ensayo hacen del

PLT un buen método para estimar la anisotropía de la matriz rocosa mediante la realización de ensayos en diferentes orientaciones.

Puesto que la rotura es frágil, y a tracción, los resultados muestran una gran dispersión. En laboratorio suele requerirse del ensayo de al menos 10 muestras (Romana, 1996).

La relación entre el índice de compresión ( $I_s$ ) y la resistencia a compresión simple es el punto débil de este ensayo. Son muchas las correlaciones existentes, pero en la práctica la variabilidad en los datos es muy alta. Bieniawski (1975) propone la relación:

$$RCS = 24 * I_{50}$$

Brook (1985) corrige esta relación y propone:

$$RCS = 22 * I_{50}$$

No obstante, Bieniawski (1989) utiliza en sus clasificaciones geomecánicas la correlación:

$$RCS = 25 * I_{50}$$

La gran variabilidad en las correlaciones y la dependencia de otros parámetros de la roca, hace que se desaconseje el uso de este ensayo para obtener la resistencia a la compresión simple de la roca, aun cuando es parámetro de entrada en alguna clasificación RMR.

### **1.3.2. *Rock Mass Rating (RMR)***

La clasificación ha sido desarrollada por Bieniawski entre los años 1972 a 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 roca inalterada (clasificación uniaxial 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 1-3. Índice de calidad de la roca RMR**

<b>Índice RMR</b>	<b>CLASE</b>	<b>CALIDAD</b>
100 a 80	I	Muy buena
80 a 60	II	Buena
60 a 40	III	Mediana
40 a 20	IV	Mala
< 20	V	Muy mala

Fuente: Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989) (Lapresta, 2014)

#### **1.4. Sistemas de explotación**

Un sistema de explotación es el 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 determinar el método de explotación se vuelve la mayor prioridad, en la cual el proyecto es donde empieza a tomar forma, y a ser juzgado. Un sistema ineficiente y mal manejo puede ocasionar el fracaso; sin importar la cantidad de mineral presente en el yacimiento.

Si bien es cierto que la ley es la variable más importante al momento de determinar la viabilidad del proyecto, también se debe manejar la relación estéril/mena; puesto que, la dilución podría ser alta y esto conllevaría un alza en los costos de producción. El sistema de explotación debe permitir que la dilución sea baja, que la ley o tenor no sea afectada y que la extracción del mineral no afecte a la estabilidad del macizo.

Varios casos se han dado en el país, así como también en el mundo, casos que mencionan el colapso de galerías enteras y que han significado la bancarrota a empresas, la pérdida de bienes materiales y en el peor de los casos talento humano. El caso más conocido: el de la mina San José, cerca de la ciudad de Copiapó en Chile, un colapso de la galería principal provocó el derrumbe de la única salida con la cual contaba la mina. En el país esta historia no está lejos de recordar la realidad a la cual se enfrenta el minero, un caso fue el que se presentó en la ciudad de Portovelo, en la mina Casa Negra, un colapso de uno de los pilares de sostenimiento dejó atrapados a 4 obreros.

Por ello es indispensable la implementación de un sistema de explotación, el cual esté adecuado a las condiciones del yacimiento; que permita dar la protección debido al personal; y que, genere la producción de material requerida. Debe ser continuamente revisado y se debe verificar las condiciones del mismo, si se necesita de sostenimiento o si es necesario cambiar el método de explotación.

Los métodos de explotación que se pueden utilizar son: a cielo abierto, subterráneo y aluvial. Se han dado casos que se usan dos métodos de explotación para un yacimiento, usando primero el método a cielo abierto, y luego el método por subterráneo, usando este como un complemento del primer método. Logrando de esta forma acceder por completo hasta los orígenes mismos del yacimiento, pudiendo acceder a profundidades mayores a los mil metros.

La mina de cobre y zinc Kidd Creek, ubicada al norte de Ontario, Canadá, tiene una profundidad de 2,9 Km, la cual inició en 1966 como una mina a cielo abierto, y en la actualidad se la trabaja como una mina subterránea, otro caso es la mina de oro Mponeng, ubicada al suroeste de Johannesburgo, Sudáfrica, actualmente es la mina más profunda del mundo; cuenta con una profundidad de 3,9 Km., y dependiendo de las reservas la mina puede continuar descendiendo para lograr obtener el tan preciado mineral.

Pero todo ello es gracias a la disponibilidad de sistemas de explotación, los cuales son variados y que se pueden llevar a cabo en fases, y así mismo se los puede complementar con otro sistema de explotación, y aunque eso depende de las condiciones geomorfológicas del yacimiento; la aplicación de varios sistemas de explotación es una práctica común.

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

- Sostenimiento natural:
  - Cámaras y pilares (*room and pillar*)
  - Cámaras por subniveles (*sublevel room*)
- Sostenimiento artificial:
  - Corte y relleno (*cut and fill*)
- Por hundimiento:
  - Hundimiento por bloques (*block caving*)
  - Hundimiento por subniveles (*sublevel caving*)

#### **1.4.1. Auto-sostenimiento:**

Las cámaras y pilares, así como también las galerías y subniveles, son los métodos que se encuentran en esta división de los sistemas de explotación.

#### **1.4.1.1. Cámaras y pilares:**

Es uno de los principales métodos subterráneos que existen, siendo aplicable en yacimientos tabulares, horizontales o sub-horizontales. Es aplicable en explotaciones para menas ricas en minerales metálicos (oro, cobre), y en menas de minerales no metálicos como los yacimientos de carbón.

Básicamente consiste en desarrollar frentes de explotación que aprovechen al máximo la potencia del yacimiento; dejando a su paso estructuras de soporte para evitar el colapso del techo, las estructuras son conocidas como pilares, se componen de mena, evitando de esta forma la necesidad de entibar o crear refuerzos de cemento.

La disposición de los pilares puede ser de dos tipos: regular e irregular. Se debe tomar en cuenta que, a mayor amplitud de las cámaras, se reduce las dimensiones de los pilares, condicionando así la estabilidad de las labores; por el contrario, si los pilares son sobre dimensionados, se corre el riesgo de no poder recuperar un porcentaje mayor al 90 % de la mena contenida en el yacimiento, y se estaría dejando leyes altas en los pilares.

Para determinar la disposición de los pilares, el tamaño de los mismos, y las dimensiones de la cámara, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Calidad de la roca
- Potencia del yacimiento, ley mineral
- Geomorfología del yacimiento
- Geometría del yacimiento, entre otros.

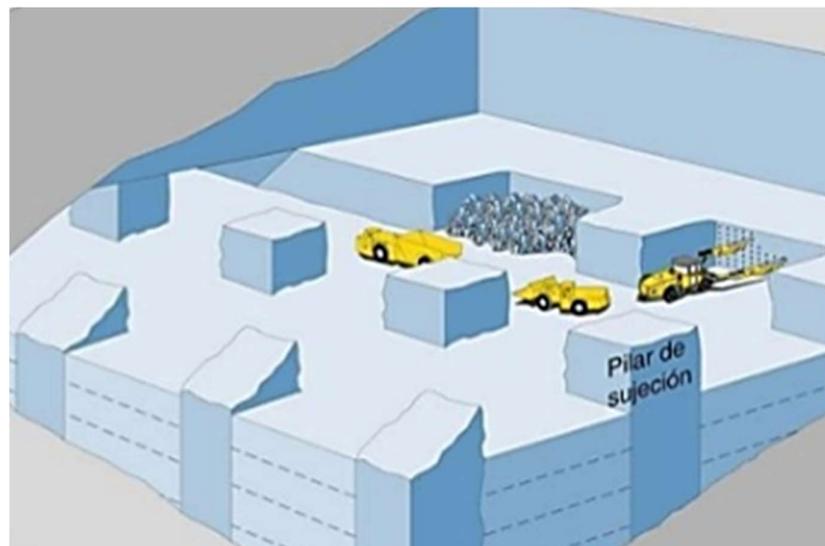
#### **Ventajas del método:**

- Método simple, pudiendo ser aplicado en minas pequeña a gran minería
- Costo de inversión baja
- Estabilidad de forma natural
- Baja dilución mineral (10 a 25 %)

- El método es selectivo
- Rápida recuperación mineral, no se oxida en las cámaras

**Desventajas del método:**

- Baja a moderada productividad
- Requiere gran mano de obra
- Debido al espacio entre pilares, limita la mecanización
- Si no se recupera el pilar, gran parte del mineral se queda preso en las cámaras.



**Figura 1.2. Sistema de explotación de cámaras y pilares**

Fuente: Diseño de pilares mediante el método del área tributaria (Monsalve, 2016)

**1.4.1.2. Cámaras por subniveles:**

Este método es aplicable en yacimientos regulares, es decir con una geometría muy poco variable; además, el mineral y la roca encajante sean resistentes al esfuerzo. La principal característica de este método es la alta productividad, utiliza muy bien la gravedad para dejar caer el material entre los subniveles, todo el material almacenado y extraído por un nivel inferior y llevado a la superficie por medio de sistemas de izaje.

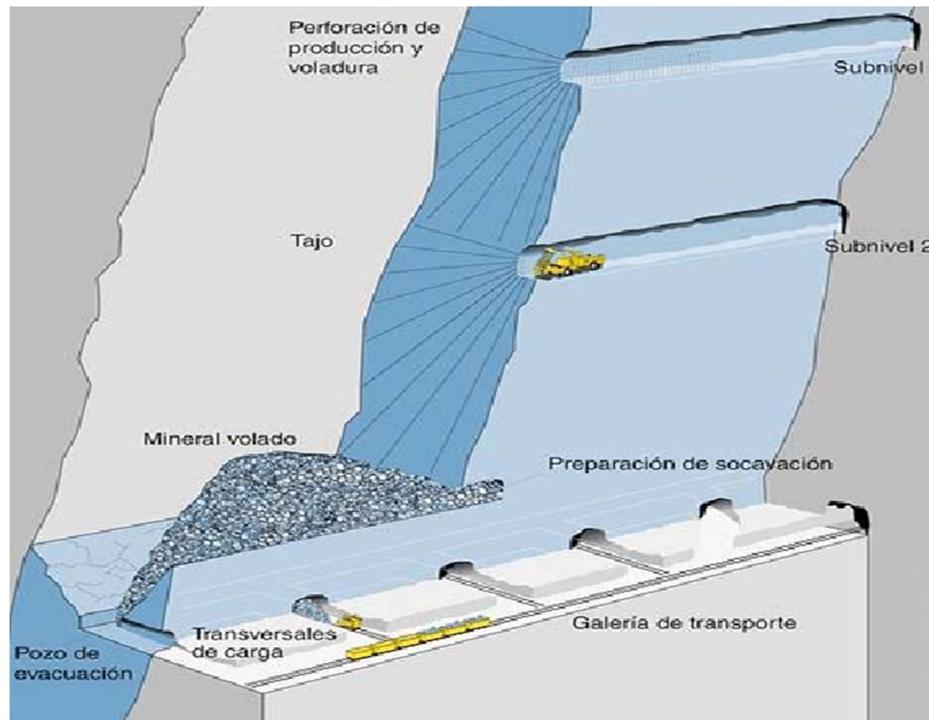
Básicamente son dos parámetros los que se toman en cuenta para el diseño de la distancia entre los niveles y cada subnivel, los parámetros son el costo de operación y la dilución mineral. Por lo general los costos disminuyen al aumentar la altura, pero al hacer eso también aumenta la dilución, ambos parámetros son directamente proporcionales. La distancia entre niveles oscila entre 90 a 100 metros, para toda la cámara y los subniveles pueden llegar a tener entre 15 a 30 metros de distancia entre cada uno.

Las cámaras longitudinales, al descubrir una superficie mayor de hastiales, son peores para la dilución que las transversales. Pero éstas últimas necesitan unos pilares que representan normalmente el 50 por ciento del mineral del criadero, mientras en las longitudinales es mucho menor. Actualmente la distancia entre niveles oscila entre 100 y 130 m para toda la cámara y los subniveles se sitúan cada 30 m de altura.

Excepcionalmente se ha utilizado este método en criaderos de poca pendiente, pero su eficacia es mucho menor. Se puede emplear en criaderos verticales de poca potencia, hasta un mínimo de 7 m, con subniveles paralelos a los hastiales. En criaderos potentes pueden trazarse las cámaras en dirección perpendicular a los hastiales, como labores de través. En general, el método básico se adapta a las condiciones de cada criadero.

Por la amplia preparación previa que necesita se precisa disponer de medios para realizar una fuerte inversión, pero en compensación es uno de los de menor costo y de mayor garantía de seguridad. Hay que tener en cuenta estas condiciones al elegir el método, que, por otra parte, es de los mejores en condiciones adecuadas del 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 los 60 y 130 m.



**Figura 1.3. Sistema de explotación, cámaras por subniveles**

Fuente: Métodos de explotación (Reyes, 2005)

#### **1.4.2. Sostenimiento artificial:**

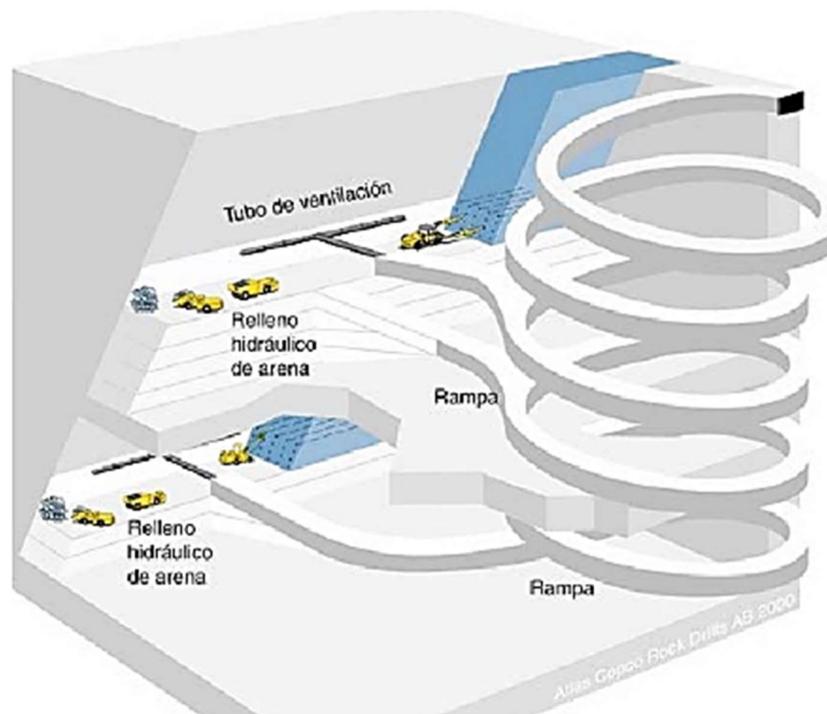
El principal método de explotación que se distingue en el sostenimiento artificial es el de: corte y relleno.

##### **1.4.2.1. Corte y relleno:**

La característica del método es el ciclo repetido de perforación, voladura, carga y relleno. El mineral que a extraerse es arrancado por secciones horizontales o inclinadas, trabajando 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.

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.



**Figura 1.4. Sistemas de explotación, corte y relleno**

Fuente: Método de explotación (Reyes, 2005)

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

El método puede ser empleado como una variante al método de subniveles, debido a las similitudes al inicio de la elaboración de los métodos. Si en la planificación se determina hacer cámaras por subniveles, puede que en la práctica las propiedades del macizo determinen que se pueda alternar técnicas entre los métodos.

Para retirar el material de la cámara se debe realizar buzones –cámaras pequeñas para almacenar mineral y luego ser vertido en vagones y ser retirados a la superficie– para almacenar el mineral, por lo general los buzones son colocados entre 20 a 25 metros.

Una vez realizada la voladura, el mineral es llevado hasta los buzones, luego se procede a cubrir los buzones y se vierte material estéril sobre la cámara, para rellenar y poder elevar el nivel del piso, y así seguir con la perforación de forma ascendente.

El relleno puede ser de dos tipos: relleno seco, compuesto de arenas, cemento y residuos molidos; relleno hidráulico, compuesto por grava, rocas de labores preparatorio.

En el caso de ser relleno seco, el vertido se hace con palas o con LHD; en cambio, si se trata de relleno hidráulico, se vierte a través de tuberías, usando técnicas de decantación y filtrado; usando la cámara almacén o buzón como un medio para que escurra el agua que fue empleada en el vertido. También es común que se agregue cemento en el relleno hidráulico, con el objetivo de alcanzar resistencias mayores a la compresión, del orden de 0,7 a 1,0 MPa. (Minerosoy, 2016)

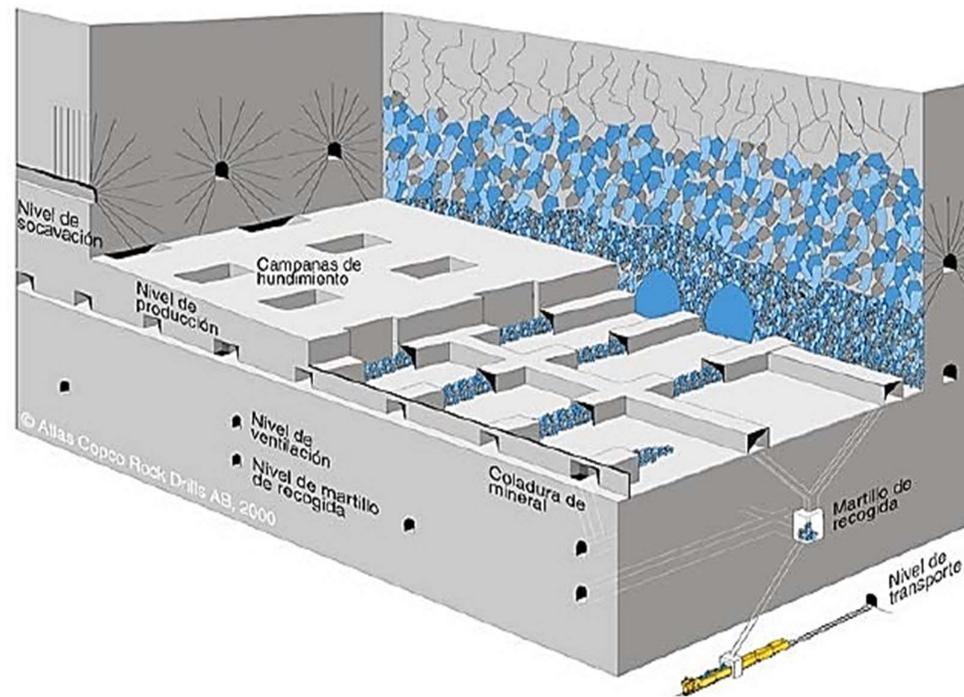
### **1.4.3. Por hundimiento:**

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

#### **1.4.3.1. Hundimiento por bloques:**

Este método se emplea en yacimientos 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 fragmentarlo se generan redes pequeñas de chimeneas y galerías, que permitan una correcta fracturación 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 carga previamente construidos. (Minerosoy, 2016)



**Figura 1.5. Sistemas de explotación, hundimiento por bloques**

Fuente: Método de explotación (Reyes, 2005)

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

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

Entre los principales yacimientos y los más comunes que permiten realizar el método están: minerales de hierro y minerales muy diseminados en zonas desérticas.

Las ventajas del método son:

- Bajo costo de producción.
- Producción elevada.
- Se pueden mejorar las condiciones aumentando la eficacia y seguridad del trabajo.

- Frecuencia de accidentes baja.

Las desventajas del método son:

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

#### **1.4.3.2. Hundimiento por subniveles:**

Este método se emplea en yacimientos de forma vertical o tabulares, de gran espesor, masivos o que cuenten con una potencia considerable, mayor a los 20 metros; se divide en bloques o sectores, y cada bloque es extraído desde su base.

La roca mineralizada, así como también la roca encajante, deben presentar condiciones excelentes de estabilidad, dureza y resistencia, para evitar que las grandes cámaras generadas por el hundimiento lleguen a colapsar.

Para lograr llegar a la roca mineralizada, se debe primero elaborar subniveles, desde los cuales se empieza a 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.

