

**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS,  
METALURGIA Y GEOLOGÍA.**



**“EXPLOTACIÓN DE BLOQUE MINERAL VETA  
SAN MIGUEL, PROYECTO SAN CARLOS,  
UBICADO EN EL DISTRITO DE LA LUZ,  
MUNICIPIO DE GUANAJUATO. “**

TRABAJO DE EJERCICIO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO DE MINAS**

PRESENTA:

**Carlos Arturo Ortiz Peña.**

DIRECTOR:

**M. en C. Víctor Manuel Quezada Aguilera**

## **Agradecimientos:**

Principalmente a Dios, por bendecirme siempre.....

A mis Padres, mi pilar fundamental para sacar esta carrera y enfrentar cualquier reto, gracias por su paciencia y apoyo incondicional.

A mi hermano Arturo, quien me sigue los pasos....De cierta manera me impulsas a ser mejor en todos los aspectos.

Un agradecimiento especial a ti, Gaby, por tu apoyo incondicional e impulsarme a terminar este trabajo.

A mis profesores por transmitir su conocimiento de forma imparcial durante toda mi formación académica.

Quiero agradecer a mi director de trabajo el M. en C. Víctor Manuel Quezada Aguilera, por creer en mí, por su paciencia y apoyo para la realización y culminación de este trabajo.

A mis amigos, quienes con su apoyo me han impulsado a lograr varios objetivos, siempre buscando mejorar.

<b>Contenido:</b>		Pág.
<b>I.</b>	<b>Introducción.....</b>	5
<i>I.I</i>	Antecedentes.....	7
<i>I.II</i>	Objetivos Generales.....	10
<i>I.III</i>	Objetivos Particulares.....	10
<b>II.</b>	<b>Generalidades.....</b>	11
<i>II.I</i>	Descripción del Sitio.....	11
<i>II.II</i>	Infraestructura.....	12
<i>II.III</i>	Fisiografía.....	13
<i>II.IV</i>	Hidrografía.....	14
<b>III.</b>	<b>Marco Geológico.....</b>	16
<i>III.I</i>	Geología Regional.....	16
<i>III.II</i>	Geología Local.....	26
<i>III.III</i>	Geología y Mineralización.....	27
<i>III.IV</i>	Exploración.....	33
<b>IV.</b>	<b>Propuesta de Explotación Veta San Miguel.....</b>	35
<i>IV.I</i>	Selección Sistema de Minado.....	35
<i>IV.II</i>	Evaluación del Proyecto.....	57
<i>IV.III</i>	Necesidades de Equipo.....	60
<i>IV.IV</i>	Infraestructura Personal.....	64
<i>IV.V</i>	Otros Aspectos, Servicios, Ventilación.....	65
<b>V.</b>	<b>Observaciones y Conclusiones.....</b>	68
<b>VI.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	70

<b>Índice de Figuras:</b>	Pág.
Figura 1.- Localización de Proyecto San Carlos.....	11
Figura 2.- División Hidrológica del Estado de Guanajuato.....	15
Figura 3.- Mapa Geológico Regional.....	17
Figura 4.- Columna Estratigráfica, Distrito Minero Guanajuato...	19
Figura 5.- Sección Esquemática, Mostrando las Vetas Conocidas del Distrito La Luz.....	26
Figura 6.- Ejemplo de Veta en Mina Bolañitos.....	29
Figura 7.- Alteración y Distribución Mineral en un Sistema Hidrotermal de Baja Sulfuración.....	32
Figura 8.- Áreas de Expansión y Configuración para este 2019..	34
Figura 9.- Sección Longitudinal Veta San Miguel.....	34
Figura 10.- Método Tumbe Sobre Carga.....	36
Figura 11.- Método Corte y Relleno.....	37
Figura 12.- Explotación por Cuartos y Pilares en un Cuerpo Mineral Plano.....	40
Figura 13.- Método Sublevel Stopping.....	43
Figura 14.- Método Sublevel Caving.....	46
Figura 15.- Método Block Caving.....	48
Figura 16.- Minado con Barrenacion Larga.....	49
Figura 17.- Sección Longitudinal del Proyecto San Miguel.....	56
Figura 18.- Calculo Económico del Proyecto.....	59

## Índice de Tablas:

	Pág.
<b>Tabla A).</b> - Estimación de un método de minado en función del Q de la estructura mineralizada y de sus respaldos.....	51
<b>Tabla B).</b> - Ventajas y desventajas, según el método de minado.....	53
<b>Tabla C).</b> - Capacidad de barrenacion para Jumbo de 16 ft.....	62
<b>Tabla D).</b> - Capacidad de rezagado para Scoop Tram de 3.5 Yd.....	62
<b>Tabla E).</b> - Capacidad de anclaje y trabajos auxiliares.....	62
<b>Tabla F).</b> - Productividad camión de 7 m3.....	63
<b>Tabla G).</b> - Necesidades de personal, según avance en desarrollo...	64

## **I. Introducción**

Los objetivos principales de un método de explotación subterráneo son el diseño geométrico de los huecos a generar, la selección de la maquinaria y del sistema tecnológico más apropiado para lograr una extracción segura, económica y selectiva de los yacimientos de minerales a una cierta profundidad, sin tener que remover los materiales que lo recubren desde la superficie. Los medios y pasos necesarios para el desarrollo de un proyecto minero es la ingeniería minera en sus tres niveles:

- \* Diseño geométrico y planificación de las operaciones.
- \* Ingeniería de los sistemas o técnicas operativas.
- \* Estimación de los costos de inversión y de operación.

Y más modernamente a los objetivos de seguridad, fiabilidad y rentabilidad del proyecto hay que añadir su integración en el entorno o medio ambiente.

La alta intensidad de capital exigido, el descenso en las productividades por el fuerte costo del personal, las dificultades de lograr una mecanización y automatización, la peligrosidad por el desconocimiento de las condiciones geomecánicas, la falta de vocación minera de la mayor parte de las demandas de trabajo, han ido reduciendo la aplicación de esta metodología a los casos de minerales valiosos como el oro, la plata y el platino.

Sin embargo es justo reconocer que en los últimos 15 años se ha producido un importante incremento de la productividad en la minería subterránea, dentro de las causas esta la eliminación de dos limitaciones, como eran las tradicionales vías férreas para el transporte y la madera para la entibación, que se han sustituido por otros materiales como los neumáticos para el rodaje y el acero de los pernos o anclas y las mallas de sostenimiento de techos y paredes en rebajes para asegurar la obra y tolerar una mejor mecanización, si bien se haya perdido, en parte, algo de selectividad o de recuperación del yacimiento, a costa de una mayor seguridad y fiabilidad y un menor costo del proceso de minería subterránea.

## ***1.1 Antecedentes:***

El Distrito Minero Guanajuato ha sido, en determinados momentos de la historia minera mundial, un foco de atención del más alto relieve desde el siglo XIX. Consiste, principalmente, de vetas y grupos de vetas conocidos como los sistemas de: La Luz, La Sierra, El Nopal, y el más importante, la Veta Madre. Cuentan los historiadores que el nacimiento de este Distrito y de la ciudad de la cual tomó su nombre, se debe principalmente al auge minero que por el año de 1546 había cobrado ya, la ahora ciudad de Zacatecas, a la cual fue necesario comunicar por medio de un “camino de herradura” y este camino pasaba cerca de lo que hoy es la ciudad de Guanajuato.

El tránsito de arrieros, buscones y aventureros por este camino, provocó que el 11 de junio de 1548, un grupo de estos abigarrados caza fortunas localizara una veta en las inmediaciones de San Bernabé, en lo que actualmente corresponde al sistema de “Vetas de la Luz”.

A partir de ese momento principió a poblarse la zona y se fundó una primera rancharía que llevó el nombre de Santa Ana y que estaba ubicada en la zona en que actualmente se encuentra el panteón de la ciudad de Guanajuato y de la que solo quedan algunas ruinas.

En 1550, el arriero Juan Rayas, de una forma por demás accidental, descubre el crestón de la Veta Madre, en el sitio donde ahora se ubica el tiro de Rayas: tal descubrimiento dio a su afortunado realizador, además de fama y fortuna, la alta distinción de ser nombrado Conde de Rayas por los Reyes de España. Ya para el año de 1558 se había reconocido en casi toda su

extensión la Veta Madre con obras más o menos someras, en los lugares en donde surgieron posteriormente las minas (en orden de norte a sur) de Encarnación, Valenciana, Guadalupe, Tepeyac, Cata, San Vicente y Sirena.

Para el sistema la Luz, en 1548, aparecerían los primeros vestigios de minerales, siendo la plata una de las principales, motivo por el cual comenzó la era de prosperidad y posibilidad de crecimiento. En el siglo XVIII se le llamó mineral de Realejo y durante el siglo XIX sustituyó su nombre por el de Mineral de la Luz.

Las principales minas de aquel entonces eran la de San Bernabé, Santa Lucía, San Juan de Dios, San José de los Muchachos, Santa Clara, El Refugio, Santa Rosa, San Pablo y La Soledad. Para los años de 1840 a 1860 era notable la forma de vida próspera y llena de abundancia.

El siglo XIX, señala una decadencia de la minería del Distrito Minero de Guanajuato y de los distritos del interior del Estado. Los movimientos de libertad distraen la atención de la población y consecuentemente la mano de obra de los quehaceres productivos.

A pesar de lo anterior, en el Distrito Minero de Guanajuato, algunas compañías extranjeras (inglesas y norteamericanas) trabajaron varias minas, lográndose en la mina La Luz una gran bonanza, que devuelve a Guanajuato su grandeza y su fama minera.

Los albores del siglo XX, encuentran a nuestro país de nuevo en luchas internas; después de la aparente tranquilidad de la primera

década, el estallido de la Revolución, paraliza durante un buen tiempo las actividades productivas; esta situación también se refleja en la industria minera que también sufre las consecuencias de este fenómeno social, reflejándose los resultados con una disminución de su producción.

Como se ve, la principal actividad minera del Estado a través de los años ha estado centrada en el Distrito Minero de Guanajuato. Su inmensa riqueza se basó principalmente en las estructuras divididas en tres sistemas: La Veta Madre, las Vetas de la Sierra o Villalpando y las Vetas de La Luz.

El Distrito La Luz, está formado por veta principal que es Bolañitos y un sistema de vetas paralelas y diagonales que se desprenden de la misma, actualmente se están minando estas estructuras, pero el bloque del Proyecto se ubica más al Norte del Distrito y tenemos obras muy antiguas que nos impiden comunicar por obra subterránea con las demás minas, por lo que será necesario la apertura de un nuevo portal y diseño de rampa.

### ***I.II* Objetivos Generales:**

Seleccionar el método de minado para recuperar bloque mineral de la Veta San Miguel, en distrito La Luz, Guanajuato.

### ***I.III* Objetivos Particulares:**

- .- Diseño de obras para minado de bloque a partir de la selección del método de minado.
- .- Análisis y determinación de costos de minado.
- .- Determinación de necesidades de equipo y personal para la explotación del cuerpo mineral.

## II. Generalidades

### II.I Descripción del sitio:

El Proyecto San Carlos está ubicado en el estado de Guanajuato, México, dentro de mina Bolañitos, como se muestra en la Figura 1. La empresa cuenta con tres minas en operación: las minas Bolañitos, Lucero y Asunción, ubicadas cerca del pueblo de La Luz, a unos 12 km al noreste de Guanajuato. Se cuenta con una planta de procesamiento dentro de mina Bolañitos.

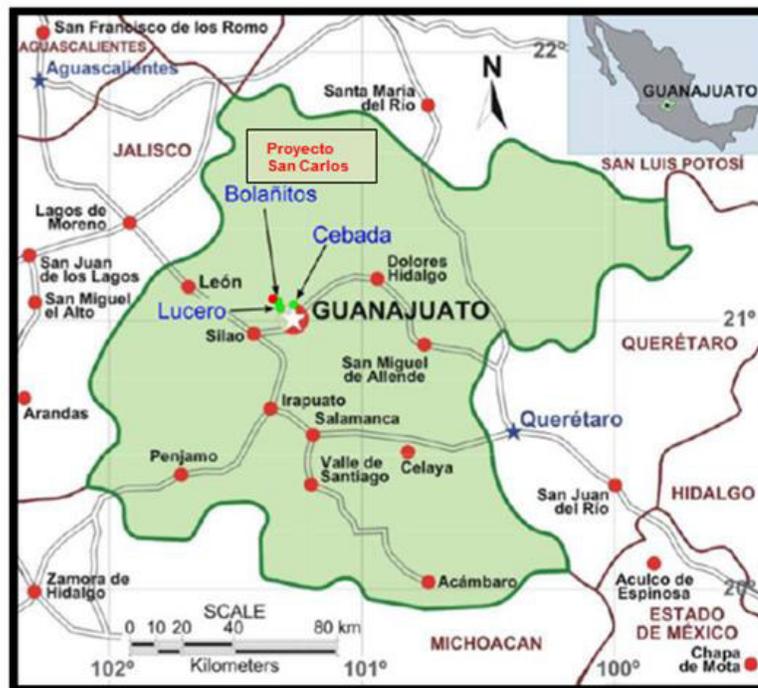


Figura 1.- Localización de proyecto San Carlos. (Fuente: Endeavour Silver. 2018)

El acceso principal al Proyecto es proporcionado por una carretera pavimentada de nueva construcción (2013) desde la ciudad de Guanajuato. El aeropuerto internacional de León / Guanajuato brinda acceso internacional al área con servicio diario desde: Los Ángeles, Dallas / Fort Worth, Houston y Ciudad de México.

El clima regional es templado, con inviernos fríos y veranos suaves. La lluvia ocurre principalmente durante la temporada de verano, de junio a septiembre, y la precipitación anual típica es de aproximadamente 70 centímetros por año. Desde mediados de diciembre hasta enero, las temperaturas nocturnas caen de 7 ° a 10 ° C, y las temperaturas altas diurnas en un rango bajo de 20 ° C son típicas. La nevada es rara, pero se sabe que ocurre en las elevaciones más altas de toda la región. Las condiciones climáticas raramente, si es que alguna vez, restringen la actividad minera en Bolañitos, y las operaciones pueden llevarse a cabo durante todo el año.

## ***II.II* Infraestructura:**

La ciudad de Guanajuato tiene una población de aproximadamente 160,000 habitantes y alberga varias universidades y escuelas preparatorias, incluida una escuela de minería. El turismo es una industria principal en el área, y como resultado numerosos hoteles y restaurantes están disponibles. El área tiene una rica tradición de minería y hay una amplia oferta de personal calificado suficiente para las operaciones de minería subterránea y las instalaciones de superficie. La mayor parte de la fuerza laboral reside en comunidades locales o en la ciudad de Guanajuato. Los suministros necesarios para los programas de exploración y las operaciones mineras se compran con facilidad en la ciudad de Guanajuato o en ciudades cercanas como León, San Luis, etc.

En cada una de las minas del Proyecto, el agua requerida para las operaciones se suministra desde el desagüe de las minas. La instalación de relaves en la mina Bolañitos está configurada para

reciclar la mayor cantidad de agua posible en la planta de beneficio.

El suministro de energía para el Proyecto es proporcionado por la red nacional CFE (Comisión Federal de Electricidad), y las comunicaciones telefónicas están integradas en el sistema telefónico nacional terrestre que proporciona comunicaciones telefónicas directas nacionales e internacionales confiables. Las comunicaciones satelitales también brindan capacidades de teléfono e internet en la mina Bolañitos, aunque los servicios de telefonía satelital e internet son lentos y a veces poco confiables. No hay servicio de telefonía celular en ninguna de las minas.

### ***II.III* Fisiografía:**

El estado de Guanajuato está situado a lo largo del borde sur de la meseta central mexicana y comprende partes del Cinturón Volcánico Transmexicano, la Meseta Mexicana y la Sierra Madre Oriental. El Proyecto San Carlos está ubicado en la parte central oeste del estado, entre una serie de montañas bajas que forman parte de la Sierra Madre Occidental. Césped, pequeños árboles y arbustos junto con variedades de cactus constituyen la mayor parte de la vegetación en las laderas más empinadas, con árboles más grandes que se encuentran cerca de manantiales y arroyos.

El área está principalmente desprovista de árboles, excepto en los valles y donde se ha llevado a cabo la reforestación.

Aunque hay una cantidad razonable de lluvia cada año, con un promedio de precipitación anual de 700 milímetros, la mayoría de los arroyos en el área generalmente están secos, con la excepción

de los reservorios artificiales que rodean la ciudad de Guanajuato. Un poco de pastoreo de ganado se lleva a cabo en el área sobre la tierra de matorral. Secciones de tierras más cultivables han sido deforestadas para apoyar pequeñas parcelas para cultivos.