El mineral se recolecta en buzones con forma de embudo, que son emplazados en la misma base del nivel inferior, con ello se facilita la extracción del mineral y se logra optimizar el método.

Ventajas del método:

- Permite aplicaciones mecanizadas
- Alta productividad
- Método seguro y fácil de ventilar

- Recuperación sobre el 90 %
- Dilución baja < 20 %

Desventajas del método:

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

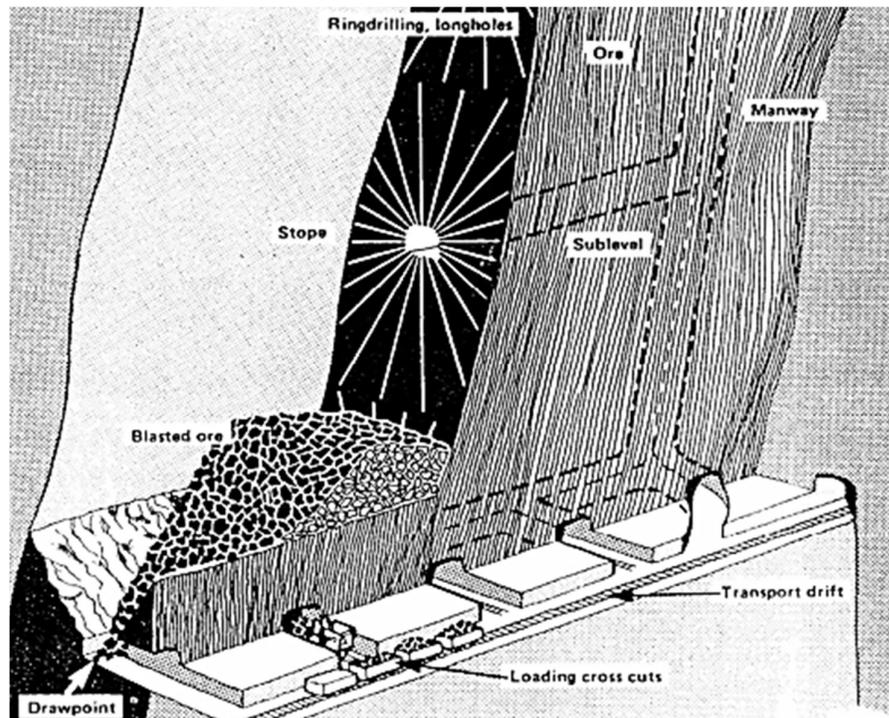


Figura 1.6. Sistemas de explotación, hundimiento por subniveles

Fuente: Método de explotación (Reyes, 2005)

## 1.5. Topografía

La topografía se define como la herramienta necesaria para describir de forma gráfica o numérica puntos comprendidos entre una superficie o espacio limitado.

Otros autores citan a la topografía como el arte de determinar la posición relativa de los distintos detalles de porciones de la superficie. (Norman Thomas, 1920). Higgins

en 1943 señaló: la topografía puede describirse como el arte de realizar medidas sobre la superficie terrestre con el propósito de elaborar mapas, planos o determinar una superficie.

Sin importar el concepto que se asemeje más a la realidad de la topografía, no cabe duda que la amplitud de campos en los cuales se puede realizar la topografía es muy extensa, desde pequeñas parcelas o linderos de tierras, hasta ciudades o países completos; todo se puede graficar y generar puntos para conocer su ubicación en el espacio.

### **1.5.1. Equipos de topografía.**

Los equipos que se pueden utilizar para realizar un estudio de topografía son:

- Eclímetro: los eclímetros están formados por un semicírculo graduado y una plomada que cuelga del centro del arco del semicírculo. La línea de cual cuelga la plomada, sirve para dar lectura al ángulo vertical formado entre dos puntos.
- Brújula: la brújula es utilizada para medir el rumbo y buzamiento que describe un plano, falla, estrato, túnel, vía, etc. La brújula mide el ángulo de azimut formado por el norte y al área o elemento de estudio. Tiene el este invertido, es decir, está ubicado al lado izquierdo del norte; esto es para la correcta lectura e interpretación de los datos al momento de graficar los puntos, ya sea de forma digital o manual.
- Teodolitos: son equipos que tienen la característica de contar con herramientas de medición de distancia entre puntos, de ese modo no necesita de metros o cintas. Puede realizar también la medición de ángulos verticales y horizontales, haciendo de esta forma más rápida y eficiente la toma de datos, aunque es un poco difícil su traslado por el peso del equipo y por el tamaño de sus accesorios (trípode y regleta).
- Estación total y escáner láser 3D: Consisten en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico. Sirven para generar puntos de forma digital; y tienen la capacidad de generar miles de puntos desde una misma locación, de ese modo sin la necesidad de reubicarlos se puede realizar el levantamiento completo de toda una estructura o instalación. Los datos obtenidos son de forma digital, y por ende permiten realizar los levantamientos en el menor de los tiempos, con mejor precisión y con un mayor detalle del relieve de las superficies.

### 1.5.2. Métodos topográficos

Dependiendo del tipo de instrumento con el cual se cuente para realizar la topografía de una mina, se puede optar por una técnica para el levantamiento del interior de la mina. Tomando en cuenta la facilidad que cada equipo brinde para transportarse a las labores mineras, y la dificultad que los equipos generen al moverse por cada labor; es necesario conocer los métodos que se pueden aplicar.

Métodos planimétricos: está basado en situar o colocar dos puntos de origen para conocer la ubicación de un punto por medio de triangulación; conociendo dos puntos se conoce también el ángulo que estos generan; y por medio de teoremas trigonométricos, se puede determinar la ubicación del punto que se desea conocer. Esta técnica sirve para situar puntos en un plano horizontal. Los puntos deben ser visibles entre sí. Se suele emplearse para el levantamiento de objetos pequeños.

Método itinerario: sirve para realizar el levantamiento de objetos de tamaño considerable (edificios, casas, construcciones, etc.), a través de un polígono que se debe generar alrededor de los objetos de estudio. Se puede determinar la ubicación de los puntos que limiten al objeto; se toma en cuenta el ángulo de azimut generado entre cada estación, la distancia entre las mismas, y la cantidad de puntos que se levantan en cada estación; el levantamiento se realiza de modo horizontal y vertical.

Método de radiación: consiste en situar el equipo en una estación fija, y desde la misma realizar el levantamiento de todo el objeto de estudio, desde la posición fija se proyectan ángulos hasta las caras a estudiar, se toman puntos para ubicar la superficie en el plano y así poderla graficar. Por lo general esta técnica se la realiza cuando se desea levantar una cara o superficie de un objeto, de este modo no se hace necesario el movimiento del equipo topográfico; aunque también es muy empleada en la topografía de interior, es decir aquella que se realiza dentro de los objetos de estudios como pueden ser: salas de edificios, capillas de iglesias, campos de fútbol, graderío de coliseos, galerías o frentes de explotación, etc.

### **1.5.3. 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 el cual va a ser representado, estos pueden ser: vías de comunicación, relieve del terreno, red hidrográfica, ubicación de sitios y ciudades, ríos y centros poblados (toponimia), entre la información principal y los que el diseñador tenga interés en representar.

### **1.6. Softwares mineros**

La gran cantidad de información que se genera durante la exploración facilita el entendimiento de las condiciones geológicas del yacimiento; pero, para lograr llevar registro de dicha información, así como también, lograr gestionar y almacenarla; es necesario generar una base de datos que nos permita hacer uso de los mismos, y así, editar los parámetros que sean necesarios para alcanzar el objetivo final, que sería la interpretación total del yacimiento o la zona de estudio.

Entonces surge la minería de datos como una tecnología que busca ayudar y comprender el contenido de bases de datos, para luego convertirlos en información, y de forma eficaz ayude en la toma de decisiones.

Las aplicaciones que surgieron a partir de la minería de datos, favorecieron al mejoramiento y desarrollo de la actividad humana, siendo la minería parte de este desarrollo, usando las bases de la minería de datos, se crearon aplicaciones con uso directo en: evaluación de recursos, reservas minerales, modelamiento geológico, planeamiento minero y diseño de explotaciones. Existen también otros programas de bases de datos, 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 una alternativa, variante o como un primer paso, en el uso de la información. Tomando como parte de las herramientas que algunos softwares poseen, y su aplicación directa; se podría decir que de for-

ma general existe una clasificación en cuanto a los programas, y son: programas con aplicaciones mineras y programas específicos mineros.

Si 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.

### **1.6.1. 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 dominio público.

#### **1.6.1.1. Hojas de cálculo**

La hoja de cálculo, en sí, 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:

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

#### **1.6.1.2. 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 en 2D y 3D y luego mediante los formatos para guardar los archivos, se puede importar la información a otros programas, tales como: ArcGIS, SURFER, SGeMS, RecMin, etc.

#### **1.6.2. 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 nece-

sitando 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 sirvan para el desarrollo de la industria 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, han impulsado el desarrollo de lagunas marcas emblemáticas de la industria, como es el caso de: Maptek Vulcan, Micromine, Surpac, QMASTOR, entre otras.

Lo que hace único a este tipo de softwares 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 o proceso, de esta manera logran generar una línea continua para el correcto uso de la información.

### **1.7. Software minero RecMin**

RecMin (Recursos Mineros), es un software creado por el Dr. César Castañón Fernández, profesor principal de la Universidad de Oviedo, él creó el software como un programa de aplicación privada, para las actividades diarias de la empresa canadiense Río Narcea Gold Mines S.A.

El software fue creado en el año 1992; pero con el pasar de los años, el Dr. Castañón desarrolló el programa como un software de libre acceso, permitiendo a los usuarios poder descargarlo de forma gratuita desde internet, y, ofreciendo cursos en línea, ha permitido que los usuarios lleguen a utilizar el software de manera eficiente.

RecMin cuenta con módulos -aplicaciones del programa que permiten editar y hacer uso de información; adecuándose éstos a la etapa en la cual se encuentra el proyecto minero- cada módulo puede crear un proyecto, editar la información de sondeos, modelado 3D, elaboración de sistemas de explotación y un módulo para guardar el desarrollo o el avance.

- **Ventajas:**

- Software de libre acceso.
- Herramientas para importación de datos de sondeos.
- Creación de superficies topográficas, a partir de archivos DXF y DWG, que hayan sido elaborados en CAD.
- Herramientas para visualizar en 3D los objetos diseñados
- Elaboración de bloques de explotación a partir de modelos geométricos.
- Interpolación de leyes correspondientes a cada bloque, usando el algoritmo inverso a la distancia.

- **Desventajas:**

- No contiene herramientas geoestadísticas para estimar por *kriging* un modelo de bloques.
- No permitir editar yacimientos que cuenten con gran información.
- Se puede aplicar únicamente para mediana y pequeña minería.
- Se aplica únicamente en el sistema operativo Windows de Microsoft.

## CAPÍTULO II

### INFOMACIÓN GENERAL Y GESTIÓN DE DATOS

En este capítulo se detallará toda la información necesaria para elaborar el sistema de explotación, dimensiones de las labores mineras, cotas de explotación, tipo de maquinaria, labores mineras antiguas, etc. Se va a abordar 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 está legalmente constituida y cuenta con todos los permisos que las entidades públicas requieren, el área por tanto se encuentra vigente.

#### 2.1. Información de la Concesión

El nombre de la concesión minera en la cual se encuentra la mina es: JUNTAS 1, con código 300896. La cual está ubicada en el sector La Playa, de la parroquia El Progreso, del cantón Pasaje, en la provincia de El Oro.

##### 2.1.1. Ubicación geográfica y área minera

A continuación, se detallan los vértices de la concesión. *(Ver anexo e) mapa de ubicación de la concesión).*

**Tabla 2-1. Ubicación geográfica de la concesión Juntas 1**

<b>COORDENADAS UTM – DATUM PSAD 56</b>			
<b>VÉRTICES DE LA CONCESIÓN MINERA JUNTAS 1</b>			
<b>VÉRTICE</b>	<b>ESTE (X)</b>	<b>NORTE (Y)</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>
<b>P.P.</b>	651.700,00	9'644.000,00	P.P. - 1 = 500,00 m
<b>P.1</b>	652.200,00	9'644.000,00	1 – 2 = 100,00 m
<b>P.2</b>	652.200,00	9'643.900,00	2 – 3 = 1.800,00 m
<b>P.3</b>	654.000,00	9'643.900,00	3 – 4 = 1.900,00 m
<b>P.4</b>	654.000,00	9'642.000,00	4 – 5 = 6.000,00 m
<b>P.5</b>	650.000,00	9'642.000,00	5 – 6 = 1.800,00 m
<b>P.6</b>	650.000,00	9'643.800,00	6 – 7 = 1.700,00 m
<b>P.7</b>	651.700,00	9'643.800,00	7 – P.P. = 200,00 m

Fuente: Informe de producción concesión minero JUNTAS 1

**Tabla 2-2. Hectáreas del área minera**

<b>ÁREA MINERA:</b>	748 hectáreas
---------------------	---------------

Fuente: Informe de producción concesión minero JUNTAS 1

### **2.1.2. Accesibilidad a la concesión**

La ruta de acceso a la concesión es de forma terrestre, la cual es de segundo orden, completamente vía lastrada todo el tramo. El punto de referencia se sitúa desde la ciudad de Pasaje; la autopista a tomar es la vía Pasaje-Cuenca o Interestatal Sureste (E87). Se debe conducir por una distancia de 17 km, hasta el sector conocido como Santa Cecilia, una vez ubicados allí hay que ingresar por la vía que conduce al sector La Playa, después de 12 km de recorrido llegamos al sector El Mirador, sector en el cual se ubica la mina, objeto de estudio del presente proyecto.

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

La empresa se encuentra en fase de explotación, y realiza también labores de exploración de forma simultánea.

#### **2.1.3.1. Exploración**

La exploración que la empresa realiza está centrada en generar galerías exploratorias, usadas nada más para conectar la galería principal con valores de mejor ley. Lo que se realiza es muestreo por punteo en zonas mineralizadas, en aquellos sectores abandonados, frentes de trabajo que no se continuaron o siguiendo fallas geológicas.

Casos en los cuales los valores den resultados positivos se inician las galerías de exploración, esto hasta llegar a los valores de mayor concentración mineral. Las muestras son analizadas en laboratorios químicos ubicados en el sector El Pache, y los resultados son únicamente de conocimiento del representante legal. Cuando se encuentran los bloques o estructuras mineralizadas, la etapa de explotación comienza.

#### **2.1.3.2. Explotación y Extracción**

Actualmente la mina cuenta con tres niveles, situados cada uno a diferencia de 10 metros de distancia entre nivel. La bocamina se encuentra a una altura de 1591

msnm, y para acceder al bloque mineral, las administraciones anteriores construyeron un socavón de 60 metros de distancia.

El primer nivel se conecta con el socavón directamente, y cuenta con un área ya explotada y también un túnel para exploración ahora abandonado; cuenta con una chimenea que conecta el primer nivel con el segundo, misma que sirve para el flujo del personal y la extracción del mineral a través de un sistema de izaje operado por un winche.

El segundo nivel cuenta con buzones para el almacenamiento del material, el cual se encuentra al pie de la chimenea. También existe un área ya explotada que ahora se encuentra abandonada y dos frontones de los cuales extraen material. El segundo nivel cuenta con una chimenea la cual conecta con el tercero.

El tercer nivel ha sido construido a manera de túnel exploratorio. El material que de ahí se extrae es transportado al segundo nivel y luego al primero. En total la mina cuenta con tres niveles y dos chimeneas, y la profundidad de las labores que llegan hasta los 30 metros de profundidad.

El transporte en interior mina se lo realiza mediante vagones, que son impulsados de forma manual. Existen ocho vagones en total, cada uno con capacidad de carga de 0,75 ton de material. La mina por día extrae la cantidad de: 108,20 ton; eso debido a que no todos los vagones están operativos, y por la jornada de trabajo, lo cual indica que cada vagón realiza 27 viajes de salida de material, tomando en cuenta que son cinco los vagones que se encuentran operativos.

Para el arranque del material se utiliza dinamita AMON y ANFO como retacado. Las dimensiones de las galerías de explotación dependen de la potencia del bloque mineral, pudiendo ser entre dos metros hasta cinco metros. Por lo general se realizan entre 60 a 90 barrenaciones, depende del tipo de operación que se vaya a ejecutar, por ejemplo: si es para la extracción mineral se perforan 90, en cambio, si es para exploración se realizan 60.

La perforación se realiza con máquina de barrenar, utilizando barrenos de hasta 1,60 metros. Posterior a la voladura, se realiza la clasificación del material en el interior

de mina, esto para evitar que material inerte o ganga, sea llevado a los buzones -cajas armadas de madera ubicadas en el interior de la mina, y usados para almacenar material para su posterior traslado- en exterior mina se encuentran dos tolvas, una de ellas sirve para el almacenamiento de la mena y la otra para la ganga.

La mena es llevada hacia la planta de beneficio propiedad del titular de la mina, mientras que la ganga suele ser utilizada como producto base para la construcción de muros de escolleras o también como ripio para el recubrimiento de la vía de acceso a la concesión.

## **2.2. Geología**

En la zona de estudio, las formaciones geológicas ocurren como lajas tectónicas asociadas en forma directa con las rocas basálticas de la Unidad Pallatanga (INGEMMET, DINAGE, 2005). Las litologías típicas, las cuáles son calcáreas, incluyen básicamente sedimentos turbidíticos marinos dentro de lo que se diferencian niveles de areniscas, lutitas y limonitas (Pratt y otros, 1997). La edad de la secuencia establecida mediante análisis micropaleontológico indica una edad ubicada en el Cretácico tardío. (INGEMMET, DINAGE, 2005).

### **2.2.1. Geología regional**

Las principales formaciones que se encuentran en la concesión son la Formación Pisayambo y el grupo Saraguro.

**Formación Pisayambo.** Es una potente y extensa secuencia volcánica que cubre grandes áreas de la cordillera Occidental, en la parte centro-sur del Ecuador, los piroclastos son predominantes en la unidad inferior que incluye brechas gruesas y aglomerados como también tobas con algunas lavas. Flujos masivos de lavas basáltica andesíticas predominan en la parte superior (Baldock, 1982). Determinaciones radiométricas de Baberi et al., (1988), sugieren que la parte basal tiene una edad media entre 6-5 Ma.

**Grupo Saraguro.** Consiste principalmente de tobas soldadas de flujo de ceniza de composición dacítica a riolítica, lavas andesíticas, material volcánico rebajado y ro-

cas sedimentarias. La mayor parte del grupo Saraguro está indiferenciado; pero se reconocen las siguientes seis unidades litológicas: Formación Las Trancas, Unidad Portovelo, Formación Plancharumi, Formación La Fortuna, Formación Jubones y Formación La Paz. (*Ver anexo f) mapa de geología regional*).

### 2.2.2. Geología local

La concesión minera Juntas 1 está ubicada en la región sur de la cordillera Occidental. Ubicada completamente dentro del Grupo Saraguro, y consta de las siguientes formaciones: Formación Jubones, Formación La Fortuna y rocas intrusivas. (*Ver anexo g) mapa de geología local*)

- Formación Jubones: En la Formación Jubones sobre yacen los más antiguos estratos del Grupo Saraguro con una fuerte discordancia angular en algunos lugares, por ejemplo: Narihuiña y Pedernales, y consiste de una toba rica en cristales de plagioclasas, biotita y cuarzo. El afloramiento indica un área original de menos 2700 km<sup>2</sup> con un espesor máximo de 500 m.
- Formación La Fortuna: cubre al menos 450 km<sup>2</sup> y sobre yacen estratos antiguos en discordancia angular, buzando suavemente desde el páramo, cerca de La Enramada, hasta la planicie costera en Pasaje. Alcanza hasta los 600 m de espesor. Geoquímica y petrográficamente es muy similar a la toba de la Formación Jubones, pero con presencia de una matriz fina (vitroclastos) y contiene únicamente cristales diseminados de plagioclasa, biotita y cuarzo.
- Rocas Intrusivas: La granodiorita y la riolita son las principales rocas intrusivas presentes en el sector de estudio. La granodiorita generalmente de grano medio a grueso, y a menudo presenta evidencia de enfriamiento brusco. Stocks sub volcánicos de riolita afírica y andesita porfirítica son comunes dentro del Grupo Saraguro.