#### **II.IV Hidrografía:**

Pertenece a la región RH12 de la red hidrológica del estado de Guanajuato, la Cuenca Río Lerma-Salamanca (B)

Abarca la porción central y suroriental del estado, ocupa 33.8 % de la superficie total estatal, equivalente a 10.400 kilómetros cuadrados aproximadamente, (figura 2). Las pendientes que prevalecen en la cuenca son contrastantes, debido a la topografía del terreno, ya que se encuentran alterando amplios valles con pendientes suaves, distribuidos en toda la cuenca, y zonas montañosas con pendientes fuertes que caracterizan la parte norte de León y Guanajuato, así como a la zona de Pénjamo y Cuerámara. El drenaje está constituido por corrientes de régimen intermitente y perenne. El río Lerma es el principal colector de esta cuenca, surca con dirección noroeste hasta las cercanías de Salamanca, donde cambia la dirección de su curso y drena con rumbo general suroeste, hasta inmediaciones del poblado La Barquilla; a partir de esta localidad constituye el límite natural entre los estados de Guanajuato y Michoacán. Atendiendo al diseño del drenaje, se define un patrón tipo dendrítico en la zona montañosa de la parte norte, en tanto que en el sur y sureste es muy característico el drenaje radial originado por los aparatos volcánicos existentes. La precipitación varía entre 700 y 800 milímetros, distribuyéndose de la siguiente manera: hacia el área

de los valles y la parte baja de las sierras, predomina una precipitación de 700 milímetros, la cual se incrementa hacia las partes altas de las sierras, hasta los 800 milímetros. La temperatura oscila desde los 12°C en el valle de Irapuato; en el resto del área predomina una temperatura entre 16° y 18°C.

El río Lerma tiene su origen en el estado de México, cerca del poblado Atizapán de Zaragoza y en las partes altas de los volcanes Nevado de Toluca y Ajusco. Sus afluentes principales por margen derecha son los ríos Laja y Guanajuato, constituyen las corrientes perennes de la cuenca. El resto de las corrientes son arroyos de régimen intermitente, de avenidas turbulentas en época de lluvias. Entre ellas destacan los arroyos: La Soledad, La Barranca y Azul en la parte sureste; los ríos Grande, Silao, El Cubo, Temascatío y Pardo, en la parte norte; los ríos, Frío, El Sauz y Colorado en la porción suroeste completan la red hidrográfica.

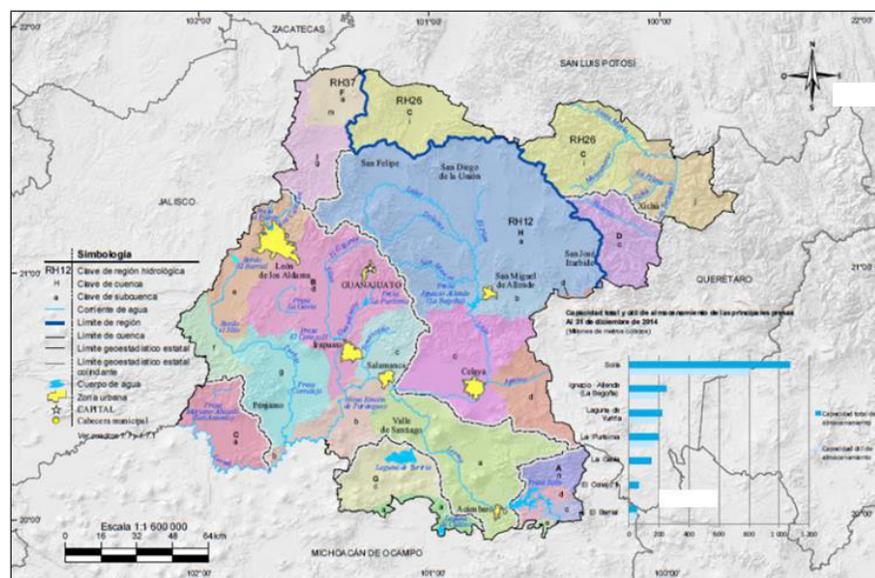


Figura. 2 – División Hidrológica del estado de Guanajuato. (Fuente: INEGI-CONAGUA 2007)

### **III. Marco Geológico**

#### **III.1 Geología Regional:**

El Distrito Minero de Guanajuato está situado a lo largo de los flancos sur y este de la provincia geológica Sierra Madre Occidental, un cinturón volcánico lineal de tendencia nortenoeste de la era terciaria. Tiene aproximadamente 1.200 kilómetros de largo y 200 a 300 kilómetros de ancho. Las rocas dentro del cinturón comprenden flujos y tobas de composición basáltica a riolítica con cuerpos intrusivos relacionados. La actividad volcánica que produjo la mayor parte del grupo volcánico superior terminó en el Oligoceno tardío, aunque hubo cierta actividad eruptiva tan recientemente como 23 Ma (Mioceno temprano). El volcanismo se asoció con la subducción de la placa de Farallón y resultó en acumulaciones de lava y tobas del orden de 1 km de espesor. Posteriormente, el tectonismo extensional de cuenca y rango relacionado con la apertura del Golfo de California resultó en fallas de bloque, elevación, erosión y la geomorfología actual del cinturón. Los estratos dentro del cinturón ocupan un amplio antiforme, transectado longitudinalmente por fallas de escala regional. En la figura 3 se presenta un mapa geológico regional.

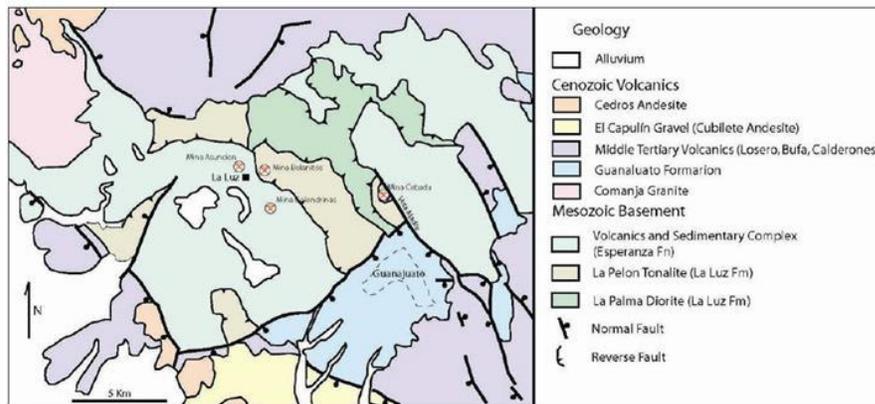


Figura 3.- Mapa Geológico Regional. (Endeavour Silver, 2016. Modificada de Clark, 2009)

El Distrito de Guanajuato está respaldado por una secuencia volcánica-sedimentaria de rocas de la edad mesozoica a cenozoica. Hay tres sistemas principales de vetas con tendencia noroeste que cortan estas secuencias volcánico-sedimentarias. Los grupos de vetas de oeste a este se conocen como los grupos de La Luz, Veta Madre y La Sierra. Estos grupos son generalmente ricos en plata con proporciones de plata a oro de 72:1 a 214:1. Son conocidos a lo largo de 10 a 25 kilómetros.

La mina Bolañitos se encuentra en la parte oriental del Distrito Minero de Guanajuato, en la parte sureste de la Sierra de Guanajuato, que es una estructura anticlinal de unos 100 kilómetros de largo y 20 kilómetros de ancho. Bolañitos se encuentra en el lado noreste de esta estructura. Se sabe que la mineralización económica en Bolañitos se extiende hasta 250 metros verticalmente desde 2300 a 2050 metros de elevación, con la excepción de la veta La Luz que se extiende 400 metros verticalmente desde 2300 a 1900 metros.

La estratigrafía del Distrito Minero de Guanajuato se puede dividir en un basamento mesozoico (Chiodi et al, 1988; Dávila y Martínez, 1987; Martínez-Reyes, 1992) y unidades cenozoicas supra yacentes, como se muestra en la figura 4. Las unidades litológicas mesozoicas inferiores son las formaciones Esperanza y La Luz, que están compuestas por rocas sedimentarias marinas, metamorfoseadas de débil a moderada e intensamente deformadas por el acortamiento. Estas rocas están superpuestas por los conglomerados de la Formación Terciaria de Guanajuato y las Formaciones Loseros, Bufa, Calderones, Cedros y Chichíndaro. Las rocas terciarias consisten en sedimentos continentales y rocas sedimentarias, que generalmente ocupan zonas topográficas más bajas, y rocas volcánicas subaéreas, que están expuestas principalmente en los rangos y mesetas más altas. Las rocas de la cubierta cenozoica solo han experimentado deformación extensional y en algunos lugares están inclinadas suavemente. Las rocas de edad terciaria corresponden a un período de tectonismo acompañado de volcanismo y actividad magmática intrusiva.

La figura 4 nos muestra la intrusión de Peregrina, que es un cuerpo con piso (laccolito) en contacto con la riolita de la Formación Bufa y el conglomerado de la Formación Guanajuato. La porción superior de la intrusión de Peregrina se extiende hacia la riolita de la Formación Chichíndaro. El grosor de cada unidad presentada gráficamente en la sección estratigráfica representa el grosor máximo de esa unidad en las proximidades de la mina Bolañitos.

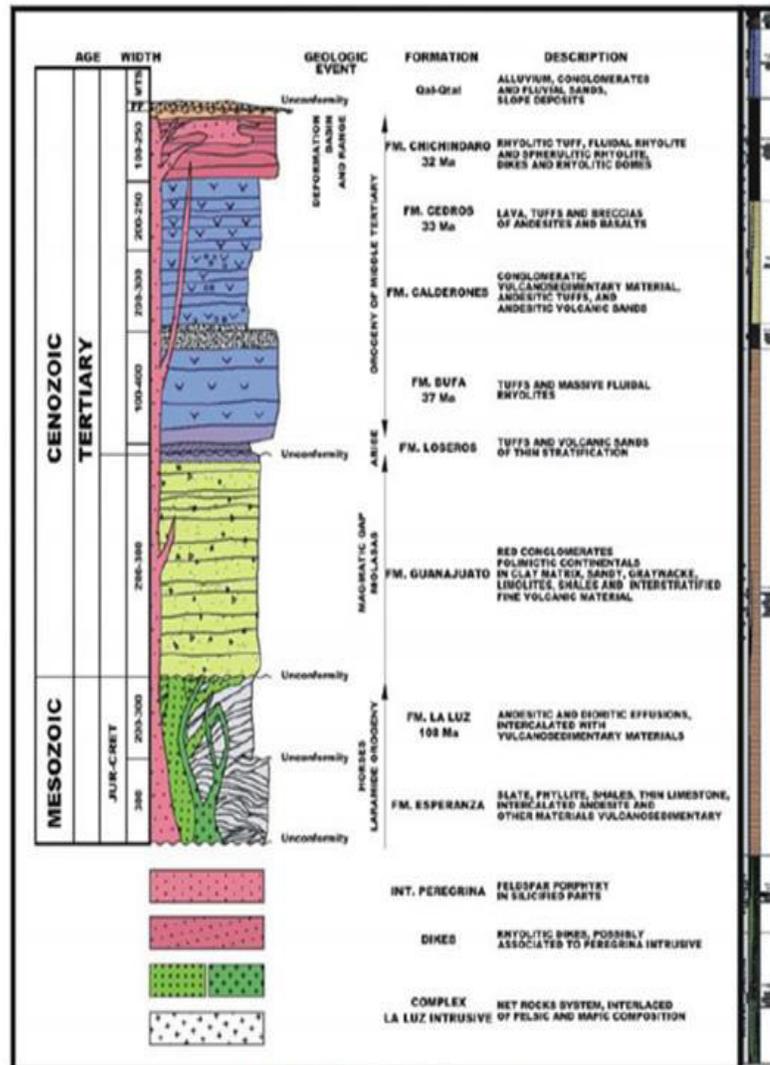


Figura 4.- Columna Estratigráfica, Distrito Minero Guanajuato (Fuente: Endeavour Silver. Reporte técnico de Hard Rock Consulting, LLC - 2018)

### 3.1.1 Formación Esperanza

La Formación Esperanza se compone de lutitas carbonáceas y calcáreas intercaladas con arenita, piedra caliza y flujos de lava andesíticos a basálticos, todos débilmente metamorfoseados a filitas, pizarras y mármol. El espesor de la formación supera los 600 metros.

### 3.1.2 Formación La Luz

La Formación La Luz se superpone a la Formación Esperanza y se compone principalmente de rocas sedimentarias clásticas intercaladas y basaltos macizos y almohadones tholeiitic fechados en  $108.4 \pm 2$  Ma. Localmente, están presentes tobas y aglomerados de riolita, y se han reportado algunos casos de sulfuro masivo volcánico. Se reconoce un espesor mínimo de al menos 1,000 metros, pero el espesor verdadero se desconoce debido a la deformación y al metamorfismo. Con la Formación La Luz se incluyen la diorita La Palma y la tonalita La Pelón, que forman la parte superior del arco de Guanajuato. La alteración propilítica generalizada es común.

### 3.1.3 Formación de Guanajuato (Eoceno a Oligoceno)

El conglomerado rojo característico de la Formación Guanajuato radica en el contacto inconformable con la Formación Esperanza y con menos frecuencia con la andesita de la Formación La Luz (Edwards, 1955). El conglomerado consta de guijarros a rocas de cuarzo, piedra caliza, granito y andesita pertenecientes a unidades de roca más antiguas, todas cementadas por una matriz de arcilla, con algunas capas intermedias de arenisca. Los lechos de arenitas volcánicas y lavas andesíticas se encuentran en la base del conglomerado. Se estima que el conglomerado de Guanajuato tiene entre 1,500 y 2,000 metros de espesor. La paleontología contemporánea de los vertebrados y las lavas andesíticas (49 Ma, Aranda-Gómez y McDowell, 1998) indican que la unidad tiene una edad media entre el Eoceno y el Oligoceno temprano.

#### 3.1.4 Formación de loseros (cenozoico)

Esta secuencia volcánica superior del Terciario medio se interpreta que está dentro y adyacente a una caldera. La toba de Loseros es una arenita volcánica bien colocada, verde a rojo crema de 10 a 52 metros de espesor. Se interpreta como un depósito de aumento en la base del llenado de la caldera Cubo y el oligoceno en edad.

#### 3.1.5 Formación de bufa (cenozoico)

La riolita de la Formación Bufo es una ignimbrita félsica que tiene aproximadamente 360 metros de espesor y se encuentra por encima de un contacto agudo a gradacional. Es una ignimbrita de riolita portadora de sanidina con biotita como fase máfica, y a menudo es masiva, pero localmente identificada. Debido a la soldadura moderada y la silicificación extensa y penetrante, es una roca dura que forma acantilados prominentes al este de la ciudad de Guanajuato. Ocasionalmente contiene grandes clastos líticos de varios tipos, muchos de los cuales se derivaron del sótano prevolcánico. En Bolañitos, la riolita de Bufo tiene tres unidades asignables: una brecha inferior cubierta por un pórfido denso y rojo de riolita, a su vez cubierta por una ignimbrita masiva a cama. La riolita de Bufo formadora de acantilados ha sido fechada usando la técnica de datación K-Ar para ser  $37 \pm 3$  Ma, colocándola en el oligoceno medio.

#### 3.1.6 Formación de calderones (cenozoico)

La Formación Calderones contiene una amplia variedad de rocas volcánicas, que incluyen ignimbritas de grado bajo a medio, depósitos de flujos piroclásticos, capas de oleada piroclásticas

relacionadas con la actividad freatomagmática, tobas ricas en cenizas, capas de piedra pómez menor, lahares, flujos de escombros, reelaborados capas tufosas depositadas en agua, brechas de toba y mega brechas. La alteración ubicua y característica del clorito imparte un color verde a azul verdoso a casi todos los afloramientos de Calderones. La alteración propilítica adyacente a venas y diques es de importancia local en muchos afloramientos.

La Formación Calderones se superpone a la Formación Bufo en Bolañitos con un contacto marcado por una mega brecha compuesta por fragmentos grandes (a menudo de 5 a 10 metros) de las Formaciones Esperanza, La Luz y Guanajuato. La Formación Calderones, que excede los 300 metros de espesor en Bolañitos, es la unidad superior de llenado de caldera sobre el depósito de expansión y los ignimbritas Bufo.

### 3.1.7 Cedros Andesita (Cenozoico)

Sobre la Formación Calderones se encuentra la andesita Formación Cedros, una unidad de 100 a 640 metros de espesor, que consiste en flujos de lava andesíticos de gris a negro con lechos rojos intercalados y tobas andesíticas a dacíticas.

La Formación Cedros es completamente posterior a calderones y está muy extendida.

### 3.1.8 Formación de Chichíndaro (Cenozoico)

La riolita de la Formación Chichíndaro es una secuencia de cúpulas y flujos de lava intercalados con brechas y tobas volcánicas mal clasificadas. Las texturas porfíricas fluidas son características en las cúpulas y los flujos.

Esta unidad litológica está estrechamente relacionada con la intrusión de peregrina hypabyssal, y tiene un grosor de 100 a 250 metros. En algunos lugares, las cúpulas de riolita contienen estaño disseminado y topacio relleno de cavidades en fase de vapor distribuido a lo largo de la foliación de flujo.

La riolita de Chichíndaro es la unidad volcánica más joven del Distrito Minero de Guanajuato. Tres edades de K-Ar obtenidas de esta formación (Gross, 1975; Nieto-Samaniego y col, 1996) fechán la unidad en  $32 \pm 1$  Ma,  $30.8 \pm 0.8$  Ma y  $30.1 \pm 0.8$  Ma.