### 2.3. Mineralogía del yacimiento

La mineralogía que constituye la zona de estudio corresponde a:

Diques granodioríticos: en forma de cuerpos intrusivos que cortan la roca encajante, principalmente andesita, y también a la Formación Jubones. La granodiorita es de color rosado con textura holocristalina, inequigranular y localmente presenta textura porfídica. La composición mineralógica es la siguiente: cuarzo (40%), plagioclasa

(30%), biotita (12%), feldespatos potásicos (7%), epidota (4%), sericita (3%), turmalina (4%).

Estructuras: las características estructurales del yacimiento, están relacionadas con la foliación de los gneis, lineamientos, diaclasas, fallas y pliegues de los diferentes eventos tectónicos que afectaron el área. La foliación presente en el área donde se sitúa la mina presenta una dirección entre N20-30°E con inclinaciones oscilando entre 80 y 85° SE. Dentro del área de explotación, que tiene permiso la mina para operar, se encontraron dos fallas de mayor importancia, la primera con dirección N70°E con buzamiento 62°NO y la segunda falla con dirección S40°O y buzamiento 78°SE. En ambos casos las fallas presentan amplitud o potencia promedio de 60 cm.

Mineralización: La mineralización se caracteriza por filones cuarzosos con sulfuros, filones cupríferos que siguen un patrón característico en sentido N61°E, buzando 80° NO, el espesor varía entre 30 a 50 metros; la estructura de estos filones es masiva, presentándose brechoide a cavernosa.

- **Minerales de la mena:** la mena presenta: pirita (15-30%) euhedral, de hábito cúbico asociada a pequeñas cantidades de oro, plata, y magnetita. Calcopirita (6-10%) de forma laminar, y como agregado masivo de la pirita y la ilmenita. Ilmenita (1.5-5.0%) usualmente granulares, asociados a la pirita, al cuarzo, la calcopirita. La bornita (8-13%) como cristales subhedrales, algunas veces fracturados o como agregados granulares. Marcasita (~2%). Malaquita (3-4%). Azurita (2%). Covelina (~2%).
- **Minerales de la ganga:** se presentan en su mayoría como masas granulares, y consta de: cuarzo (68-75%) cristales incoloros subhedrales a anhedrales. Plagioclasas (10-26%) fuertemente alterada a sericita y minerales arcillosos. Carbonatos (5%) su presencia es de relleno, principalmente en los niveles cercanos a la superficie, y habitualmente entre el cuarzo.

De acuerdo con las relaciones entre el mineral y la textura, se presenta una posible secuencia de mineralización que, básicamente consiste en dos etapas, durante la primera etapa se formaron minerales como: pirita, calcopirita, ilmenita, cuarzo, covelina, calcosina, biotita. En la segunda etapa se describen minerales como: oro, turmalina, azurita, galena, al final de ambos procesos, existe una tercera etapa, la supergénica.

ca, la cual fue la de enriquecimiento mineralógico, y dio lugar a: bornita, marcasita, hematita, malaquita. (Durazno, 2002)

## **2.4. Modelo geológico**

El “*American Heritage Dictionary*” (1985), sostiene que los modelos 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.

Otra definición de la palabra modelo, la introdujo Ludington *et al.* (1985): una información sistemáticamente organizada u ordenada que describe los atributos esenciales de una clase de yacimiento mineral.

### **2.4.1. Modelo geológico del yacimiento**

La información aquí descrita fue proporcionada gentilmente por el Ing. Holger Durazno quien colaboró en las labores de exploración de la extinta empresa ECUANOR S.A., que llevó a cabo varias tareas, estudios y análisis con el fin de obtener la mayor información posible del yacimiento presente en la concesión. Los trabajos fueron realizados en la década del 90, contando con la participación de ingenieros extranjeros como: David Cucci, Thor Bruland, Donald Allen, entre otros; y también con profesionales ecuatorianos como: Ing. Mario Chacón, Ing. Vicente Acosta, etc.

Las actividades realizadas por la empresa ECUANOR S.A. fueron:

**TOMA DE SEDIMENTOS FLUVIALES.** - En todos los cauces dentro del área; se detecta la presencia de oro, que en algunos de ellos sobrepasa las 10.000 ppb (Au). Con la toma de sedimentos fluviales se ha cubierto totalmente el área, tomados en 20 sitios, con tres fracciones granulométricas diferentes y también la fracción de concentrado de batea.

**MALLA DE SUELOS.** - Con base en los resultados de muestreo de sedimentos, se realizó una malla de suelos de 100m x 100m, dicha malla mayormente cubría los sectores La Mina y Brecha Tiburones, incluso en sitios de mayor interés se tomaron

muestras en una red de 25m x 100m, en sentido Este–Oeste. En las diferentes campañas de muestreo se recolectó aproximadamente 550 muestras de suelos.

**ANÁLISIS DE MUESTRAS.** - Las muestras fueron molidas y homogenizadas, se enviaron 1.000 gr de cada muestra procesada a laboratorios de ALS Chemex-Ecuador, en donde procesaban las muestras hasta alcanzar un tamaño de partícula de 105 micrones y enviaban 190 gr de cada muestra a los laboratorios ALS Chemex-Canadá; allí se detectaron hasta 32 elementos por muestra y esos resultados eran enviados nuevamente a la compañía ECUANOR; actualmente estos resultados son de propiedad del Ing. Holger Durazno.

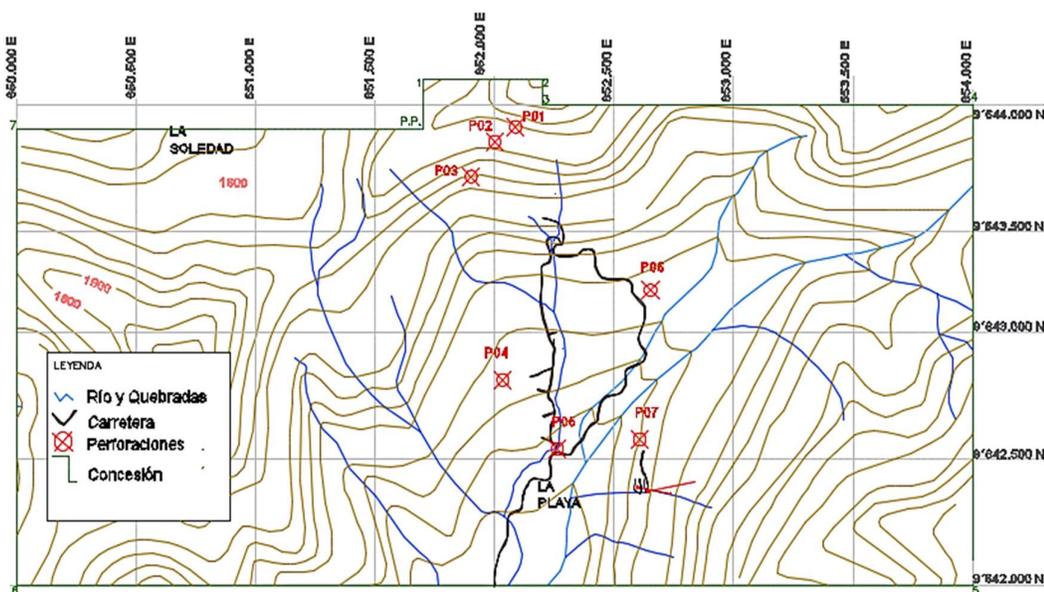
**DETECCIÓN DE ANOMALÍAS.** - Con los resultados obtenidos y apoyados en softwares de la época, como Survey-Surpac (Drill pad), Geosoft y Autocad, se generaron estereogramas de anomalías de cobre, molibdeno, oro, plata, plomo, zinc y otros elementos de interés.

**MAPEO GEOLÓGICO.** – Los responsables técnicos del proyecto; quienes bajo procedimientos sistemáticos realizaron mapeos geológicos en todas las anomalías detectadas para los elementos de mayor interés a la época como eran cobre, molibdeno, oro, plata y otros elementos. En los afloramientos de roca encontrados se hicieron descripciones de estructura, textura, alteraciones, mineralogía, etc. Además, el mapeo geológico fue hecho en todos los ríos, quebradas y drenajes, en labores mineras hechas por mineros informales; afloramientos presentes en los flancos de las montañas de la zona, etc., mayormente se utilizó el método de chips en canal, de entre 2m a 5m, con un peso de entre 5 Kg a 7 Kg por cada muestra. Se llegó a recolectar un aproximado de 680 muestras de roca.

**LÍNEAS DE GEOFÍSICA.** - Realizaron 12 líneas de geofísica, con el método S-IP o Polarización Inducida Espectral, tipo de Resistividad Compleja, apoyados por las compañías GEODATOS y SHELL de Chile.

**CAMPAÑA DE SONDAJES.** - Primero efectuaron perforaciones a diamantina, apoyados por una máquina Winkie, propiedad de ECUANOR, con diámetro EQ, en donde con tres pozos se completó un total de 200 m; luego en una segunda etapa, se

hizo una campaña también de perforación a diamantina, apoyados por una máquina Long Year 38 y una Long Year Hydracore 28 (desmontable), con diámetros HQ, NQ y NQ 2; llegándose a perforar en la segunda etapa siete pozos con un total de 2.000 metros de sondajes.



**Figura 2.1. Ubicación de las perforaciones**

Fuente: Base de datos del Ingeniero Holger Durazno / Elaboración propia

**Tabla 2-3. Coordenadas de ubicación de las perforaciones (WGS84)**

Perforación	Coordenada X	Coordenada Y
P01	652087	9643811
P02	651999	9643751
P03	651901	9643615
P04	652033	9642807

<b>Perforación</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
P05	652261	9642539
P06	652651	9643166
P07	652606	9642576

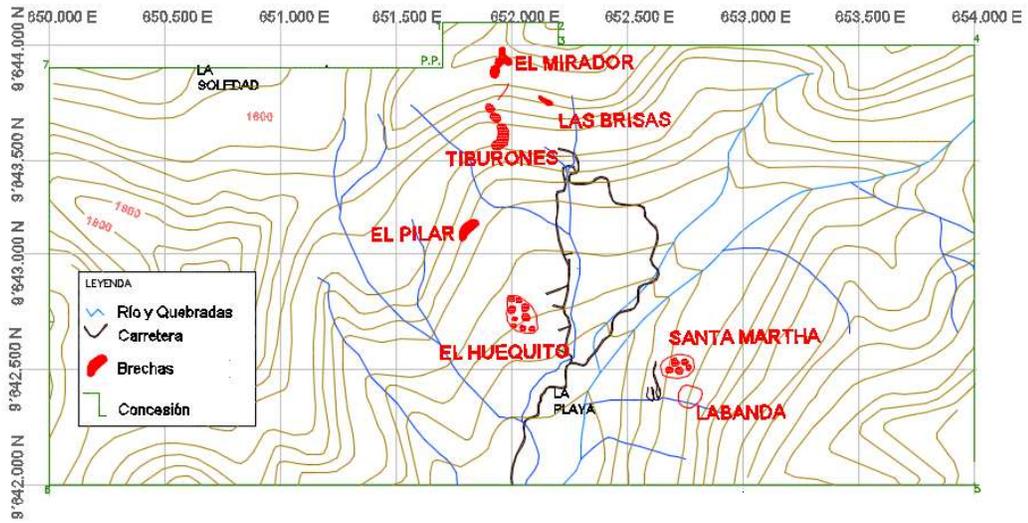
Fuente: Informe final de exploración, 2000 (Autor: Ing. Holger Durazno)

ELABORACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICOS. - Con toda la información compilada se elaboraron mapas geológicos del área y también de sus alrededores; con escalas de hasta 1:200. Con toda esta información se pretendía determinar el volumen de reservas probadas para cobre, plata, oro. Para luego hacer pruebas metalúrgicas correspondientes y plantear un diseño de explotación.

EL grupo de ingenieros y técnicos de la empresa ECUANOR S.A., estableció un modelo geológico del yacimiento, con toda la información recopilada, unieron datos para determinar que el tipo de yacimiento correspondía a un cuerpo hidrotermal, de tipo brecha magmática, cuerpos tubulares pertenecientes todos a un mismo intrusivo, un pórfido de origen magmático situado a más de 800 m de profundidad.

En vista de que son varios los cuerpos de brecha que afloran en superficie, y que, gracias a las perforaciones se logró determinar que el pórfido se manifiesta a través de cuerpos tubulares, a los cuales se los ha denominado como: brechas El Mirador, brechas Tiburones, brechas Las Brisas, brechas El Pilar, brechas El Huequito, brechas Santa Martha y por último las brechas Labanda.

La figura 2.2. indica la distribución de las afloraciones de los cuerpos de brecha.



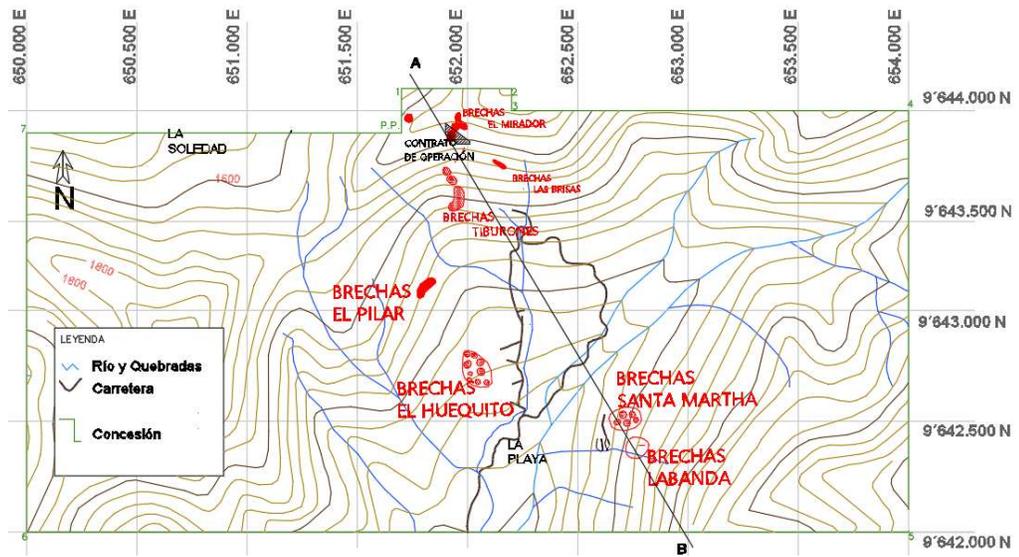
**Figura 2.2. Afloración de brechas mineralizadas**  
 Fuente: Base de datos del Ingeniero Holger Durazno / Elaboración propia

En la figura 2.3. se indica la ubicación del contrato de operación en el cual se realiza el presente proyecto, situándolo con referencia a la ubicación de los cuerpos de brecha.



**Figura 2.3. Ubicación de la mina respecto a las brechas mineralizadas**  
 Fuente: Elaboración propia

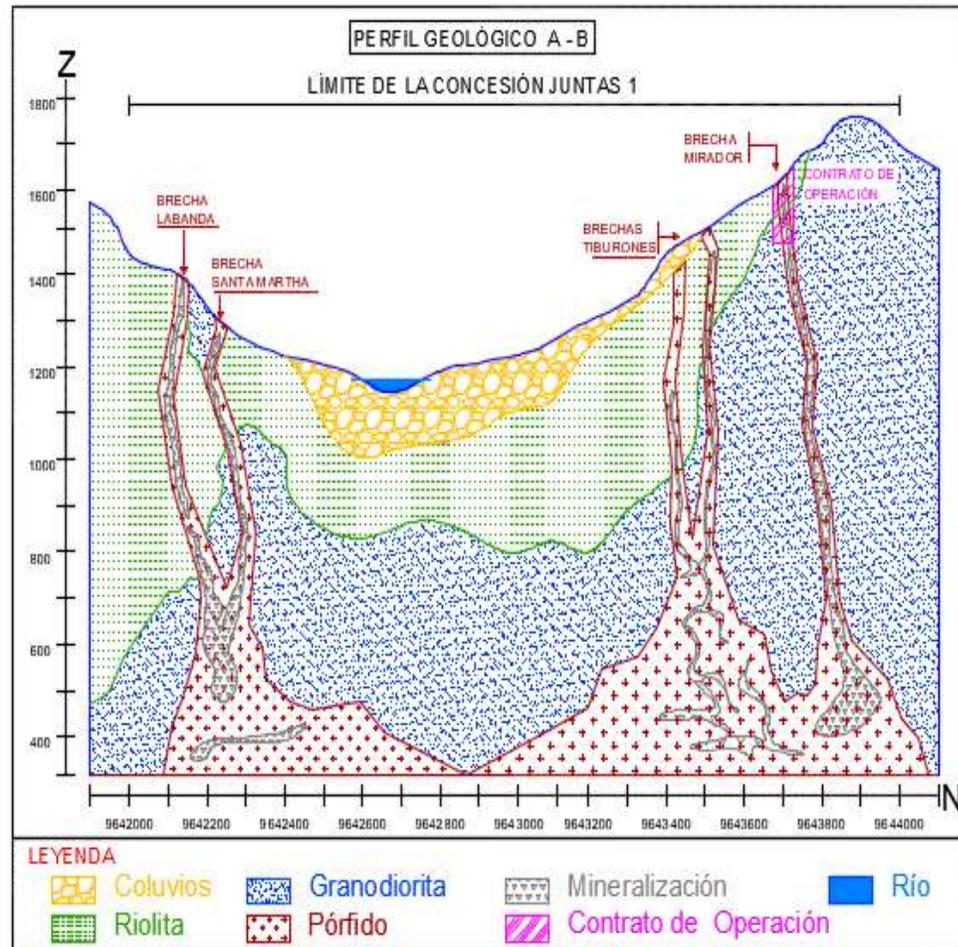
En la figura 2.4. se indica la ubicación del corte geológico AB realizado por los técnicos de ECUANOR S.A., para luego indicar la morfología del yacimiento.



**Figura 2.4. Vista en planta del corte geológico AB**

Fuente: Base de datos del Ingeniero Holger Durazno / Elaboración propia

En la figura 2.5. se muestra la gráfica que representa al modelo geológico resultante del perfil AB



**Figura 2.5. Corte geológico AB**

Fuente: Base de datos del Ingeniero Holger Durazno / Elaboración propia

Para lograr determinar el modelo geológico del yacimiento es necesario la realización de 4 perfiles geológicos aparte del ya descrito por el grupo de ingenieros de ECUANOR S.A., los perfiles serán realizados en sentido transversal a la concesión, situándolos con orientación norte-sur.

Los perfiles para el corte geológico serán CD; EF; GH y por último el corte IJ. Los cortes tendrán sentido norte-sur, y se representarán en el plano ZN, en la figura 2.6 se indica la distribución que tendrán.

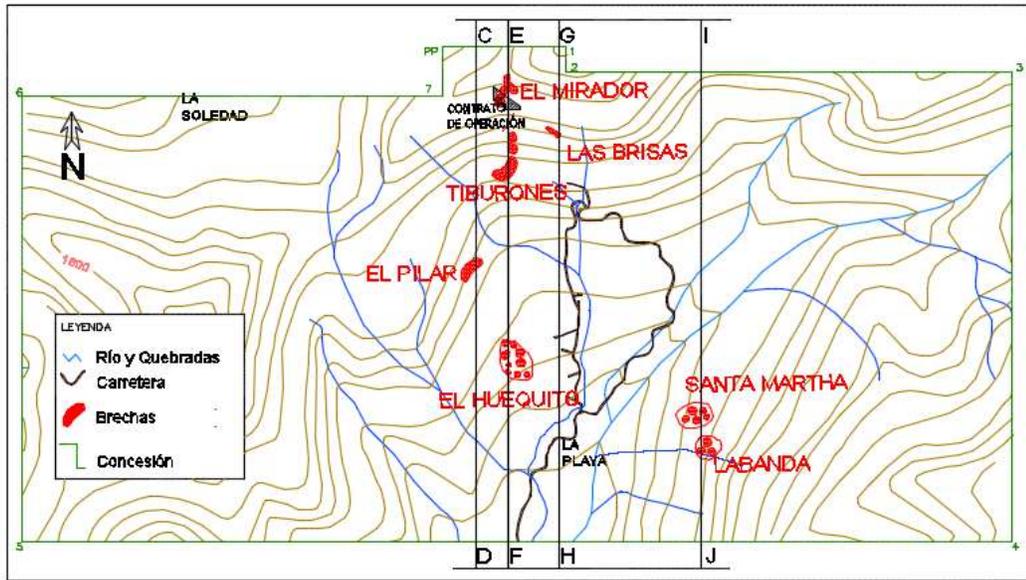


Figura 2.6. Diseño de perfiles geológicos  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se indica a través de figuras los resultados de los cortes geológicos.