#### 3.1.9 Granito de Comanja (Cenozoico)

El granito de Comanja es una unidad de tamaño batolítico, aparentemente emplazado a lo largo del eje de la Sierra de Guanajuato. Tiene una edad del Eoceno y ha sido fechado radiométricamente a  $53 \pm 3$  Ma y  $51 \pm 1$  Ma por K-Ar en biotita (Zimmermann y col, 1990). Estas fechas establecen la edad relativa más joven para la formación de Bufa, la unidad más joven cortada por el granito.

#### 3.1.10 Formación de El Capulin

La formación no consolidada de El Capulin consiste en arenisca y conglomerado tuffaceous cubiertos por basalto vesicular, todos de edad cuaternaria.

#### 3.1.11 Estructura

La deformación previa a la mineralización durante la orogenia Laramide (~ 80-40 Ma) dio como resultado pliegues y empujes preminerales de tendencia oeste-noroeste en la Formación

Esperanza como se observó en la mina Cebada en la Veta Madre. La extensión temprana posterior a Laramide (~ 30 Ma) se orientó de norte a sur y de noreste, y controló muchos depósitos de vetas en la región (por ejemplo, Fresnillo, Zacatecas, La Guitarra). Guanajuato parece estar en un límite de terreno de tendencia norte-noroeste que se reactivó como una zona de falla transtensional sinistral junto con una mineralización de estilo de sulfuración intermedia de etapa temprana. La extensión regional posterior (~ 28 Ma) hacia el este-noreste-oeste-noroeste resultó en una deformación de tipo de cuenca y rango y fallas de bloque, y está asociada con una segunda fase de mineralización en el Distrito de Guanajuato.

A lo largo del grupo de Veta Madre, los brotes de mineral se controlaron durante la mineralización en la etapa inicial mediante trotaciones en sentido antihorario a lo largo de la estructura principal y en las intersecciones con las zonas de falla oeste-noroeste y noreste. Estos tendían a generar brotes de mineral relativamente empinados que se hundían hacia el sur a lo largo de la Veta Madre.

Durante la segunda fase de mineralización, la falla del bloqueo y la inclinación afectaron las partes de la Veta Madre y se desarrollaron nuevos grupos de vetas como La Luz. Las vetas La Luz parecen haberse formado como matrices extensionales entre zonas de falla reactivadas oeste-noroeste que actúan como estructuras transtensionales dextrales.

Los grupos de vetas de la segunda fase tienden a formar zonas de mineral sub-horizontales que reflejan zonas de mezcla de fluidos o controles estructurales debido a cambios en la inmersión de la

superficie de la falla. La sobreimpresión de dos eventos significa que en algunos depósitos los brotes de mineral tienen más de una orientación y que existen lagunas verticales en la ley del mineral.

Randall y Col. (1994) propusieron por primera vez una estructura de caldera como modelo geológico conceptual para el Distrito Minero de Guanajuato, citando la presencia de una mega brecha en la Formación Calderones y la distribución de las formaciones volcánicas del oligoceno descritas anteriormente. La hipótesis afirma que el colapso de la caldera ocurrió en al menos dos etapas y que el colapso fue de tipo trampa. La presencia de un anillo periférico de tres cuartos de cúpulas de riolita que se entromete a lo largo de las fallas delimitadoras, la ubicación de las formaciones volcánicas del oligoceno ponderadas dentro de este anillo, la mega brecha y el borde topográfico, proporcionan evidencia de apoyo para esta hipótesis.

Después de la formación de la caldera, las fallas normales combinadas con la actividad hidrotermal alrededor de 27 Ma (Buchanan, 1980) resultaron en muchos de los depósitos de plata y oro encontrados en el Distrito. Dentro del Distrito Minero de Guanajuato hay tres grupos principales de fallas mineralizadas, los grupos La Luz, Veta Madre y Sierra. Veta Madre es un sistema de fallas de tendencia norte-noroeste y el más grande con 25 kilómetros de largo. Los otros grupos son paralelos a él. La mineralización ocurre dentro de estos grupos principalmente en fallas normales orientadas paralelamente a la tendencia principal.

### III.II Geología Local:

De las formaciones geológicas asociadas con el Distrito de Guanajuato, solo las formaciones Esperanza y La Luz ocurren en el área de la mina Bolañitos con mineralización que reside principalmente dentro de la Formación La Luz. Se sabe que la mineralización se disipa en el contacto con la Formación Esperanza (Figura 5).

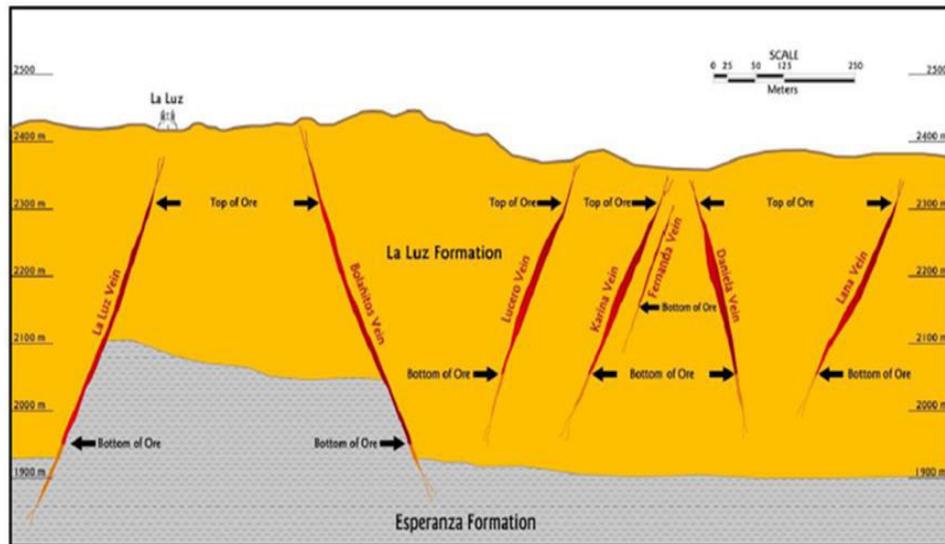


Figura 5.- Sección esquemática, mostrando las vetas conocidas del Distrito La Luz (Endeavour Silver. Reporte técnico de Hard Rock Consulting, LLC - 2018)

Históricamente, la Veta Madre fue la veta más productiva en el Distrito de Guanajuato y es, con mucho, la más continua, ya que se ha rastreado en la superficie durante casi 25 kilómetros. La veta tiene un echado de 35 ° a 55 ° hacia el suroeste con un desplazamiento medido de alrededor de 1,200 metros cerca de la mina Las Torres y 1,700 metros cerca de la mina La Valenciana.

Las vetas más productivas en Bolañitos se encuentran paralelas al grupo de Veta Madre.

La mineralización de Bolañitos está directamente relacionada con las fallas, ocurre como rellenos de espacios abiertos en zonas de fractura o impregnaciones en roca de pared localmente porosa. Las vetas que se formaron en espacios relativamente abiertos son los principales objetivos de la minería.

### ***III.III* Geología y Mineralización:**

La alteración hidrotermal en la pared de la roca es frecuente en el Distrito de Guanajuato, y es una excelente guía en la prospección minera de Bolañitos. La alteración dentro del Distrito está estrechamente relacionada con fracturas, vetas y zonas de brechas. Los halos de alteración que rodean estas zonas varían de unos pocos centímetros a metros y se pueden dividir en 4 tipos de alteración: 1) propilítica, 2) argílica, 3) fílica y 4) silicificado.

La alteración en la pared de la roca en Bolañitos en general no se altera significativamente en las profundidades de mineralización; sin embargo, las zonas de brecha dentro y cerca de las estructuras primarias tienen las características típicas de alteración del tipo de veta epitermal de baja sulfuración. La alteración encontrada dentro de las estructuras forma halos de alteración fílica (sericita) y silicificación. Se han identificado alteraciones argílicas y propilíticas por encima del nivel

mineralizado de 2300 metros.

La alteración propilítica es el tipo más ampliamente distribuido y las fracturas cercanas más fuertes, especialmente en las intersecciones de las vetas. La alteración propilítica consiste en epidota, clorita, arcillas y calcita. La alteración fílica (sericita) no es tan generalizada como la alteración propilítica, y generalmente se encuentra dentro o en contacto inmediato con la veta. El conjunto mineral típico de este tipo de alteración consiste en pirita, illita y sericita con ocasionalmente caolinita y montmorillonita. La alteración argílica consiste en caolinita, montmorillonita y halloysita. La silicificación está restringida a las zonas de vetas y brechas, y típicamente se extiende solo unos pocos centímetros en la pared de la roca.

Las vetas mineralizadas en Bolañitos consisten en la clásica variedad epitermal con bandas y brechas. La plata ocurre principalmente en bandas oscuras ricas en sulfuro dentro de las vetas, con poca mineralización dentro de las rocas de la pared. Los principales minerales metálicos reportados incluyen: pirita, argentita, electrum y plata rubí, así como algo de galena y esfalerita, estos dos minerales generalmente se encuentran en las partes más profundas. La mineralización se asocia con alteraciones fílicas (sericitas) y de silicificación que forman halos alrededor de las estructuras mineralizantes. Las texturas de las vetas se atribuyen al frágil ciclo de fractura y unión de las vetas alojadas por fallas durante y / o después de la falla. (Figura 6)



*Figura 6.- Ejemplo de veta en Mina Bolañitos (Endeavour Silver. 2019)*

Las concentraciones económicas de metales preciosos están presentes en "brotes" distribuidos vertical y lateralmente entre segmentos no mineralizados de las vetas. En general, el estilo de mineralización es contraer y expandir con algunas flexiones que resultan en cierres y otras que generan amplias zonas de brecha sigmoidea.

La mineralización económica primaria en el Proyecto es oro y plata. Bolañitos se postula como un sistema de baja sulfuración con pirita pero sin arsenopirita.

Las vetas ricas en plata contienen cuarzo, adularia, pirita, acantita, naumannita y oro nativo. La plata nativa está muy extendida en pequeñas cantidades. Se supone que gran parte de la plata nativa es supergénica. Las sulfosales de plata (pirarargirita y polibasita) se encuentran comúnmente a profundidad.

### **III.III.I Tipos de Depósitos**

El Distrito de Guanajuato se caracteriza por depósitos de vetas epitermales de plata y oro con ley, y con mineralización de baja sulfuración y alteración de adularia-sericita. Las vetas de Guanajuato son típicas de la mayoría de los depósitos de vetas de plata y oro epitermales en México con respecto a las rocas huésped volcánicas o sedimentarias, la paragénesis y el tenor de la mineralización.

Los sistemas epitermales se forman cerca de la superficie, generalmente en asociación con aguas termales, y a profundidades del orden de unos pocos cientos de metros. Los procesos hidrotermales son impulsados por el calor remanente de la actividad volcánica. Las aguas termales circulantes que se elevan a través de fisuras eventualmente alcanzan un nivel donde la presión hidrostática es lo suficientemente baja como para permitir que ocurra la ebullición. Esto puede limitar la extensión vertical de la mineralización, ya que la ebullición y la deposición de minerales se limita a un rango relativamente estrecho de condiciones térmicas e hidrostáticas. Sin embargo, en muchos casos, puede ocurrir la unión y reapertura de las estructuras, impartiendo un movimiento vertical cíclico de la zona de ebullición y resultando en una mineralización que abarca un rango de elevación mucho más amplio.

Como el proceso de mineralización es impulsado por el llenado de espacios vacíos y fisuras, la geometría de la mineralización se ve afectada por la permeabilidad y la orientación de las estructuras. La mineralización tiende a favorecer las zonas dilatantes en áreas donde las fracturas se ramifican o cambian de orientación, lo que

a su vez puede ser impulsado por la competencia de roca de pared y / o la dureza relativa de los estratos individuales.

Las vetas epitermales de baja sulfuración en México generalmente tienen un horizonte de mineral sub-horizontal bien definido de aproximadamente 300 a 500 metros en extensión vertical, donde se han depositado brotes de mineral de alto grado por fluidos hidrotermales hirviendo. Las elevaciones mínimas y máximas de los horizontes mineralizados en la mina Bolañitos aún no se han establecido con precisión, pero la producción histórica y actual abarca un rango de elevación de 1900 a 2300 metros.

Los depósitos de baja sulfuración se forman por la circulación de soluciones hidrotermales que tienen un pH casi neutro, lo que resulta en muy poca alteración ácida con las unidades de roca huésped. Los ensamblajes de alteración característicos incluyen illita, sericita y adularia que generalmente se alojan en las vetas o en las rocas de la pared. El fluido hidrotérmico puede viajar a lo largo de fracturas discretas creando depósitos en las vetas, o puede viajar a través de la litología permeable, como los flujos de ignimbrita mal soldados, donde puede depositar su carga de metales preciosos de manera diseminada. En general, la mineralización diseminada se encuentra a cierta distancia de la fuente de calor. La figura 7 ilustra la distribución espacial de la alteración y vetas encontradas en un hipotético sistema hidrotermal de baja sulfuración.

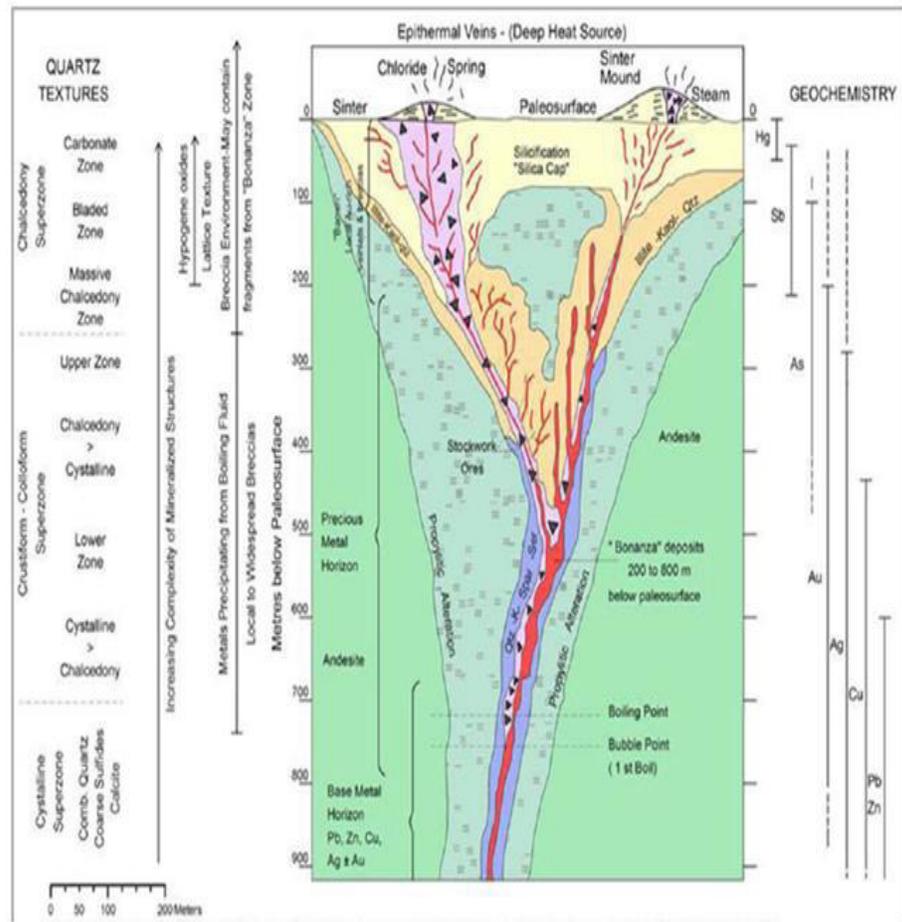


Figura 7.- Alteración y distribución mineral en un sistema Hidrotermal de baja sulfuración. (Endeavour Silver. Reporte técnico de Hard Rock Consulting, LLC - 2018)

### **III.IV Exploración**

Durante los primeros meses de este año (2019), la exploración de Bolañitos se centró en expandir el yacimiento de Plateros y cerrar la plantilla de barrenos para un mejor delineado de nuevos recursos en la veta San Miguel. (Figura 8)

Como resultado de su programa de perforación para 2019, se ha encontrado con múltiples intersecciones de plata-oro de alta ley en las vetas Plateros y San Miguel. Hasta mediados de abril se ha perforado un total de 19 barrenos, de los cuales 12 cortaron anchos que son más que explotables, mientras que 4 barrenos adicionales interseccionaron con antiguas obras mineras.(Figura 9)

Los aspectos destacados en materia de perforación en la veta San Miguel, justo al norte de la planta Bolañitos, incluyen 58 gramos por tonelada (g/t) de plata y 22.1 g/t de oro para 1,827 g/t de plata equivalente (AgEq calculada a una proporción de 80:1 Ag:Au) a lo largo de un ancho real de 3.5 metros (m) (53.3 oz por tonelada corta (o/T) de AgEq a lo largo de 11.5 pies (ft) en el barreno MG-10). La nueva mineralización de la veta de alta ley ha quedado ahora delineada sobre 250 metros de largo por 130 metros de profundidad por debajo y al noroeste de las antiguas obras mineras de San Miguel, aún abierta hacia el noroeste.