Perfil CD

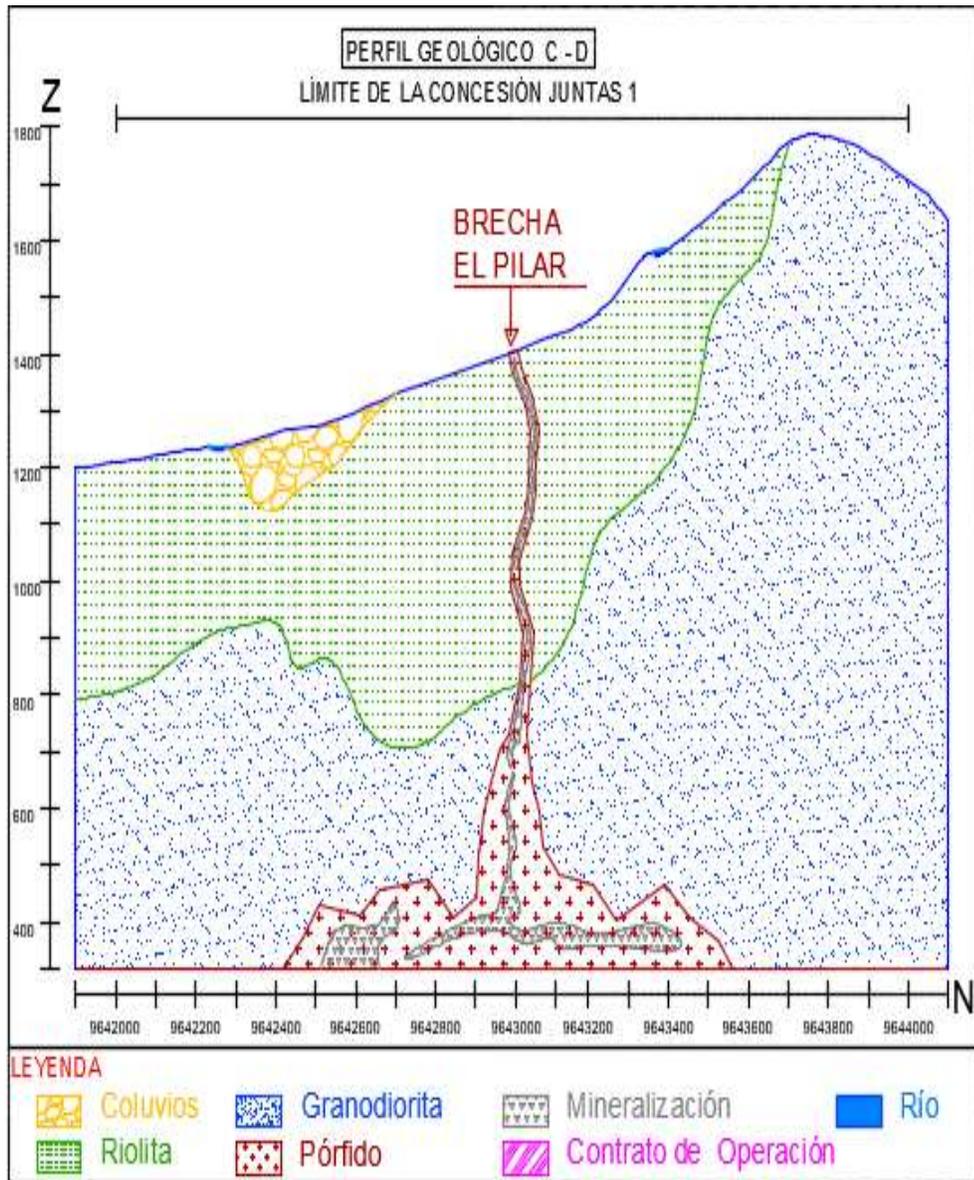
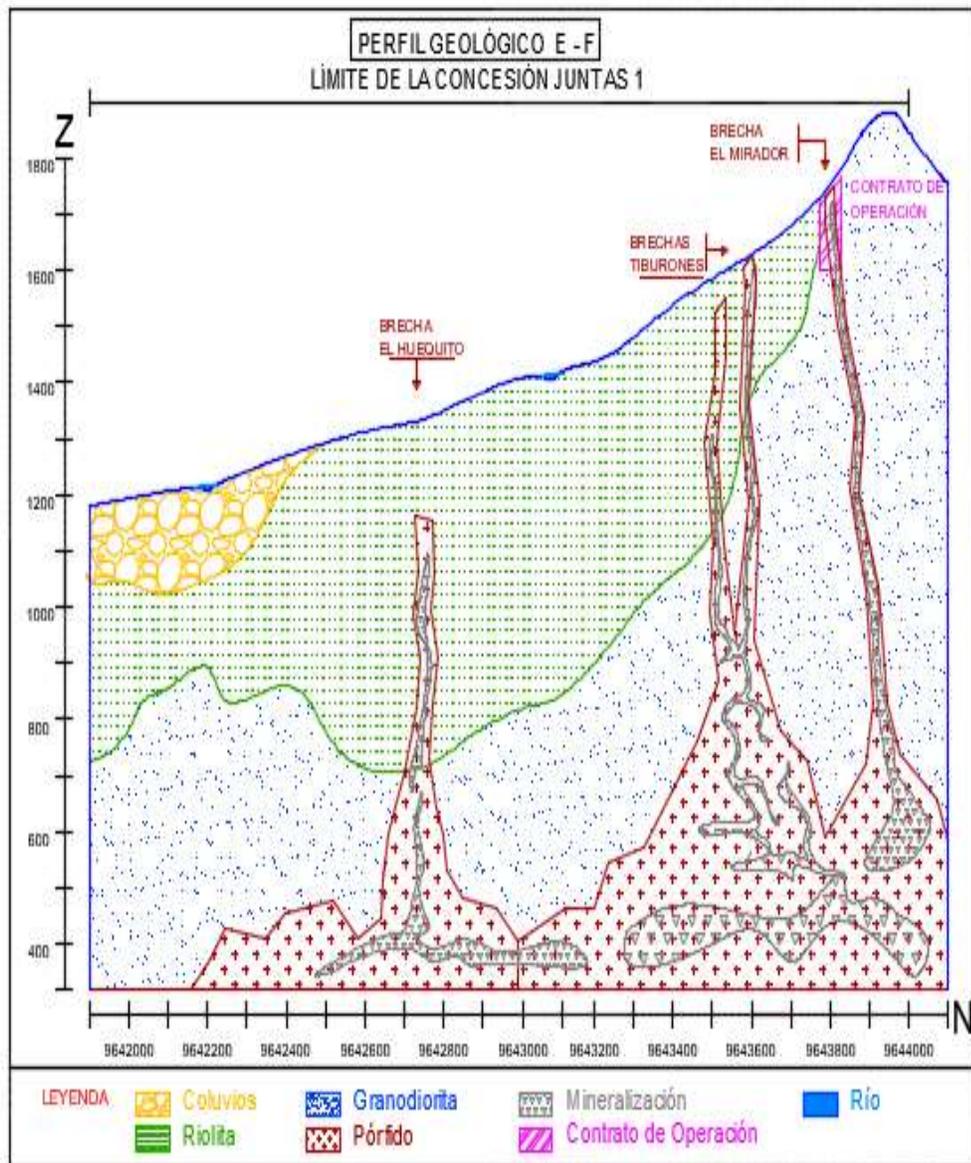


Figura 2.7. Corte geológico CD

Fuente: Elaboración propia

Perfil EF



**Figura 2.8. Corte geológico EF**

Fuente: Elaboración propia

Perfil GH

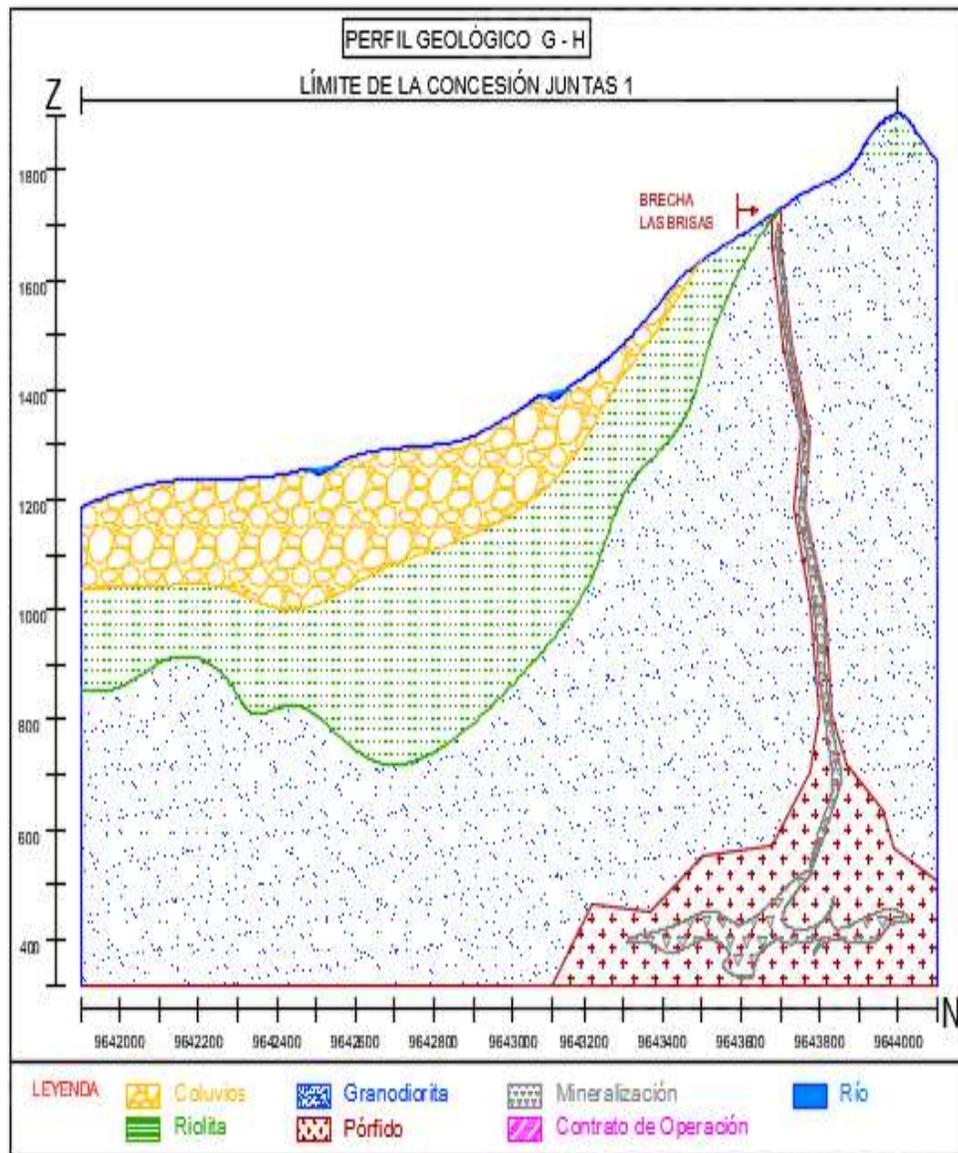
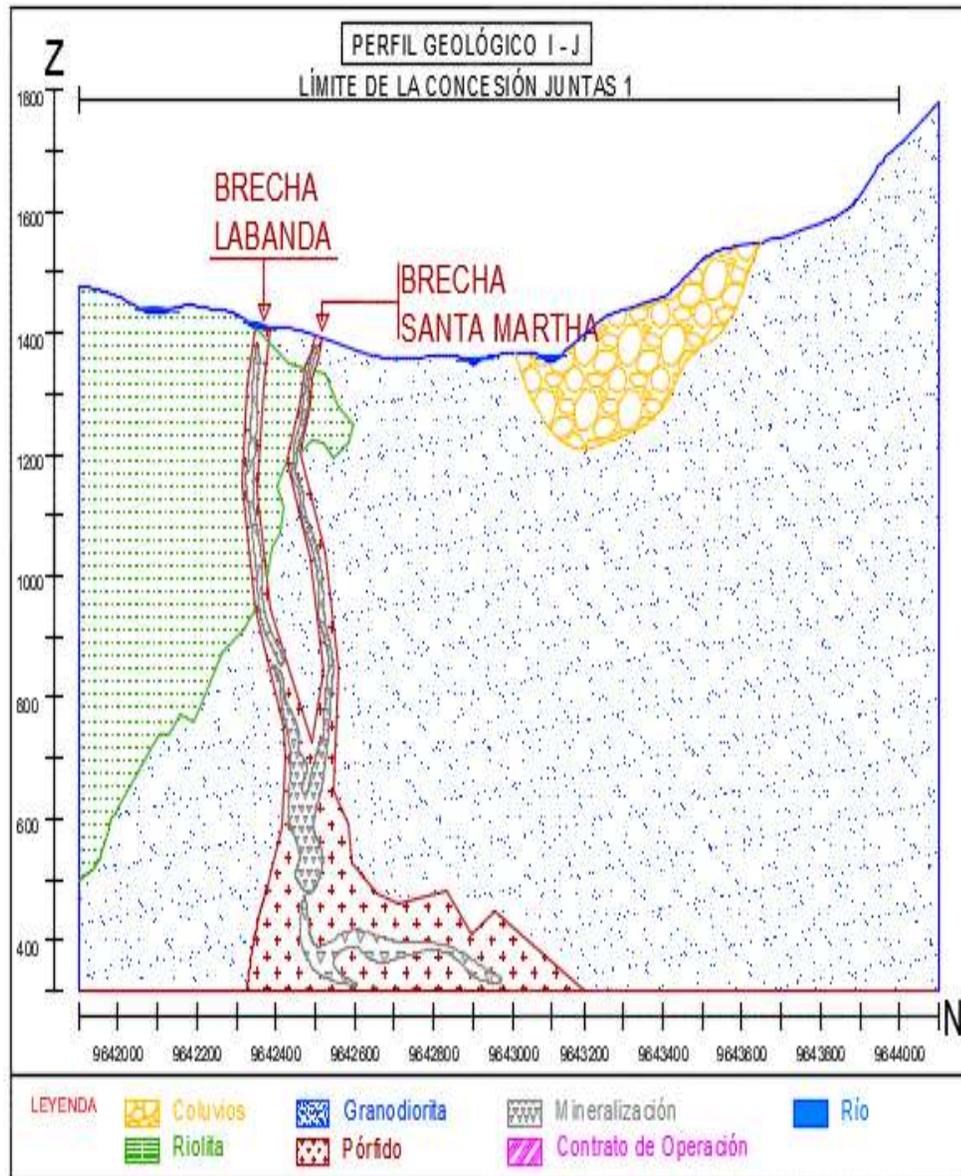


Figura 2.9. Corte geológico GH

Fuente: Elaboración propia

Perfil IJ

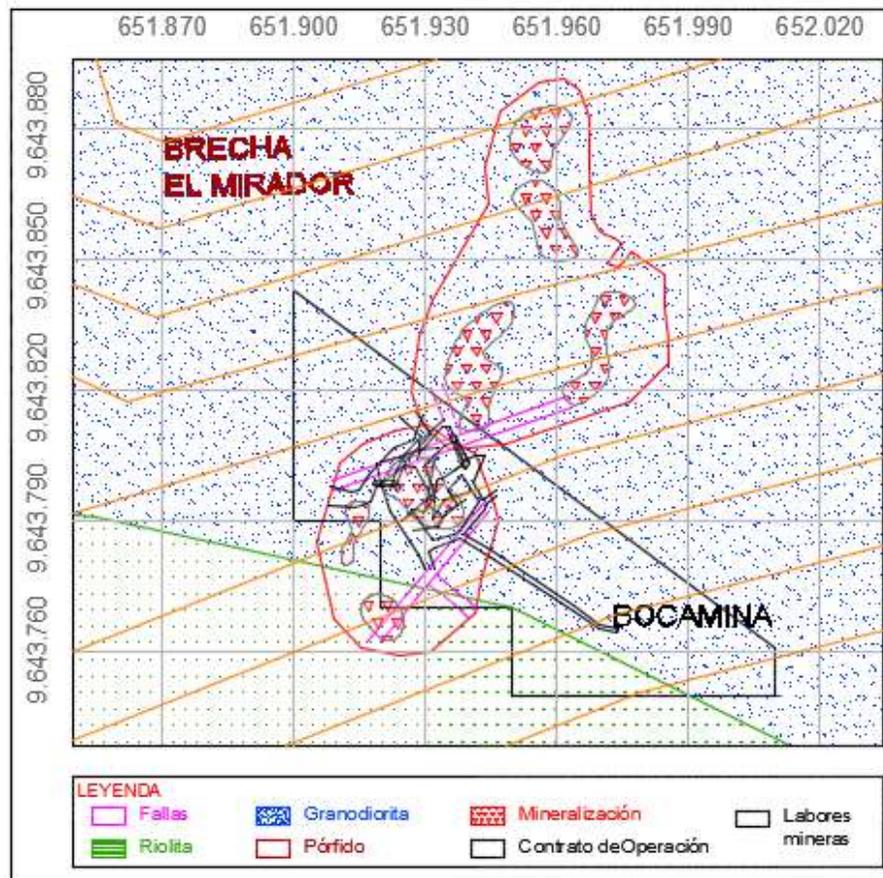


**Figura 2.10. Corte geológico IJ**

Fuente: Elaboración propia

Con los perfiles obtenidos se puede definir el tipo de roca donde se sitúa la mina, con ello podremos determinar cuales se presentan ya que, se puede dar el caso que sean varios tipos de roca los presentes en el área minera.

Con la información de la litología del lugar, el mapa de ubicación del contrato minero quedaría dispuesto de la siguiente manera, tal cual lo indica la figura 2.11.

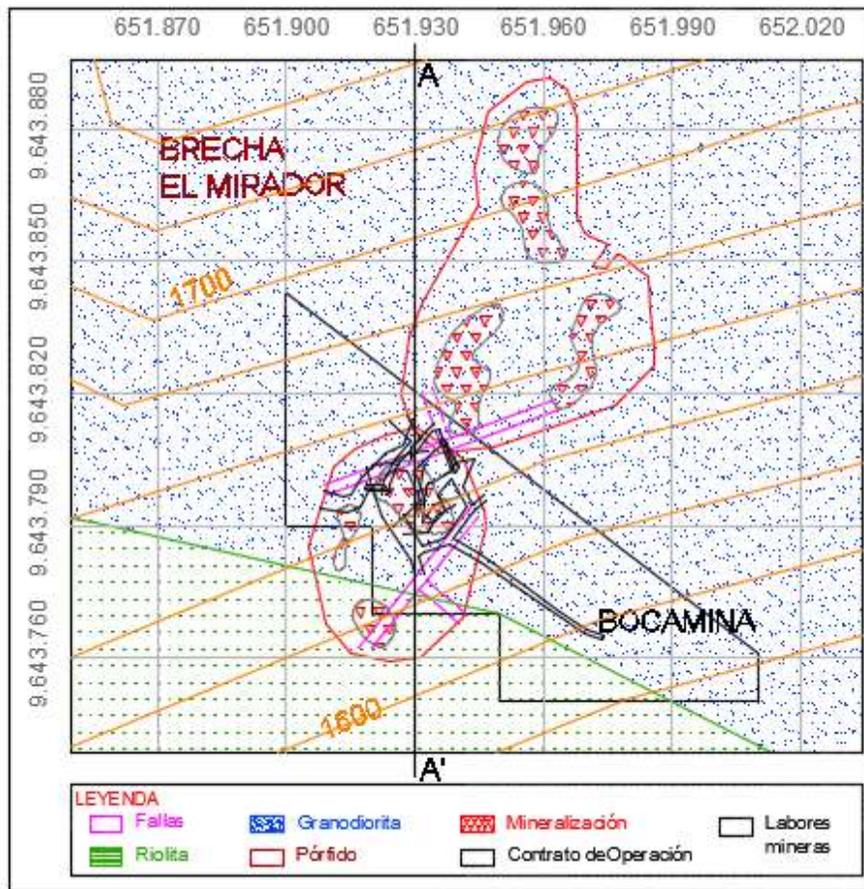


**Figura 2.11. Mapa geológico del contrato minero**

Fuente: Elaboración propia

Detallada de mejor manera la geología del entorno de la mina, se puede disponer de perfiles que indiquen la distribución de las galerías, la ubicación de las fallas, las rocas encajantes, el yacimiento, etc. En el perfil AA' se puede visualizar la distribución de cada parámetro, logrando una mejor comprensión del medio geológico en el cual se encuentra la mina.