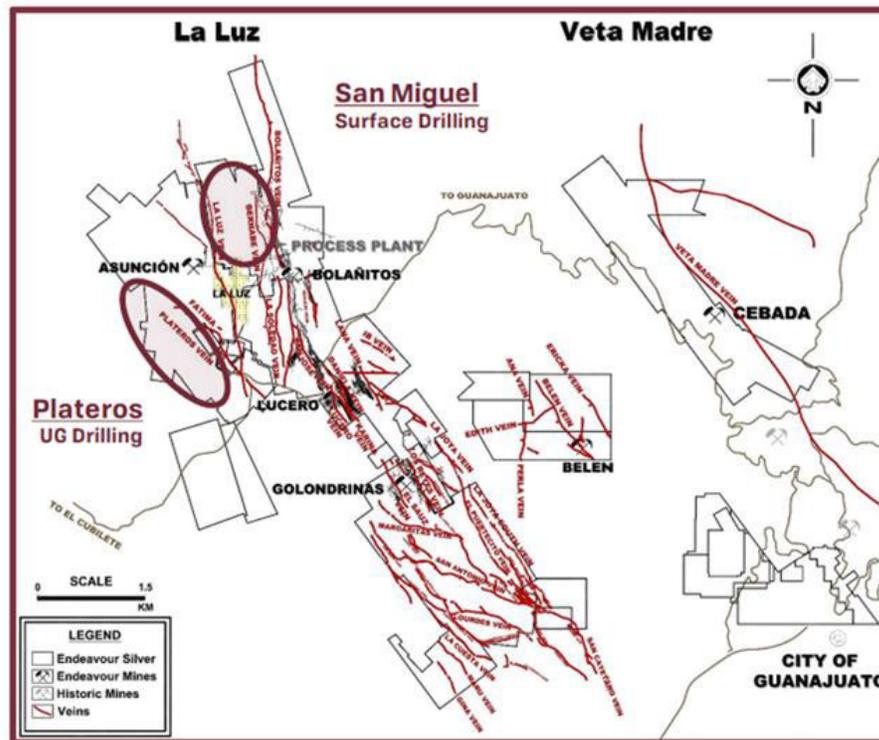


Figura 8.- Áreas de expansión y configuración para este 2019. (Endeavour Silver. 2019)

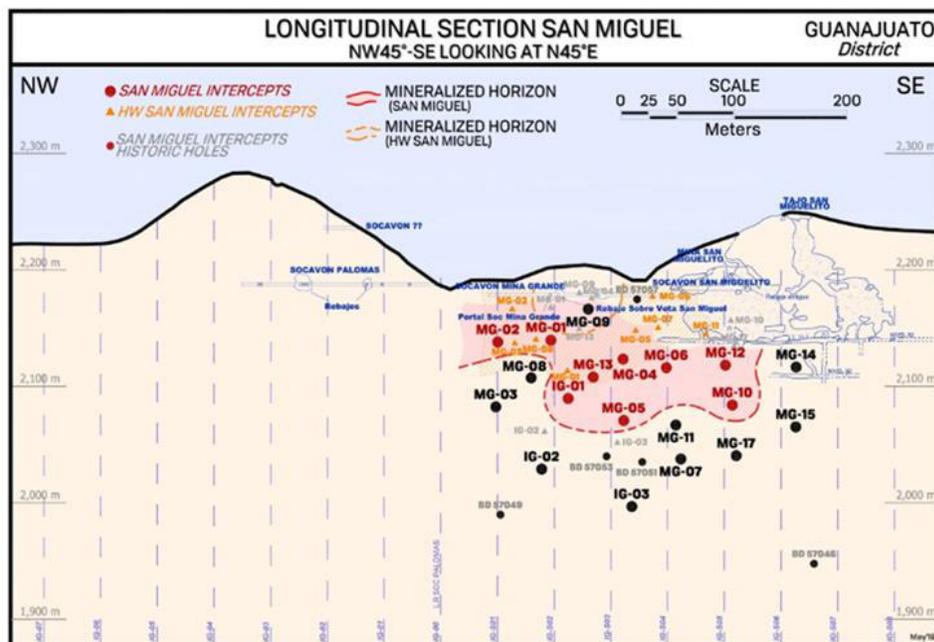


Figura 9.- Sección longitudinal Veta San Miguel. (Fuente: Endeavour Silver. 2019)

## **IV Propuesta de Explotación Veta San Miguel.**

### **IV.I Selección Sistema de Minado:**

La selección del método de minado depende de varios factores en este caso históricos de la minería en el Distrito, donde hemos encontrado huecos de hasta 20 metros de ancho y sistemas de extracción por contrafrentes y cruceros en la parte baja de los rebajes, lo cual nos indica que su método fue tumba sobre carga (Shrinkage Stopping), dejando pilares de costilla a cierta distancia del block, pero este método era muy lento en cuestión de producción ya que solo podrías sacar el excedente (30%) para tener la altura y seguir minando (figura 10) cosa que actualmente no es posible ya que la operación demanda sacar más volumen de mineral, aunque los anchos de esos bloques eran de 3 a 5 metros, lo cual abundaba la carga y el volumen extraído era considerable. Pero actualmente tenemos anchos no mayores a los 4 metros, con tendencia a reducirse, factor importante para determinar o seleccionar el método de minado selectivo, como lo es el corte y relleno (figura 11), a veces costoso por el relleno del rebaje, el uso de explosivo en la ampliación, etc. pero la recuperación de mineral es mejor y en buen volumen; para vetas de 0.50 metros con la ayuda de geología se calcula si es posible minar a 0.80 metros considerando la dilución y que siga siendo rentable; Una pregunta que nos podemos hacer es, porque a 0.80 metros?, y la respuesta es que por experiencia se ha calculado y sacado cortes con ese ancho mínimo, no menores ya que es muy probable que se quede pegado, es decir, que como el área de salida para la voladura es muy corta a comparación con la longitud

de barrenacion, la fuerza explosiva se encapsule y solo fragmente la roca, pero no se desprenderá por completo y no caerá el mineral; pero a 0.80 metros si es factible.

Un método de minado muy relevante que ha acelerado la producción dentro de la minería sobre vetas, es la combinación de métodos como el corte y relleno con barrenacion larga o tiros largos, donde al tener una veta ancha, que presenta uniformidad en su modelo, nos permite diseñar la barrenación hasta 20 metros de altura, y donde en un tumble puedes extraer más de 500 toneladas, con 2 rebajes puedes tener la producción del día, pero si debes acelerar los desarrollos para poder tener preparados los siguientes niveles y asegurar la producción.

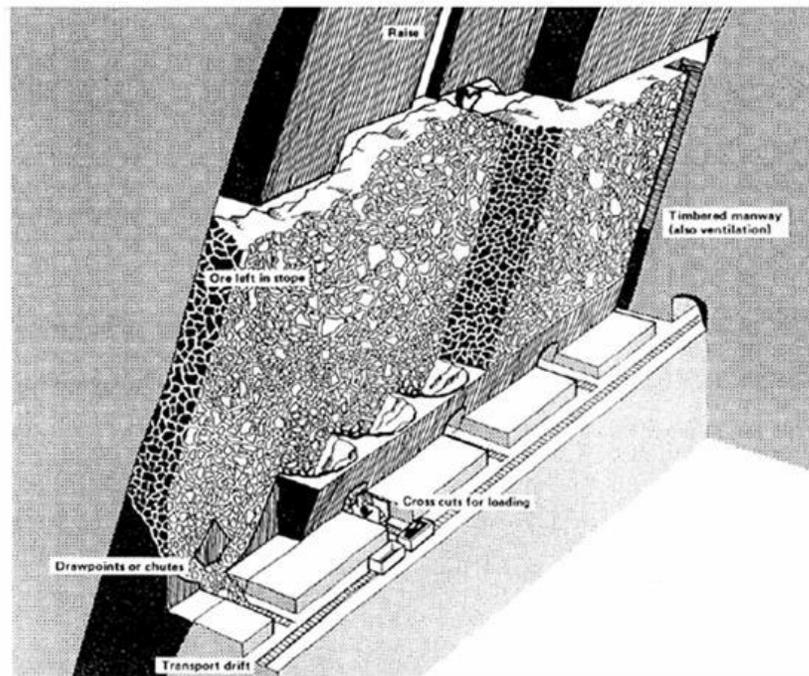


Figura 10.- Método Tumble sobre Carga. (Nicholas 1981)