En la figura 2.12. se indica la ubicación que el perfil AA' tendrá.



**Figura 2.12. Mapa geológico del contrato minero**

Fuente: Elaboración propia

A través del perfil geológico AA' podremos observar la disposición de las fallas, y si estas llegarían o no a afectar el sistema de explotación. La roca es una variable importante, de su calidad depende la fortificación de los túneles; por ello es necesario saber como está dispuesta.

Perfil AA'

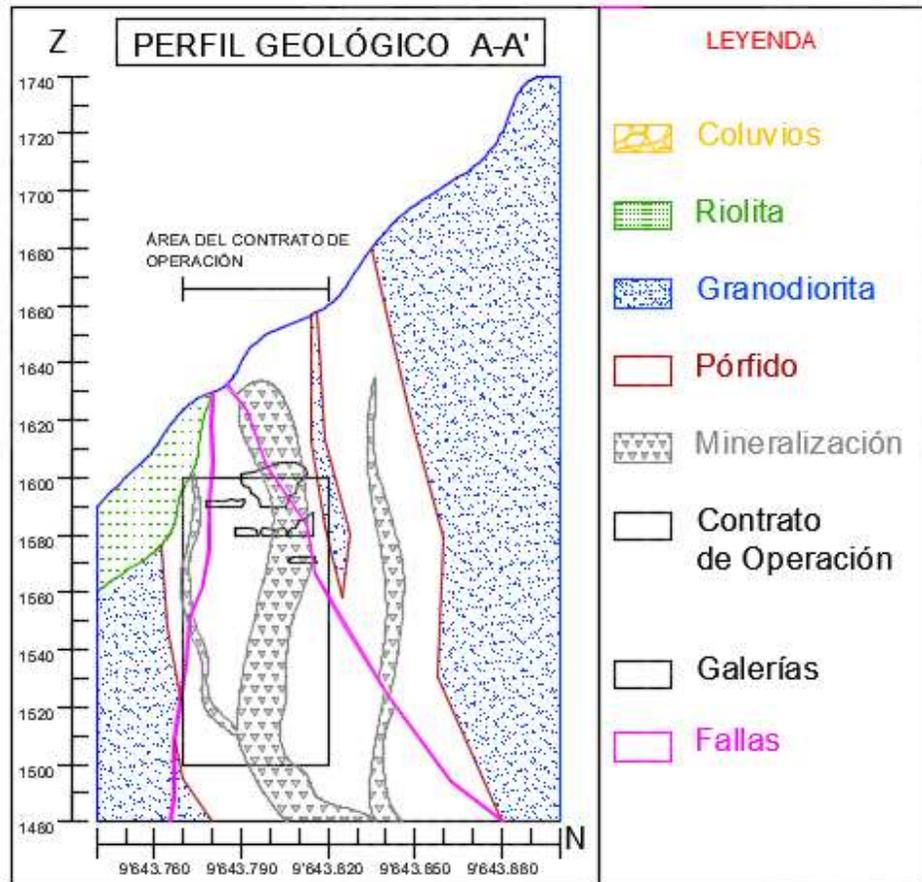
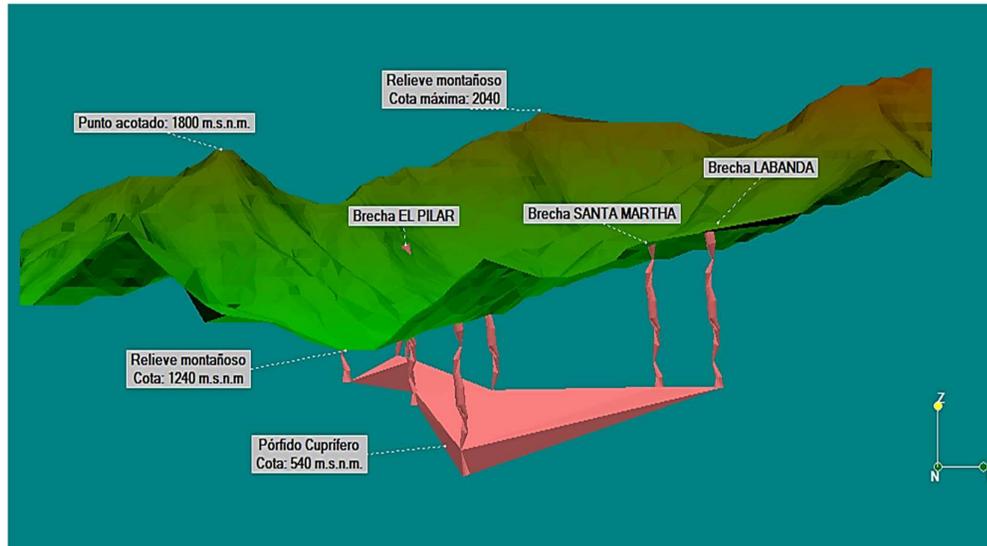


Figura 2.13. Perfil geológico AA'

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con toda la información recaba, los datos proporcionados por el Ing. Holger Durazno, los perfiles generados y la investigación realizada, se puede proceder a modelar la posible forma que tiene el cuerpo intrusivo, una brecha hidrotermal para el caso de estudio, la cual se representa en la figura 2.14.

Modelo geológico:



**Figura 2.14. Modelo geológico**  
Fuente: Elaboración propia

## 2.5. Gestión de datos

Para digitalizar los trabajos y niveles existentes en la mina, es necesario realizar un levantamiento topográfico de los túneles y labores presentes en la mina. El levantamiento topográfico es muy útil en la minería, permite conocer la dimensión de la mina, y la ubicación real de sus labores.

### 2.5.1. Levantamiento topográfico del contrato minero

El contrato minero otorgado a la empresa “001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO”, tiene una extensión de 4,320 m<sup>2</sup>, y por reglamento puede explotar cien metros de roca en cota inferior, desde la 1600 m.s.n.m. hasta los 1500 m.s.n.m.

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

Tabla 2-4. Coordenadas de ubicación del contrato de operación

COORDENADAS UTM – DATUM PSAD 56			
VÉRTICE	ESTE (X)	NORTE (Y)	DISTANCIA (m)
P.P.	651.900,00	9'643.843,00	P.P. - 1 = 137,20 m
P.1	652.010,00	9'643.761,00	1 – 2 = 11,00 m
P.2	652.010,00	9'643.750,00	2 – 3 = 60,00 m
P.3	651.950,00	9'643.750,00	3 – 4 = 20,00 m
P.4	651.950,00	9'643,770,00	4 – 5 = 30,00 m
P.5	651.920,00	9'643,770,00	5 – 6 = 20,00 m
P.6	651.920,00	9'643.790,00	6 – 7 = 20,00 m
P.7	651.900,00	9'643.790,00	7 – P.P. = 53,00 m

Fuente: Elaboración propia

La toma de puntos se hizo recorriendo el área, caminando hasta los límites de la misma, demarcados por medio de hitos. Para obtener los puntos se dispuso de un dispositivo Garmin Oregon 650t.

### 2.5.2. Levantamiento Topográfico de interior mina

En el levantamiento topográfico de interior mina, se emplearon dos dispositivos: un distanciómetro Leica DISTO D2 y una brújula Brunton.



Figura 2.15. Equipos para levantamiento topográfico

Se emplearon varios métodos topográficos para obtener la información necesaria, por ejemplo: el método de radiación, que se lo utilizó para conocer el tamaño de las labores, tales como: galerías, cámaras y niveles.

Los niveles han sido nombrados de forma correspondiente a su apertura, en orden de: primero, segundo y tercer nivel. Los frentes actuales de explotación se encuentran en el segundo nivel.

Paso a paso se fue realizando el levantamiento topográfico de interior mina. Los espacios levantados que se siguieron para obtener las dimensiones y distribución de las labores fueron los siguientes:

- Ubicación geográfica de la bocamina: con el GPS se determinó las coordenadas en WGS84, así como la altura de la misma.
- Topografía Primer Nivel: el primer nivel de la mina es una zona ya explotada, aunque todavía existen sectores que tienen pequeñas cantidades de mineral, las cuales se podría extraer. Ahora es utilizado como galería de acceso a las labores. En el primer nivel se puede encontrar el sistema de aire comprimido (compresor, pulmones), sistemas de izaje (2 winches), labores antiguas, así como buzones antiguos.
- Topografía Segundo Nivel: el segundo nivel está en explotación, cuenta con frentes de trabajo, aunque también cuenta con zonas que fueron explotadas. La brújula y el distanciómetro fueron esenciales para obtener la información a detalle. Una agenda fue necesaria para almacenar la información registrada, cada punto del levantamiento fue demarcado con spray.
- Topografía Tercer Nivel: este nivel está a profundidad de 30 metros de la superficie, es el nivel del cual se puede realizar mayor cantidad de frentes de trabajo, está conectado al segundo nivel por medio de la chimenea 2, usada para extraer mineral y también como acceso para el personal.

#### **2.5.2.1. Datos del levantamiento topográfico:**

Obtenidos los puntos de referencia de cada nivel se procede a elaborar tablas en hojas de cálculo para digitalizar la información y empezar así a diseñar los niveles y posteriormente modelar el sistema de explotación.

Tabla 2-5. Ubicación geográfica de la bocamina (WGS84):

	X	Y	Z
<b>PUNTO</b>	651.729,00	9.643.387,00	1591

Fuente: elaboración propia

Tabla 2-6. Levantamiento topográfico del primer nivel

PUNTO	DISTANCIA (m)	AZIMUT (grados)	ALTURA	OBSERVACIÓN
PP	-	-	1591	Bocamina
PP-P1	5,40	N 67° O	1591	Galería de ingreso
P1-P2	17,75	N 48° O	1591	Galería de ingreso (cambio tipo de roca)
P2-P3	19,15	N 49° O	1590	Galería de ingreso
P3-P4	11,47	N 51° O	1591	Galería de ingreso
P4-P5	11,17	N 46° E	1591	Galería de ingreso
P5-P5.1	4,50	N 60° E	1591	Espacio para pulmón de aire. Presencia de falla Rumbo S40°O
P5-P6	9,70	N 23° O	1592	Galería principal
P6-P6.1	6,10	N 43° E	1592	Espacio de descanso, günche
P6-P7	2,15	N 45° O	1591	Chimenea 1 (nivel 1- nivel 2)
P7-P8	6,84	N 126° O	1592	Galería principal
P8-P9	2,85	N 168° O	1592	Galería Principal
P9-9.1	4,71	N 112° O	1607	Labor antigua
P9-P9.2	5,72	N 174° O	1603	Labor antigua
P9-P9.3	4,80	N 126° E	1598	Labor antigua

<b>PUNTO</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>	<b>AZIMUT (grados)</b>	<b>ALTURA</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
P4-P10	10,46	N 103° O	1593	Galería secundaria
P10-P10.1	5,82	N 178° E	1594	Labor abandonada Presencia de falla Rumbo S40°O
P10-P11	12,77	N 25° O	1593	Galería secundaria
P11-P11.1	10,30	N 14° O	1612	Labor antigua Presencia de falla Rumbo N70°E
P11-P11.2	16,47	N 26° E	1609	Labor antigua
P11-P11.3	15,60	N 38° E	1605	Labor antigua
P11-P11.4	7,21	N 80° E	1601	Labor antigua

Fuente: elaboración propia

**Tabla 2-7. Levantamiento topográfico de chimenea 1**

<b>PUNTO</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>	<b>AZIMUT (grados)</b>	<b>INCLINACIÓN</b>	<b>ALTURA</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
P6	-	-	-	1592	PP, galería principal
P6-PCI	2,04	N 10° E	-42°	1589	PI Chimenea 1
PCI-PCF	13,0	N 15° O	-50°	1580	PF de Chimenea 1 Presencia de falla Rumbo N70°E

Fuente: elaboración propia

Tabla 2-8. Levantamiento topográfico segundo nivel

PUNTO	DISTANCIA (m)	AZIMUT (grados)	ALTURA	OBSERVACIÓN
PCF	-	-	1580	PP, punto final de chimenea 1
PCF-P12	10,41	N 127° O	1582	Galería principal
P12-P12.1	10,37	N 168° E	1582	Labor de acceso
P12.1-P12.2	7,47	N 147° O	1582	Labor de acceso
P12.2-P12.3	4,20	N 120° E	1582	Labor de acceso
P12.3-P12.4	6,17	N 39° E	1582	Labor de acceso
P12.4-P12.5	7,17	N 71° E	1582	Labor de acceso
P12.5	-	-	1582	Frente de explotación
P12-P13	5,13	N 59° O	1582	Galería principal
P13-P13.1	5,31	N 48° E	1583	Labor de acceso
P13.1-P13.2	8,56	N 38° E	1587	Labor de acceso
P13.2	-	-	1590	Labor antigua (socavón) Presencia de falla Rumbo N70°E
P13-P14	12,07	N 125° O	1582	Galería principal (chimenea 2)
P14-P15	3,98	N 152° O	1583	Galería principal
P15-P15.1	4,26	N 101° O	1583	Labor de acceso
P15.1-P15.2	5,64	N 72° O	1583	Labor de acceso
P15.2	-	-	1583	Frente de explotación

Fuente: elaboración propia

**Tabla 2-9. Levantamiento topográfico chimenea Nivel 2-Nivel 3**

PUNTO	DISTANCIA (m)	AZIMUT (grados)	INCLINACIÓN (grados)	ALTURA	OBSERVACIÓN
P14	-	-	-	1582	PP, galería segundo nivel
P14-PCH	13,50	N 84° E	-65°	1570	Punto final chimenea 2

Fuente: elaboración propia

**Tabla 2-10. Levantamiento topográfico del tercer nivel**

PUNTO	DISTANCIA (m)	AZIMUT (grados)	ALTURA	OBSERVACIÓN
PCH-P15	3,80	N 18° E	1570	Labor de acceso
P15-P16	6,76	N 34° E	1570	Labor de acceso
P16-P17	7,82	N 49° E	1569	Labor de acceso
P17-P18	8,46	N 30° O	1569	Labor de acceso
P18	-	-	1568	Frente de explotación Presencia de falla Rumbo N70°E

Fuente: elaboración propia

## 2.6. Edición de datos

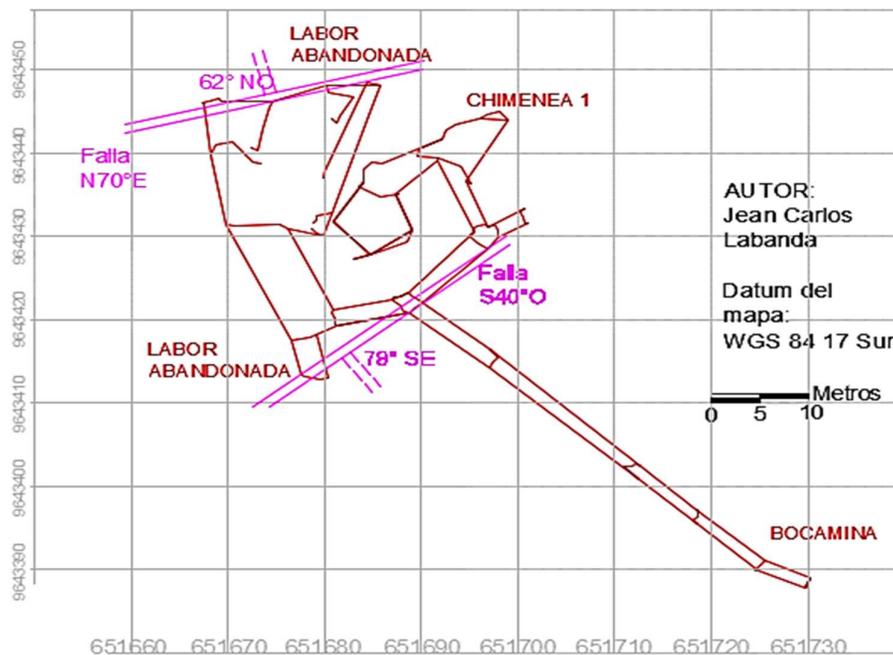
Los datos que se obtienen a partir del levantamiento topográfico de interior mina, son digitalizados a través de hojas de cálculo, se generan tablas y se insertan de forma contigua toda la información obtenida.

Después se deben copiar los puntos a un programa CAD, para ello es necesario editar los puntos y luego cambiar el formato de los mismos. La hoja de cálculo reconoce la distancia, el azimut y la altura, como un solo dato, luego se debe guardar el archivo en formato **.TXT**, ya sea como **Texto (separado por tabulaciones)** o **Texto (sepa-**

**rado por comas);** ambos formatos permiten que la información sea reconocida en los programas CAD, y ya con eso se logra importar los datos.

Teniendo la información en CAD es más fácil realizar modificaciones; teniendo nada más la longitud de cada labor, sólo se puede obtener dos dimensiones, pero es necesario generar las 3, para poder tener una idea clara sobre la geometría real de cada galería, así como también de las labores antiguas, y las zonas abandonadas.

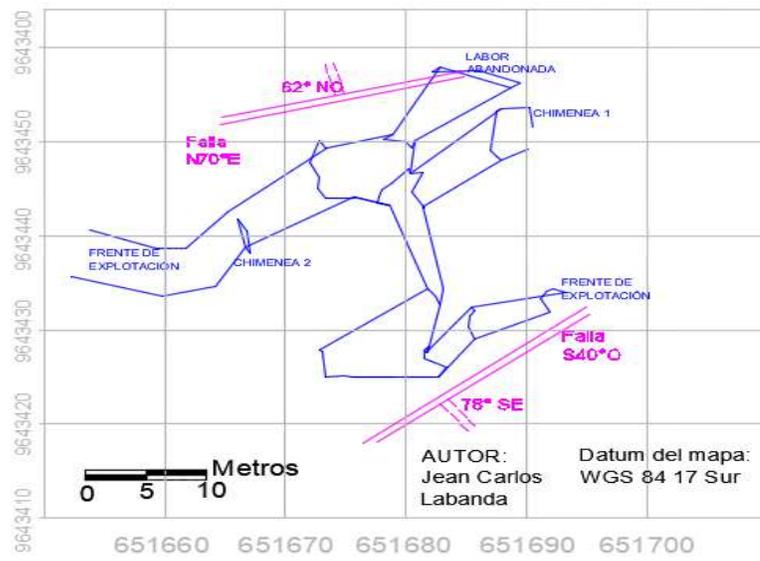
Partiendo de la planimetría básica se puede desarrollar el modelamiento interno de la mina, y obtener una estructura de cada componente que conforma la mina. La figura 2.16 muestra el resultado de la digitalización de los datos provenientes del primer nivel.



**Figura 2.16. Planimetría del primer nivel**

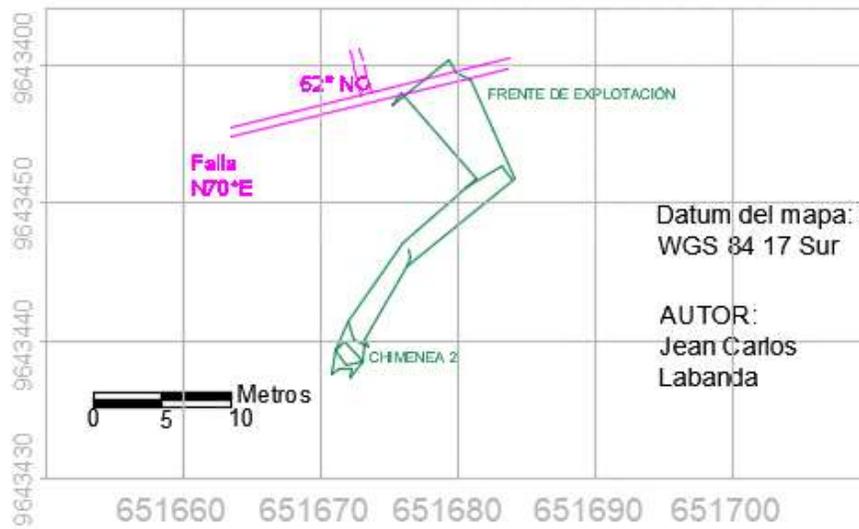
Fuente: elaboración propia

La figura 2.17 muestra el resultado de la digitalización de los datos provenientes del segundo nivel.



**Figura 2.17. Planimetría del segundo nivel**  
 Fuente: elaboración propia

La figura 2.18 muestra el resultado de la digitalización de datos provenientes del tercer nivel.



**Figura 2.18. Planimetría del tercer nivel**  
 Fuente: elaboración propia

## 2.7. Diseño de niveles

Posteriormente a la planimetría se procede a diseñar las labores mineras. El diseño se los realiza en el programa RecMIN, ahí se puede generar polígonos que nos permiten visualizar las labores en 3 dimensiones.

Diseño primer nivel: El primer nivel no cuenta con frentes de explotación. Tiene un sector amplio ya explotado, y que ahora está abandonado. La Chimenea 1 está ubicada al final de la galería principal y conecta el primer nivel con el segundo nivel. La galería principal tiene una extensión de: 86,49 metros. La altura promedio de la galería principal es de 2 metros.

Diseño segundo nivel: El segundo nivel cuenta con dos frentes de explotación, un frente está recién iniciado, mientras que el otro lleva varios metros de avance. Cuenta también con un sector abandonado, el cual anteriormente era explotado. La galería que conecta la Chimenea 1 con la Chimenea 2, así como también con los diferentes frentes de explotación y labores antiguas tiene una extensión de: 27,67 metros. La altura promedio de la galería del segundo nivel es de 2 metros.

Diseño tercer nivel: El tercer nivel cuenta con un frente de exploración, al cual recién se lo está iniciando; el tercer nivel es nuevo y no tiene zonas que hayan sido anteriormente explotadas. La galería que conecta la Chimenea 2 con el frente de explotación tiene una extensión de: 18,38 metros. La altura promedio de la galería del tercer nivel es de 2 metros.

Diseño chimeneas 1 y 2: Ambas chimeneas tienen dimensiones similares de ancho y largo, pero varían en la inclinación y el rumbo.

A través de figuras se va a indicar el modelo digital de los niveles, junto con el perfil relieve topográfico del suelo, la distribución del yacimiento y la ubicación del polígono del contrato de operación.

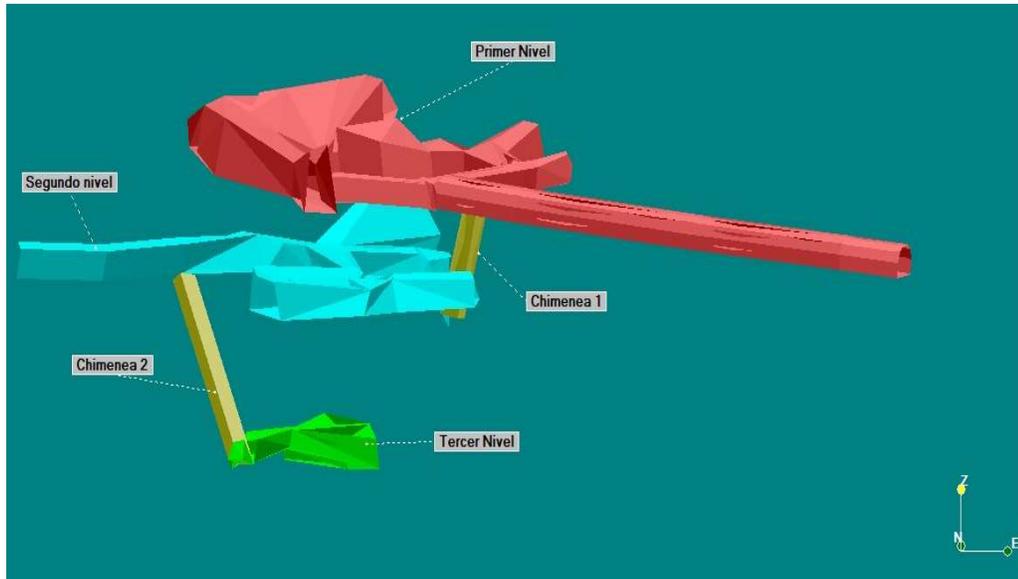


Figura 2.19. Niveles de la mina

Fuente: elaboración propia

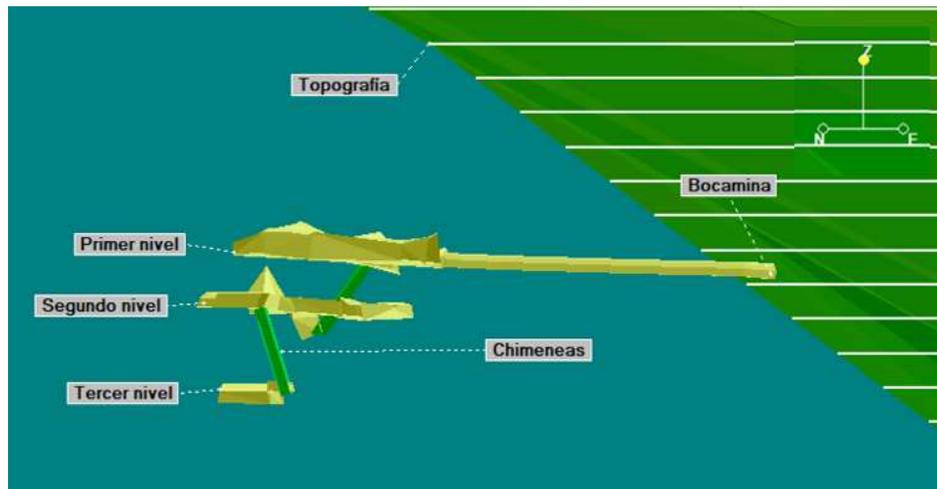


Figura 2.20. Niveles de la mina y contorno topográfico

Fuente: elaboración propia

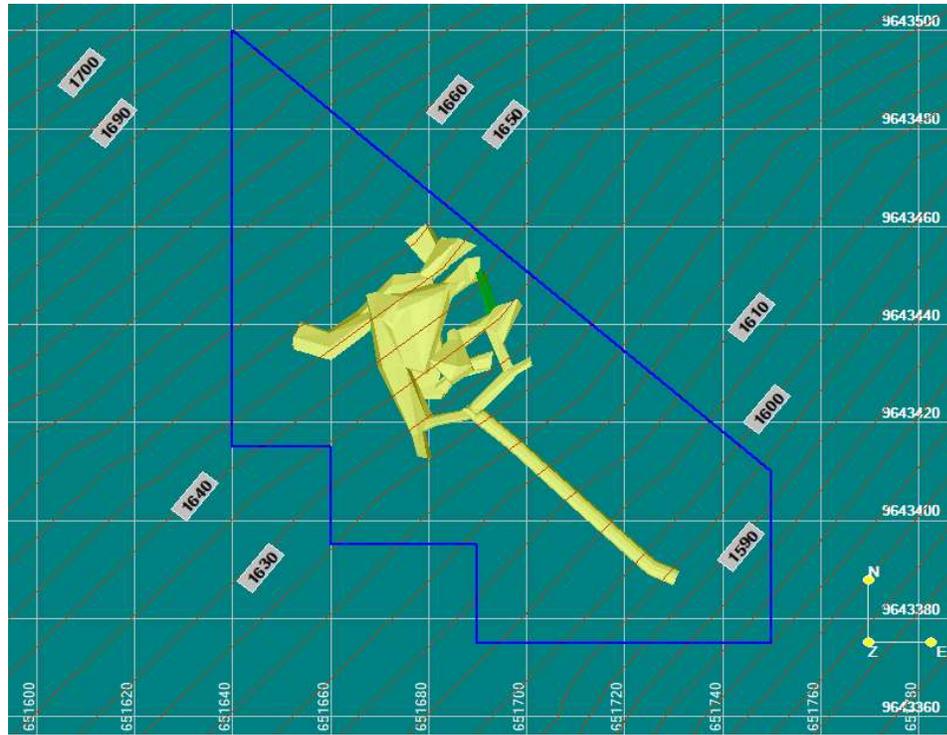


Figura 2.21. Niveles de la mina y curvas de nivel cada 5 metros

Fuente: elaboración propia

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

En el capítulo anterior se logró obtener la información necesaria para conocer el estatus actual de la mina y del yacimiento; con ello se puede dar inicio a la elección del método de explotación y el siguiente paso, realizar la secuencia de minado en el software minero RecMin.

#### 3.1. Calidad del macizo rocoso

El estudio del modelo geológico del yacimiento, permitió determinar que, por la ubicación del contrato de operación, el mismo se ubica por completo dentro de roca ígnea, de formación plutónica. La roca es granodiorita y se encuentra en toda la región, como parte de la geología local.

A continuación, se detallan las características de este tipo de rocas:

**Tabla 3-1. Características de la granodiorita**

<b>Tipo de características</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Tipo de roca	Ígnea	
Composición	Anfíbol, biotita, feldespato, hornblenda, micas, illita, plagioclasa, cuarzo.	
Dureza	Escala de Mohs	7
Índice de resistencia a la carga puntual		6,7 MPa

<b>Tipo de características</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Densidad		2,6 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión simple		103 MPa
RQD		75 % - 90 %

Fuente: Anexo de propiedades geomecánicas (<https://es.scribd.com/doc/57078056/dureza-1pdf>)

En la escala de clasificación de Deer & Miller se indica que las rocas con resistencia igual o superior a 6,5 e igual o menor a 10,00 MPa, se las considera como rocas de alta resistencia.

**Tabla 3-2. Clasificación de Deer & Miller**

<b>Resistencia Compresión Simple</b>	<b><math>\sigma</math> (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 geomecánica de macizos (Universidad Politécnica de Cataluña)

### 3.1.1.1. Cálculo del RMR

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

Los parámetros que se deben analizar son:

- Resistencia de 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 roca por el método de *Rock Mass Rating (RMR)*. Para eso, es necesario sumar las valoraciones y el dato final de la operación será aquel que nos permita conocer la calidad de la roca.

- **1. Resistencia a la compresión simple**

La valoración para la granodiorita 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 geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

La granodiorita tiene valor de 103 MPa de resistencia a la compresión simple y 6,7 MPa de ensayo de carga puntual. La valoración en el primer parámetro es: 12.

- **2. Rock Quality Designation (RQD)**

La valoración de la granodiorita respecto al RQD se determina con la información descrita en la tabla 3-4.

**Tabla 3-4. Valoración de RQD**

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

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

La granodiorita en promedio presenta resultados entre 75% a 90% de calidad. La valoración en el segundo parámetro es: 17.

### - 3. Espaciamiento 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 espaciamiento 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

<b>Descripción</b>	<b>Espaciado de las juntas</b>	<b>Tipo de macizo rocoso</b>	<b>Valoración</b>
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 geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Para el caso en particular de la mina, el espaciado entre las distintas familias de diaclasas está entre los 0,6 a 2 metros de espaciado. Lo cual otorga al macizo una descripción de “separadas”, a ello le corresponde una valoración de: 15.

En la figura 3.1 se puede apreciar la disposición interna de las principales familias de diaclasas que constituyen al macizo rocoso.



**Figura 3.1. Familias de diaclasas presentes en el macizo rocoso**  
Fuente: elaboración propia

#### - 4. Condiciones de las discontinuidades

Las condiciones están representadas por: la abertura entre diaclasas, la continuidad, la rugosidad, el relleno entre diaclasas y la alteración.

##### **Abertura de las discontinuidades**

La valoración para la abertura se indica a través de la tabla 3-6.

**Tabla 3-6. Valoración de la abertura de las juntas**

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Separación de las caras</b>	<b>Valoración</b>
1	Abierta	> 5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Separación de las caras</b>	<b>Valoración</b>
3	Cerrada	0,1 – 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1 mm	5
5	Ninguna	0	6

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

La abertura entre diaclasas es < 0,1 mm de separación, dicha distancia indica que el grado corresponde a 4, siendo esta muy cerrada, la valoración es: 5.

#### **Continuidad de las discontinuidades**

A través de la tabla 3-7, se describe las valoraciones que se pueden tener con respecto a la continuidad de las diaclasas.

**Tabla 3-7. Valoración para la continuidad de las diaclasas**

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Continuidad</b>	<b>Valoración</b>
1	Muy baja	< 1 m	6
2	Baja	1 – 3 m	4
3	Media	3 – 10 m	2
4	Alta	10 – 20 m	1

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Continuidad</b>	<b>Valoración</b>
5	Muy alta	> 20 m	0

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

La continuidad de las diaclasas va en promedio de uno a dos metros. La descripción indica que la valoración es: 4.

### **Rugosidad de las discontinuidades**

A través de la tabla 3-8, se describe las valoraciones que se pueden tener con respecto a la rugosidad de las discontinuidades.

**Tabla 3-8. Valoración para la rugosidad de las discontinuidades**

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plano (espejo de falla)	0

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

Las caras del macizo rocoso son rugosas, corresponden a grado 2, la valoración es: 5.

### Relleno de las discontinuidades

El relleno de las discontinuidades se puede valorar mediante la siguiente tabla:

**Tabla 3-9. Valoración del relleno de las discontinuidades**

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
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 geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

Debido al corto espaciamiento entre diaclasas, no existe presencia de relleno entre las mismas, por lo cual la valoración para el parámetro es: 6.

### Alteración de las discontinuidades

Para valorar la alteración de las discontinuidades Bieniawski generó una tabla, la cual se indica a continuación.

**Tabla 3-10. Alteración de las discontinuidades**

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
1	Descompuesta	0

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

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

Las diaclasas existentes en las labores de la mina, no presentan mayor alteración. La valoración para en este caso corresponde a 5.

- **5. Presencia de agua**

Para determinar la valoración según el parámetro de la presencia de agua, hay que tomar en cuenta la tabla 3.11.

**Tabla 3-11. Valoración para la presencia de agua**

<b>Caudal / 10 m de túnel</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
Nulo	Seco	15
< 10 L/min	Ligeramente húmedo	10
10 – 25 L/min	Húmedo	7
25 – 125 L/min	Goteando	4

<b>Caudal / 10 m de túnel</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
> 125 L/min	Fluyendo	0

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

La cantidad de agua que se filtra por la roca en los túneles de la mina es escasa, existe una ligera infiltración la cual causa algo de lixiviación en la mena, que inclusive es notoria a simple vista. En la figura 3.2 se demuestra que la humedad presente es menor que 10 L/min.



**Figura 3.2. Humedad presente en las paredes del macizo rocoso**

Fuente: elaboración propia

La cantidad de agua es mínima, por ende, se la relaciona con la descripción ligeramente húmeda, que corresponde a una valoración de: 10

#### - **Orientación de las discontinuidades**

Este parámetro se define como el rumbo y buzamiento que tienen las diaclasas con respecto a la orientación del túnel o galería realizada, y se especifica a través de la tabla 3-12.

**Tabla 3-12 Determinación de los buzamientos con respecto al eje del túnel**

Dirección perpendicular al eje de la obra				Dirección paralela al eje de la obra		Buzamiento 0-20° Cualquier dirección
Excav. con buzamiento		Excav. contra buzamiento				
Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	Buz. 45°- 90°	Buz. 20° - 45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

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

Debido a que existen varias obras civiles que se pueden realizar en macizos rocosos, la valoración para túneles y minas tiene su propia descripción y se la indica en la tabla 3-13.

**Tabla 3-13 Valoración para túneles y minas**

Calificativo	Valoración
Muy favorable	15
Favorable	10
Medio	7
Desfavorable	4
Muy desfavorable	0

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

La figura 3.1 indica la distribución de las familias de diaclasas. La excavación del túnel ha sido realizada de forma perpendicular al rumbo de las juntas, las cuales presentan buzamiento promedio menor o igual a  $85^\circ$ . Para el caso descrito se considera que la relación del buzamiento de las discontinuidades respecto al eje del túnel, se describe con calificativo “medio”.

La valoración que obtiene el macizo rocoso en este parámetro, teniendo en cuenta el calificativo de medio, es: -5.

### 3.1.1.2. Valor de RMR calculado

Determinados los valores en cada parámetro obtenemos la siguiente tabla:

**Tabla 3-14 Resultado del RMR**

<b>Parámetro</b>		<b>Valoración</b>
Resistencia a la compresión simple		12
RQD		17
Espaciamiento de las juntas		15
Condiciones de las diaclasas:		
	- Abertura	5
	- Continuidad	4
	- Rugosidad	5
	- Relleno	6

<b>Parámetro</b>		<b>Valoración</b>
	- Alteración	5
Humedad		10
Orientación		-5
<b>Total (Valor de RMR)</b>		<b>74</b>

Fuente: elaboración propia

Para determinar la calidad de la roca, Bieniawski realizó una última clasificación en torno al valor de RMR medido, la tabla 3-15 indica la clasificación.

**Tabla 3-15 Calidad del macizo rocoso**

<b>Clase</b>	<b>Calidad</b>	<b>Valoración RMR</b>	<b>Cohesión</b>	<b>Ángulo de rozamiento</b>
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 geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Belandria, 2002).

La calidad de la roca, para el caso de análisis en particular determina que la clase a la cual pertenece la granodiorita es: buena (II)

Bieniawski determinó también el tipo de sostenimiento que se debe aplicar según la calidad de la roca presente, después de ser analizada con el índice de calidad RMR, él propone que, para los macizos de calidad II se pueden realizar las medidas que a continuación se detallan:

**Tabla 3-16 Fortificación para el macizo rocoso de clase II**

<b>Clase</b>	<b>Excavación</b>	<b>Soporte con pernos de anclaje</b>	<b>Soporte con concreto</b>	<b>Soporte con madera</b>
II Buena	Soporte completo hasta 20 metros de la bocamina	Pernos en el techo de 3 m de longitud y espaciados a 2,5 m; la malla es opcional	50 mm en la corona, o en los lugares que se requiera.	Ninguno

Fuente: elaboración propia

Como indica la descripción en la tabla 3-16, la roca en cuestión requiere de ciertas medidas de sostenimiento; principalmente soporte completo en la bocamina, hasta 20 metros de longitud como referencia. Los pernos no son necesarios en las paredes de los túneles, pero si es recomendable ubicarlos en el techo del mismo, la malla es opcional. El concreto se ha determinado como requerido en el techo o corona del túnel, también se lo puede colocar en los lugares que sean requeridos. La entibación con madera no es requerida.

Como se ha detallado anteriormente la granodiorita está presente en toda el área que abarca el contrato de operación; por lo ya descrito y mencionado en la reseña de la mina. Los túneles no cuentan con sistema de fortificación, la mina lleva operativa más de 15 años y se ha mantenido de forma indebida sin ningún tipo de soporte;

aunque la roca es muy competente, ésta debe tener un mecanismo que evite colapsos o desprendimientos de rocas, más aún si las labores se realizan de manera desmedida, y sin tomar en cuenta la prevención de accidentes.

Por las características propias de la roca, como la dureza y la resistencia a la compresión; permiten que el sostenimiento sea de forma natural, no cabe duda que se debe realizar un tipo de fortificación en las zonas de mayor riesgo o las más expuestas por obras o trabajos antiguos.

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

El parámetro fundamental para determinar el método de explotación más idóneo para un yacimiento minero es la geometría del mismo, debido a que cada uno tiene sus principios para su propia aplicación; termina siendo un condicionante para su ejecución, lo cual indica que no siempre se puede utilizar el mismo sistema en todos los yacimientos existentes.

Utilizando las condiciones de uso de los sistemas de explotación, se determina que el método por subniveles o galerías sería el más idóneo para el yacimiento en cuestión. Como principal característica física se presenta de forma vertical (buzamiento=80°), con potencia en promedio de 30 metros, y orientación N60°E; existen dos fallas principales presentes en la geometría del yacimiento, aunque no de forma significativa puesto que no han alterado el rumbo del mismo, pero sí podrían suponer un posible debilitamiento en las paredes de la roca encajante.

El yacimiento es endógeno, lo que significa que su emplazamiento ha sido en el interior de la corteza terrestre, por lo cual su explotación viable no sería otra más que la metodología por minería subterránea, siendo el yacimiento de tipo brecha hidrotermal con gran cantidad de sulfuros.

Para la elaboración del método de explotación se debe tomar en cuenta que por recomendación los niveles se deben hacer con una distancia máxima de 100 m entre niveles, y ubicar cada subnivel con un máximo de 30 metros de separación. Para la realización de las galerías se optará por la realización en sentido transversal al criadero o yacimiento; y partiendo de la misma galería transversal se realizarán labores

longitudinales hasta los hastiales del yacimiento, para luego conectar por medio de chimeneas cada nivel o subnivel respectivamente.

### 3.2.1. Modelo de explotación

El sistema de explotación seleccionado es el método por subniveles. Las recomendaciones indican que los niveles o galerías se deben realizar con un máximo de 100 metros entre nivel, y 30 metros máximos entre subniveles; en vista de que el contrato de operación otorgado a la mina en cuestión, cita que la cota para explotar va desde los 1600 hasta los 1500 m.s.n.m., representa nada más que 100 metros para la extracción del bloque mineral que allí se encuentra.

Tomando como referencia que se deben construir galerías y subniveles, se propone la creación de tres niveles, a distancia de 30 metros de separación, y la generación de dos subniveles entre cada nivel, a distancia de 10 metros cada uno. Con ello se podría abarcar la mayor parte del contrato minero, logrando extraer gran parte del bloque mineral.

Las galerías serán en sentido transversal al bloque, esto para mejorar la circulación y el flujo del transporte mineral. El reglamento de Seguridad y Salud del Trabajo en el Ámbito Minero propone en su Art. 110: “Seguridad en galerías de transporte. - En las labores por las cuales transite personal o carros de acarreo, se deberá dejar un espacio mínimo de seguridad en base al diseño de la galería y su uso”, además en el inciso “b” del mismo artículo se indica: “se contemplará en el diseño de la galería la construcción de zonas de transferencia o espera para equipos y vehículos”. (MINISTERIO DE MINAS, 2018)

Las galerías principales tendrán las dimensiones necesarias para generar el flujo libre del material y el paso del personal sin la necesidad de detener la producción o arriesgar el bienestar de los obreros de interior mina. Los subniveles serán de menor dimensión puesto que, la principal función será el acarreo de mineral hacia los buzones o *skips*.

Para dar inicio al sistema de explotación se creará una chimenea, la cual será únicamente para izar el material o herramientas, inclusive equipos y demás. Para que el

personal acceda a las labores o galerías se efectuarán accesos únicos para el tránsito del personal. Por consideraciones de seguridad el Reglamento a la Salud y Seguridad del Trabajo en el Ámbito Minero, recomienda en su Art. 44: “Longitud de chimeneas. - las chimeneas que se desarrollen con el sistema convencional deberán tener como máximo 50 metros de altura”. (MINISTERIO DE MINAS, 2018)

Por consiguiente y conforme cita la ley de minería no se podrá proponer chimeneas que sobrepasen los 50 metros de distancia teniendo inclinación de 90°.

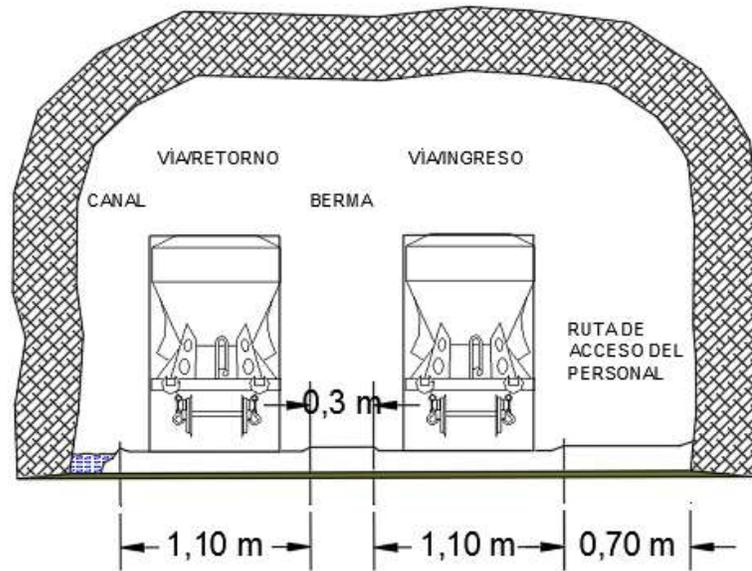
Cabe destacar que para el método propuesto no será necesario la implementación u optimización del sistema de transporte, ni mucho menos adquirir nuevos equipos, el sistema no va a afectar al rendimiento de los mismos, por ende, no ha sido necesario un estudio para determinar la adecuación de nuevos equipos. El sistema de explotación se adecúa a las condiciones de la mina, así también a los equipos.

### **3.2.2. Diseño de galerías y subniveles**

El primer nivel (3<sup>er</sup> Nivel) del sistema propuesto será elaborado a los 20 metros de profundidad, tomando como referencia al socavón, a continuación, se construye el 4<sup>to</sup> Nivel, el cual se situará a 50 m de profundidad con respecto a la bocamina. Por último, el 5<sup>to</sup> Nivel será generado a 30 metros de distancia del 4<sup>to</sup> Nivel

Entre galerías se van a generar subniveles, los cuales se situarán a 10 metros de distancia entre cada uno. Estarán conectados entre sí, para evacuar el mineral y será por medio de rebajes -chimeneas de menor dimensión, tamaño y distancia que sirven como ruta para el transporte del mineral o el material estéril- se creará un rebaje por cada subnivel para facilitar el vertido del mineral hacia las chimeneas.

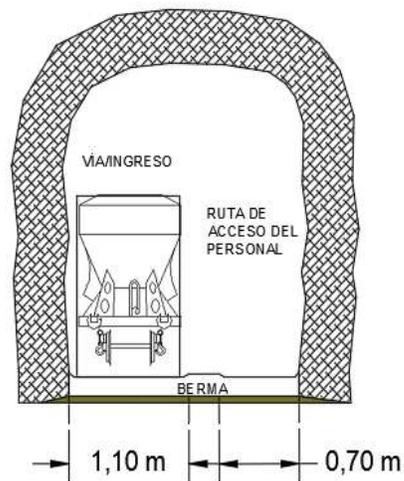
Las dimensiones de las galerías serán efectuadas en base a la maquinaria. Las galerías principales tendrán la opción de tener una luz amplia que permita a los vagones mineros transitar en ambos sentidos, evitando con ello crear zonas para detención o espacios para zonas de transferencia, así mismo se debe contar con el espacio para el tránsito del personal, por lo cual se indica en la figura 3.3. las dimensiones que van a tener las galerías.



**Figura 3.3. Dimensiones de las galerías**

Fuente: elaboración propia

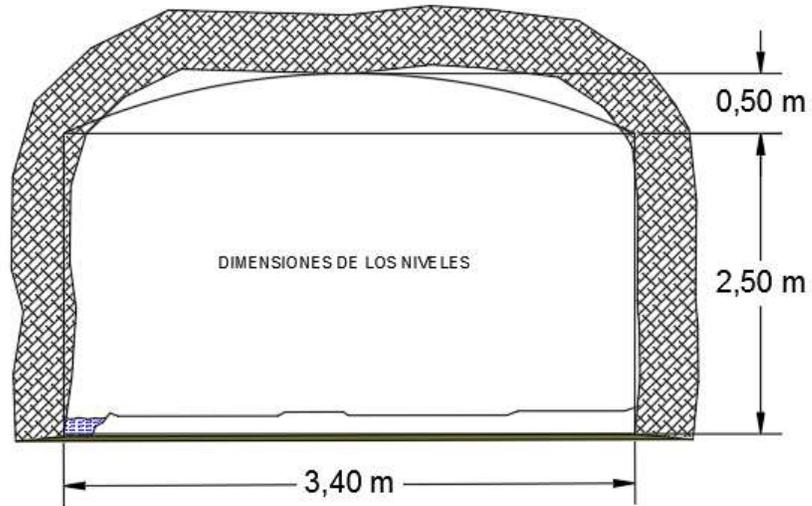
Los subniveles serán de menor dimensión, puesto que nada más tendrán un sentido y el espacio para el personal y, con la opción para verter el mineral hacia los buzones de almacenamiento y posteriormente la extracción del mineral a la superficie por medio de un sistema de izaje colocado en la chimenea principal.



**Figura 3.4. Dimensión de subniveles**

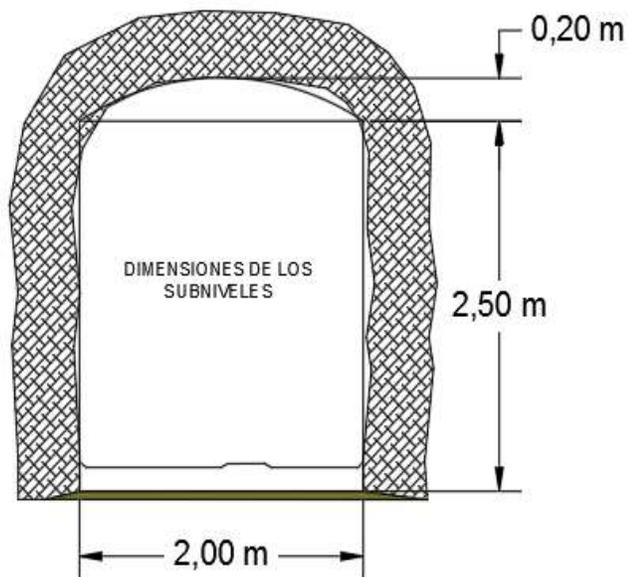
Fuente: elaboración propia

Poder abarcar toda la amplitud necesaria para el libre flujo de los vagones y el personal, se deberá tener una luz de 3,00 metros de alto y 3,40 metros de ancho, de igual manera la luz de los subniveles será de 2,70 metros de alto y 2,00 metros de ancho.



**Figura 3.5. Dimensión de los Niveles**

Fuente: elaboración propia



**Figura 3.6. Dimensión de los subniveles**

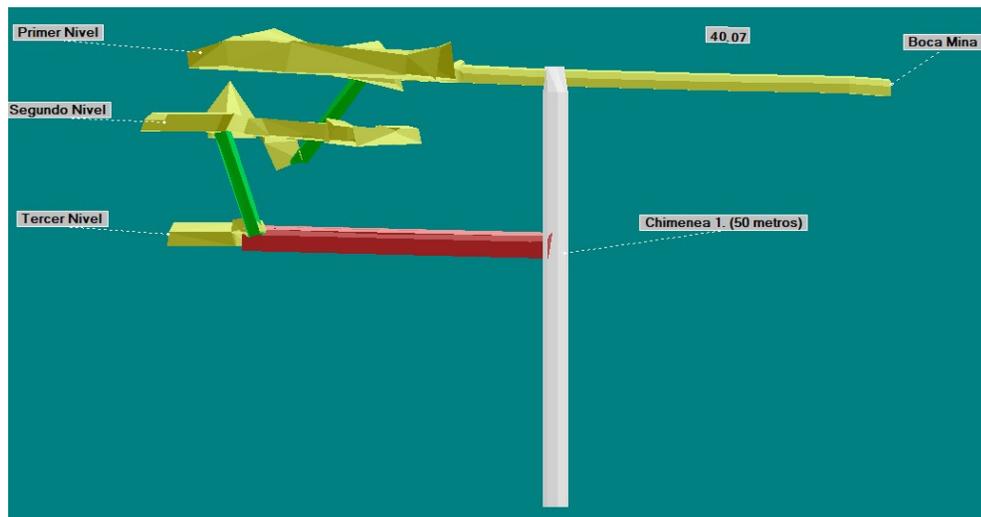
Fuente: elaboración propia

Al final, en la propuesta de elaboración de un sistema de explotación, se recomienda la elaboración de 3 galerías y 4 subniveles, para con ello lograr la extracción del mineral de forma segura, sistemática y organizada.

### 3.3. Secuencia de minado

El desarrollo del proyecto será con la construcción de la primer galería, la cual vendría a ser la continuación del 3<sup>er</sup> Nivel, esto debido a que ya está en etapa de construcción y que se puede acceder de manera rápida, posterior a ello se deberá iniciar la elaboración de la chimenea para mejorar la facilidad en la extracción del mineral hacia la superficie.

La chimenea se denominará Chimenea 1, y las otras ya construidas serán utilizadas para el flujo de personal únicamente. La Chimenea 1 tendrá dimensiones de 45 metros de profundidad a una inclinación de 90°, y será construida a distancia de 40 metros de la boca mina.

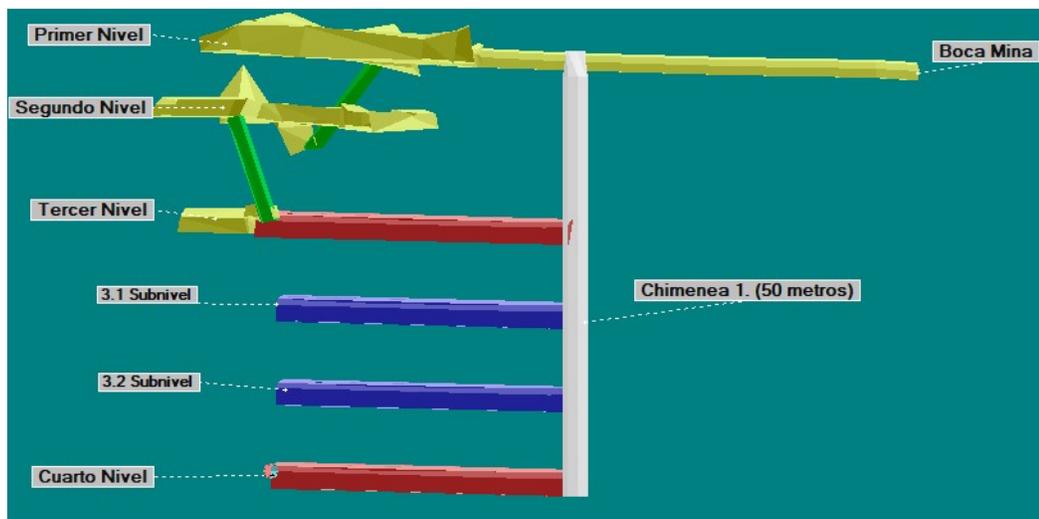


**Figura 3.7. Construcción del Tercer Nivel y Chimenea 1**

Fuente: elaboración propia

Las galerías se construirán de forma transversal al bloque mineral. Cuando el 3<sup>er</sup> Nivel esté terminado, la extracción mineral dará inicio. También se irá elaborando a la par la chimenea que conecte el 1<sup>er</sup> Nivel con el 4<sup>to</sup> Nivel para tener mayor volumen de extracción con varios frentes de trabajo, y con accesos para los demás niveles y

subniveles. Luego se irán construyendo los subniveles, la denominación será 3.1 y 3.2 respectivamente para con ello lograr conectar el 3<sup>er</sup> Nivel con el 4<sup>to</sup> Nivel por medio de rebajes, que alimentarán a los buzones que se ubiquen en el 4<sup>to</sup> Nivel.



**Figura 3.8. Construcción de tercer nivel y sus subniveles**

Fuente: elaboración propia

En cada nivel y subnivel se construirán accesos longitudinales o hastiales para ingresar al bloque mineral y facilitar la extracción, en cada nivel y subnivel se realizarán 2 hastiales, y serán en dirección oeste ( $N90^{\circ}O$ ) para el 3<sup>er</sup> Nivel, los subniveles y el 4<sup>to</sup> Nivel. En el caso del 5<sup>to</sup> Nivel y los subniveles 4.1 y 4.2, el sentido de dirección será hacia el este ( $N90^{\circ}E$ )

Los rebajes se construirán a la par de los hastiales, con ello se mejora el tiempo de extracción del mineral, y se permite el almacenamiento del mismo.

El último nivel a construirse será el 5<sup>to</sup> Nivel, de igual manera, a la par serán construidos dos subniveles entre el 4<sup>to</sup> y el 5<sup>to</sup> Nivel, cada subnivel estará a una distancia de 10 metros entre sí y de las galerías. Las denominaciones serán 4.1, 4.2 y 5.1 respectivamente para con ello conectar los niveles 4<sup>to</sup> y 5<sup>to</sup>.

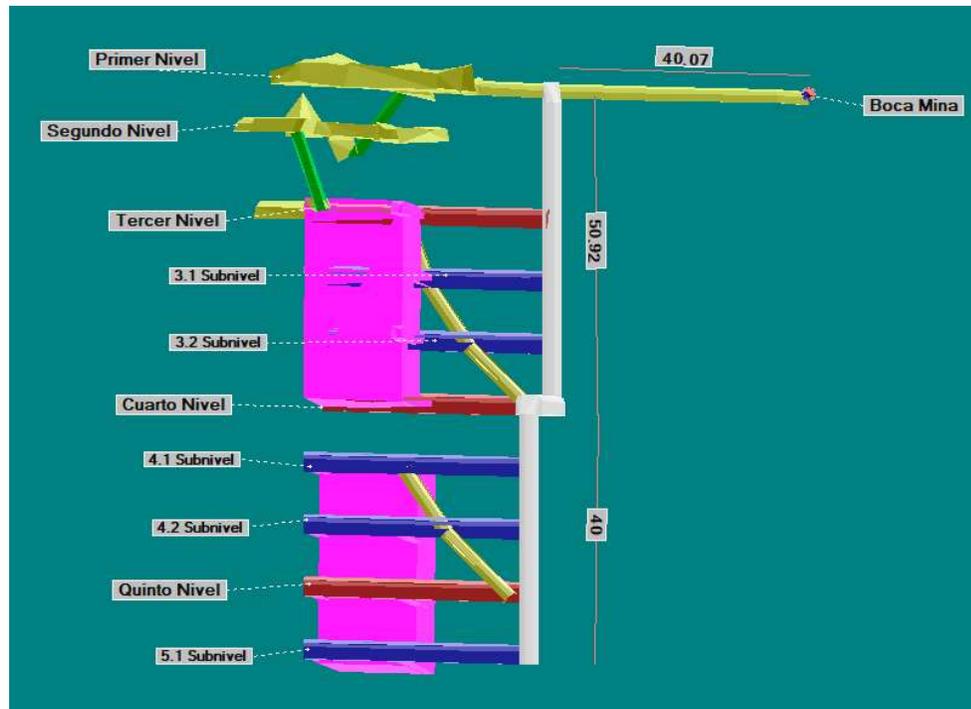


Figura 3.9. Esquema del sistema de explotación

Fuente: elaboración propia

### 3.4. Tiempo estimado de extracción

La mina tiene una capacidad de producción de 108,20 ton/día, ello por los equipos, maquinaria, y las instalaciones de los sistemas de izaje. Debido a las condiciones de la mina y, porque el proyecto no abarca un estudio acerca de optimizar la producción, no se podría aumentar la producción.

Serán dos los sectores dentro del yacimiento explotados, entre ambos, la cantidad de reservas estimadas llegan a: 18.252 ton. Para extraer dicha cantidad no será necesario un cambio en la maquinaria de la mina.

El tiempo estimado para la extracción de las 18.252 ton, sin aumentar el ritmo de producción diario de la mina y tomando en cuenta la construcción de las galerías y subniveles, será de: 2 años.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Para poder determinar un método de explotación se necesitan de varios aspectos, entre ellos identificar el tipo de yacimiento es indispensable, y es el primer paso a realizarse. Para lograr entender el origen, forma y manifestación, fue necesario remontarse a la década de los 90, cuando la empresa ECUANOR S.A. inició los trabajos de exploración del área hoy en cuestión analizada.

La información base que la empresa obtuvo fue útil al momento de determinar el yacimiento presente. Con esa información se logró descubrir que el cuerpo mineralizado proviene de una brecha magmática hidrotermal, de emplazamiento endógeno, con forma filoniana.

En el área minera se presentan 7 cuerpos de brecha, siendo la brecha El Mirador en la cual el contrato de operación con nombre “001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO”, se ubica y será procederá a extraer el mineral de interés.

Por contrato se ha dejado en claro que la mina podrá realizar sus operaciones entre las cotas 1.600 msnm hasta los 1.500 msnm. En cien metros se deberá ejecutar todo el proyecto de explotación. La parte de la brecha El Mirador que corresponde al contrato de operación tiene como dimensiones 30 hasta 50 metros de diámetro en las partes más amplias.

Para lograr alcanzar el objetivo de proponer un sistema de explotación fue necesario analizar el modelo geológico del yacimiento, el levantamiento topográfico del interior de la mina y el índice de la calidad de roca RMR.

Conociendo la ubicación de la concesión, el tipo de yacimiento presente, y la situación del contrato de operación; era posible generar un modelo que permita interpretar la disposición de las brechas. Por medio de perfiles geológicos se logró plantear un posible modelo de yacimiento.

Posterior al modelo geológico era necesario recabar la información de la mina. Existen trabajos antiguos, labores abandonadas y zonas de alto riesgo por la ausencia de

entibación dentro de los túneles. Un levantamiento topográfico fue llevado a cabo, porque era necesario obtener información de los túneles, dimensiones de las zonas abandonadas, ubicación de las chimeneas, distancias de las galerías principales, luz del túnel, amplitud de las labores, etc.

En el interior de la mina se constató la presencia de dos fallas geológicas, información del espesor, amplitud, rumbo y buzamiento fueron tomados y analizados para comprender como se presentaban y si podían intervenir de manera significativa en el proyecto, el resultado indicó que las fallas no inciden de manera significativa.

Del levantamiento topográfico se obtuvo que existen tres niveles, dos chimeneas, y dos zonas abandonadas consideradas como de alto riesgo debido a las dimensiones y la ausencia de sostenimiento tanto natural como artificial.

De la geología local y el levantamiento topográfico se obtuvo que la roca presente era granodiorita, un tipo de roca ígnea de origen plutónico, que se encuentra alrededor del yacimiento, como la principal estructura del macizo rocoso. El estudio geológico permitió conocer el tipo de yacimiento; de la topografía se obtuvo la condición del interior de la mina y la principal roca encajante. Posterior a esto se determinó la calidad de la roca utilizando el índice RMR de Bieniawski.

Varios datos de la granodiorita y el macizo rocoso como tal, fueron obtenidos en campo, aunque hubo datos que se consiguieron del estudio realizado por los técnicos de ECUANOR. Para el caso del presente proyecto, la granodiorita demostró ser roca de calidad II, que es considerada como “buena”. Con el valor de la calidad de la roca se demostró que el macizo rocoso es competente y que, el proyecto propuesto puede bien ser ejecutable.

Con los datos básicos obtenidos el sistema de explotación puede ir tomando forma, y se puede identificar posibles selecciones. Para yacimientos de tipo filoniano, que se presentan de forma vertical, se puede utilizar el método de galerías por subniveles, tomando en cuenta el levantamiento topográfico, existe la posibilidad de realizar labores de extracción por 70 metros profundidad correspondientes a los 100 de cota inferior otorgados en el contrato minero.

Otro dato importante es que el sistema de explotación no afecta al transporte de material al interior de la mina, al ser un método de extracción, no se está proponiendo modelos de optimización de transporte o acarreo, por lo cual el diseño se acopla a la situación actual de la mina, permitiendo que los mismos equipos sean utilizados en el nuevo sistema de explotación.

Finalmente, se determinó que, serán necesarios construir tres niveles más, aparte de los ya presentes en la mina, también se construirán subniveles cada 10 metros de distancia, y los niveles contarán con dos subniveles respectivamente. Dado que existe un límite de explotación, indicado en el contrato minero; no es posible explotar hacia los costados, es decir hacerlo de forma horizontal por tramos largos, el área es pequeña cuenta con 0,42 has, por lo cual se ha preferido realizar el sistema de explotación por completo de forma vertical. Para acceder a los niveles y subniveles se diseñarán dos chimeneas de 45 metros de profundidad cada una, con inclinación de 90°.

En resumen, el sistema de explotación propuesto contará con la implementación de 3 nuevas galerías (3<sup>er</sup> Nivel, 4<sup>to</sup> Nivel, 5<sup>to</sup> Nivel), cada una con dos subniveles (3.1 subnivel, 3.2 subnivel, 4.1 subnivel, 4.2 subnivel) a excepción de la última galería (5<sup>to</sup> Nivel) que solamente contará con un subnivel (5.1 subnivel).

Con la construcción de las galerías y subniveles, se logra alcanzar una profundidad de 90 metros desde de la bocamina.

La cantidad de material que se ha planificado extraer es de: 18.252,00 ton; la cual será extraída en un tiempo de dos años.

## **Recomendaciones**

Se sugiere al titular minero que gestione el presupuesto necesario para dar el debido mantenimiento a las labores más expuestas, siendo estas las zonas abandonadas, aquellas que después de la explotación han quedado como grandes salones, espacios inmensos sin fortificación ni recubrimiento de las paredes. Aunque la granodiorita ha sido identificada como roca de calidad II, no significa que resista los esfuerzos continuos a la cual se somete, y por si fuera poco a ello se suma también la vibración producto de las voladuras, generadas durante los avances en los frentes de explotación y la construcción de las nuevas chimeneas.

En el capítulo III de este proyecto se describe un posible método de fortificación que bien puede ser aplicado por el representante legal de la mina, colocando pernos de anclaje sobre la corona o techo de las galerías abandonadas.

Con la creación de las galerías se podría realizar nuevas labores de exploración, a fin de descubrir zonas con leyes que permitan aumentar la cantidad de reservas, o que justifiquen un incremento en el área del contrato de operación.

De ser construidas las galerías éstas deben ser revisadas de forma continua, es probable que después del desatado de rocas se presenten fisuras o fallas que representen un riesgo en la obra. Por lo que la topografía de la zona debe ser revisada y actualizada conforme se den los avances en el túnel y con la creación de los niveles.

Es necesario entonces llevar un registro continuo de las familias de diaclasas que se vayan presentando durante la creación del sistema de explotación, a fin de verificar que no se generen variaciones en el macizo rocoso, o que éste se esté afectando con el sistema de explotación, a fin de aseverar que la extracción del mineral es llevada de forma responsable, segura y técnica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. A. (2007). *Estimación de Recursos*.
- Belandria, D. N. (2002). *Clasificaciones geomcénicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana*. Mérida, Venezuela. Obtenido de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia\\_geotecnia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf)
- Dra. Belandria, D. B. (2016). *Universidad de los Andes*. Obtenido de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia\\_geotecnia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf)
- Durazno, I. H. (2002). *Informe Anual de Exporación Inical*. Pasaje.
- ESTUDIOS MINEROS DEL PERÚ S.A.C. (Septiembre de 2004). *PROESMIN*. Obtenido de <http://www.proesmin.com/main/es/content/descargas-0>
- Farjas, M. (2014). Obtenido de [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Tema\\_11\\_Teoria.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Tema_11_Teoria.pdf)
- Fernández, C. C. (s.f.). *RecMin.com*. Obtenido de [http://recmin.com/WP/?page\\_id=88](http://recmin.com/WP/?page_id=88)
- INGEMMET, DINAGE. (abril de 2005). Geología de Ecuador y Perú entre 3° S y 6° S. *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades andinas Ecuador-Perú*. Ecuador, Perú.
- Jauregui, L. (2012). Obtenido de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA\\_1.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA_1.pdf)

- José Ariosa, R. D. (2001). MODELOS DE YACIMIENTOS MINERALES: TIPOLOGÍAS Y APLICACIONES. *Minería y Geología*, XVII(2), 12. Recuperado el 2018, de [file:///C:/Users/Jean%20Carlos/Downloads/Modelos\\_de\\_Yacimientos\\_2001%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Jean%20Carlos/Downloads/Modelos_de_Yacimientos_2001%20(1).pdf)
- Lapresta, B. (16 de octubre de 2014). *4GEO-BLOG*. Obtenido de <https://geologiaygeotecnia.wordpress.com/2014/10/16/clasificacion-geomecanica-rmr-bieniawski-1989-hoja-de-calculo/>
- Madrid, U. P. (Noviembre de 2007). Obtenido de [http://oa.upm.es/21841/1/071101\\_L3\\_labores\\_subterranas\\_2.pdf](http://oa.upm.es/21841/1/071101_L3_labores_subterranas_2.pdf)
- MineroSoy. (2010). *Scrib*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/29572881/Metodos-de-mineria-subterranea>
- MINISTERIO DE MINAS, E. (2018). *LEY DE MINERÍA*. QUITO.
- Monsalve, J. E. (2016). *Diseño de pilares mediante el método del área tributaria*. mayo.
- Ph.D., L. F. (2008). *Yacimientos Minerales Metálicos*. Querétaro, México: Bol-e.
- Quispe, Y. I. (2012). *Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1245/1/quispe\\_ay.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1245/1/quispe_ay.pdf)
- Reyes, B. (2005). *Métodos de Explotación*.
- Serrano, C. B. (2015). *Academia* . Obtenido de [https://www.academia.edu/14557109/INTRODUCCI%C3%93N\\_A\\_LA\\_SIMULACION\\_NUMERICA\\_DE\\_YACIMIENTOS](https://www.academia.edu/14557109/INTRODUCCI%C3%93N_A_LA_SIMULACION_NUMERICA_DE_YACIMIENTOS)
- SGM. (22 de marzo de 2017). *Servicio Geológico Mexicano*. Obtenido de [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Clasificacion-de-yacimientos-minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Clasificacion-de-yacimientos-minerales.html)

Geology.com. (2005). *Geoscience News and Information*. Obtenido de  
<http://geology.com/dictionary/glossary-p.shtml>

Ministerio de Minas y Energía. (agosto de 2003). GLOSARIO TÉCNICO MINERO.  
Bogotá, Colombia.

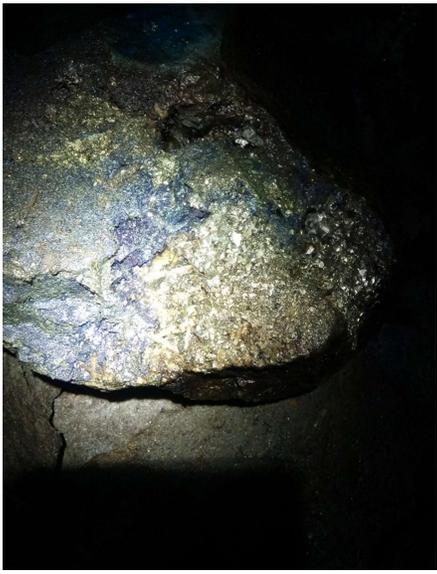
## ANEXOS

- a) Imágenes de las actividades que la mina realiza
- b) Imágenes del pórfido mineralizado
- c) Imágenes de las estructuras presentes en el macizo rocoso
- d) Imágenes de la toma de datos
- e) Mapa de ubicación de la concesión
- f) Mapa de geología regional
- g) Mapa de geología local

a) Imágenes de las actividades que la mina realiza

 A dark, narrow tunnel entrance with a blue sign that says "ENTRADA" on the left wall. The walls are rough and rocky.	 A wooden structure with a blue sign that says "WINCHE 2" and the number "2". Below the sign is a yellow hopper or container. The background is dark and rocky.
<p>Bocamina</p>	<p>Chimenea 2</p>
 A blue sign with the word "FRENTE" and the number "1" is mounted on a dark, rocky wall. The lighting is dim, highlighting the texture of the rock.	 A blue sign with the text "DESCENSO AL NIVEL 3" and a downward arrow is mounted on a wooden post. A rope is visible above the sign. The background is dark and rocky.
<p>Frente de explotación</p>	<p>Descenso al nivel 3</p>

b) Imágenes del pórfido mineralizado

	
Brecha de Cuarzo – Turmalina	Zona mineralizada

c) Imágenes de las estructuras presentes en el macizo rocoso

	
Zona de falla presente en el macizo	Familias de diaclasas

d) Imágenes de la toma de datos

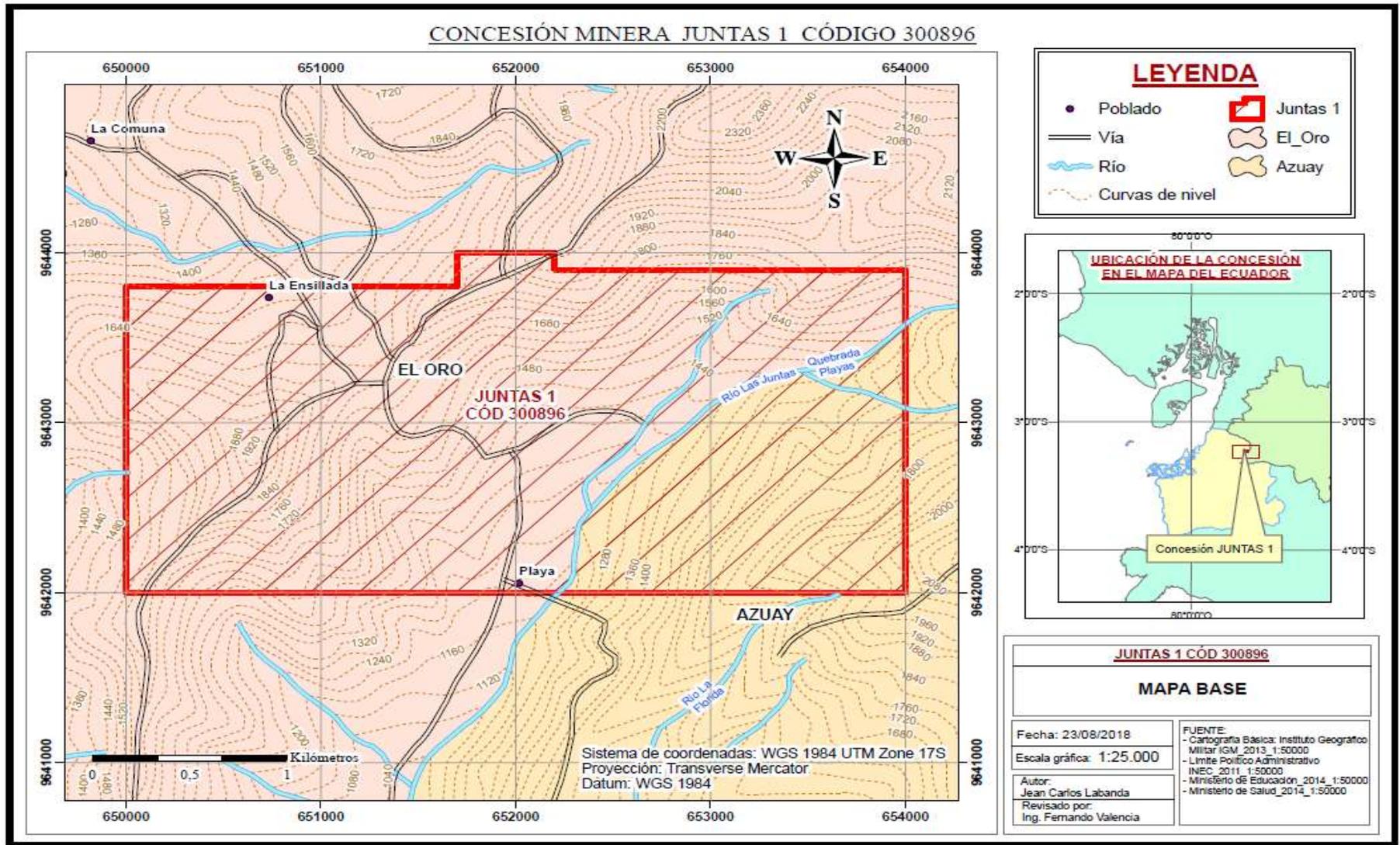


Toma del rumbo de las diaclasas

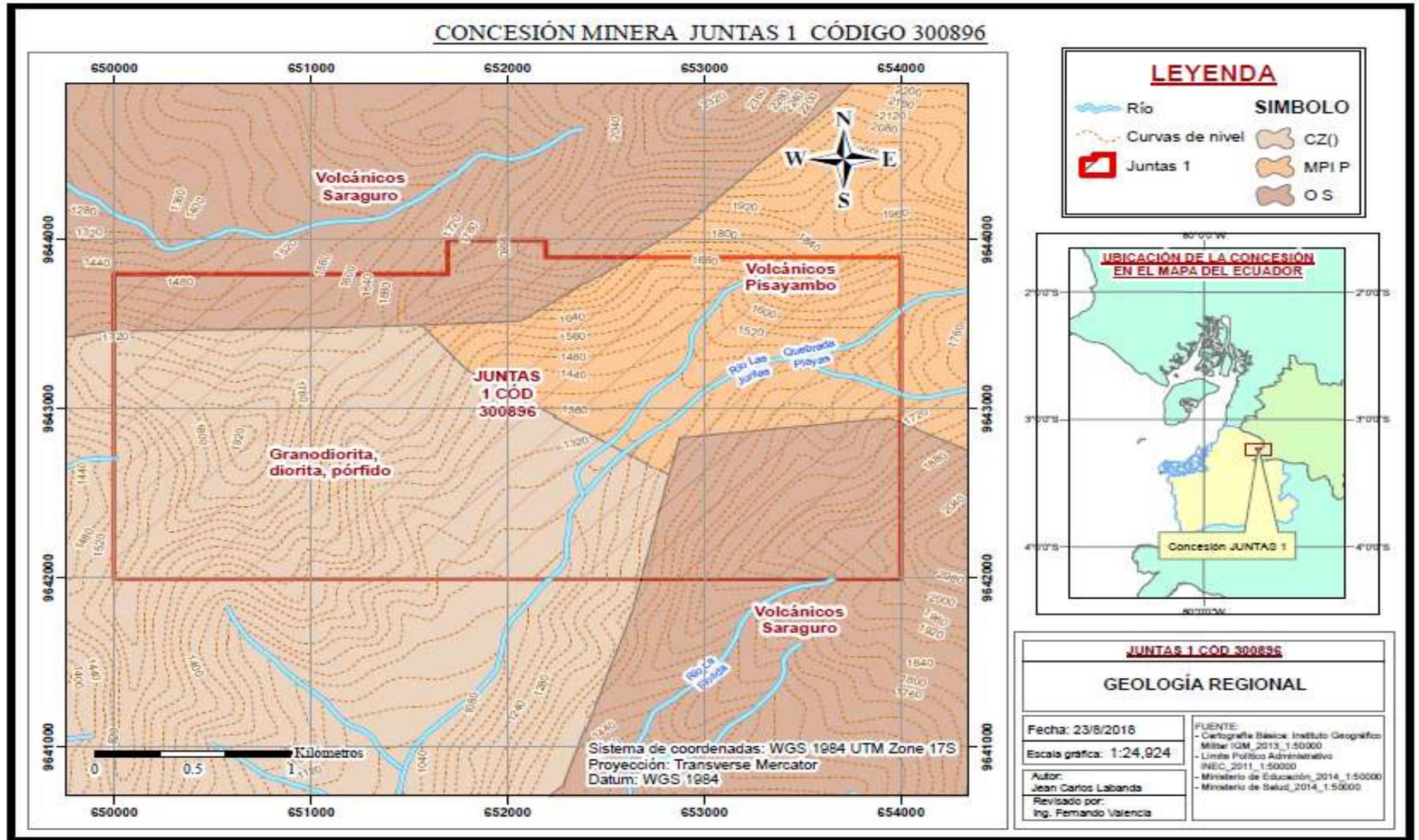


Levantamiento topográfico

e) Ubicación de la concesión



f) Geología regional



g) Geología local