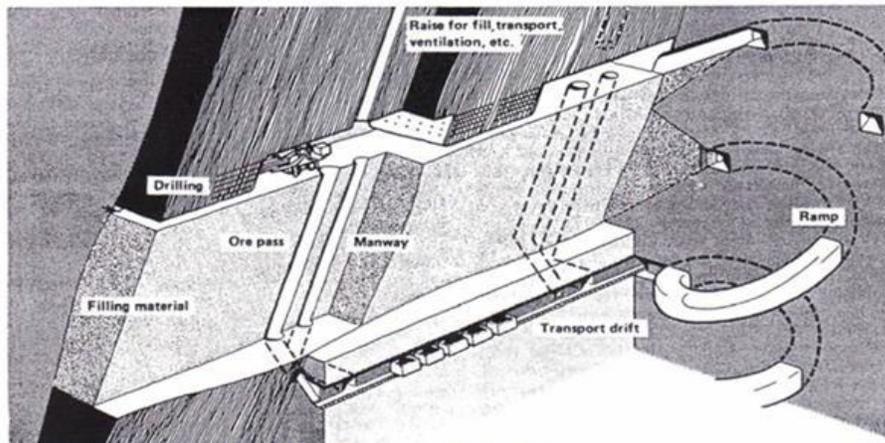


Figura 11.- Método Corte y Relleno. (Nicholas 1981)

Los métodos se distinguen según el tratamiento que hagan de la cavidad que deja la extracción de mineral. Sin embargo, en la práctica, la explotación requiere variar y combinar los métodos, dado que los depósitos raramente se ajustan exactamente a las características ideales de aplicación de alguno de los métodos.

- Métodos autoportantes o de cámaras abiertas: Corresponden a aquellos que consideran la extracción del mineral y dejar la cavidad que éste ocupaba vacía. Para ello, la cámara debe mantenerse estable en forma natural (ser autoportante) o requerir escasos elementos de refuerzo. Estas cámaras se dejan vacías una vez que concluye la explotación.

- o Room and Pillar (Cuartos y Pilares)
- o Shrinkage Stoping (Tumbe sobre Carga)
- o Sublevel Stoping (Minado por Subniveles)

- Métodos soportados o de cámaras que requieren elementos de soporte para mantenerse estables y/o que se rellenan con algún material exógeno.

- o Cut and Fill Stopping (Corte y Relleno)
- o Excavation Techniques (Técnicas de Excavación)
- o Backfilling Methods (Métodos de Relleno)

- Métodos de hundimiento, esto es, donde las cavidades generadas por el mineral extraído son rellenas con el material superpuesto (mineral, mientras dura la explotación, y estéril, una vez finalizada). El hundimiento y consecuente relleno de las cavidades se produce simultáneamente a la extracción del mineral.

- o Sublevel Caving (Hundimiento por Subniveles)
- o Block / Panel Caving (Hundimiento de Bloques)

### **Room and Pillar (Cuartos y Pilares)**

El método se conoce como Cuartos y Pilares, aunque casi siempre se utiliza su nombre en inglés. Mediante este método se explotaban 60% de las minas subterráneas.

Este método de explotación es el único aplicable en el caso de yacimientos tabulares horizontales o sub-horizontales, con inclinaciones de hasta 30°. Se trata, por lo general, de depósitos estratificados de origen sedimentario.

## Principio

Consiste en lo esencial en excavar lo más posible el cuerpo mineralizado dejando pilares de mineral que permiten sostener el techo de material estéril.

Las dimensiones de los cuartos y de los pilares depende de la mayor o menor competencia de la roca sobrepuesta (estabilidad del techo) y también de la roca mineralizada (estabilidad de los pilares), como asimismo del espesor del manto y de las presiones existentes. (Figura 12)

Por lo general los pilares se distribuyen en una disposición o arreglo lo más regular posible, y pueden tener una sección circular, cuadrada o rectangular semejando un muro. Los cuartos abiertos tienen forma rectangular o cuadrada.

Al término de la explotación de un área determinada es posible recuperar, al menos parcialmente, un cierto porcentaje de los pilares, dependiendo del valor del mineral que se está extrayendo. El control de leyes es primordial (más importante que diseño minero y ventilación).

Se puede trabajar a frente completa (*full face slicing*) o por tajadas (*multiple slicing*)

- Frente completa: hasta 8-10m de espesor
- Tajadas: más de 10 m de espesor

En la explotación por tajadas se saca primero la parte superior y luego se banquea y saca la parte inferior, lo que permite la explotación simultánea de ambas frentes.

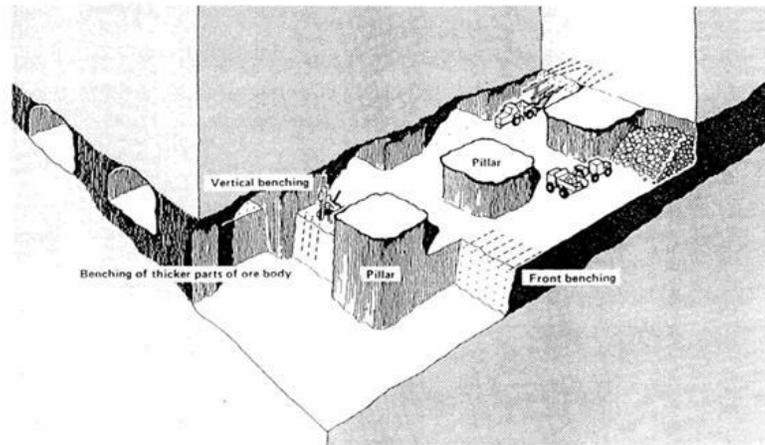


Figura 12.- Explotación por Cuartos y Pilares en un cuerpo mineral plano. (Nicholas 1981)

### **Shrinkage Stopping (Tumbe sobre Carga)**

El shrinkage stoping, también conocido como Tumbe sobre Carga, (figura 10), es un método de explotación vertical aplicable a vetas (estructuras verticales), principalmente para explotaciones menores. En su esencia, consiste en utilizar el mineral quebrado como piso de trabajo para seguir explotando de manera ascendente. Este mineral provee además soporte adicional de las paredes hasta que el bloque se completa y queda listo para el vaciado.

Los rebajes se explotan ascendentemente en tajadas horizontales, sacando solamente el ~35% que es el abundamiento y dejando hasta el momento del vaciado el resto (~65%). Es un método intensivo en mano de obra, difícil de mecanizar.

Se aplica generalmente a vetas angostas de 1.2 a 30 m o a cuerpos donde otros métodos son técnica o económicamente inviables. Para asegurar que el mineral fluya (que no se “cuelgue”), el mineral no debe tener muchas arcillas, ni debe oxidarse rápidamente, generando cementación. El cuerpo mineralizado debe ser continuo para evitar la dilución. El estéril debe extraerse como dilución o dejarse como pilares aleatorios (que no impidan el flujo).

### **Condiciones de aplicación**

Este método de explotación es aplicable en cuerpos tabulares verticales o subverticales angostos o de poco espesor (1 a 10 m), con bordes o límites regulares.

Su inclinación debe ser superior al ángulo de reposo del material quebrado, es decir, mayor a 55°. La roca mineralizada debe ser estable y competente. La roca encajonante (paredes) debe presentar también buenas condiciones de estabilidad.

### **Principios**

Consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del cuerpo mineralizado.

Una proporción del mineral quebrado, equivalente al aumento de volumen o abundamiento (30 a 40 %), es extraída continuamente por la base. El resto queda almacenado en el rebaje, de modo de servir como piso de trabajo para la operación de arranque

(perforación y tronadura) como asimismo de soporte de las paredes del rebaje.

Cuando el proceso de arranque alcanza el límite pre-establecido superior del rebaje, cesan las operaciones de perforación y tronadura, y se inicia el vaciado del rebaje extrayendo el mineral que ha permanecido almacenado (60 a 70%).

Los pilares y puentes de mineral que separan los rebajes por lo general son recuperados con posterioridad.

### **Sublevel Stopping.** (Minado por Subniveles)

Este método se aplica preferentemente en yacimientos de forma tabular verticales o subverticales de gran espesor, por lo general superior a 10 metros. Es deseable que los bordes o contactos del cuerpo mineralizado sean regulares. (Figura 13)

También es posible aplicarlo en yacimientos masivos o mantos de gran potencia, subdividiendo el macizo mineralizado en rebajes separados por pilares, que posteriormente se pueden recuperar.

Tanto la roca mineralizada como la roca circundante deben presentar buenas condiciones de estabilidad; es decir, deben ser suficientemente competentes o autosoportables.

## Principios

El sublevel stoping es un método en el cual se excava el mineral por tajadas verticales dejando el rebaje vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical. El mineral arrancado se recolecta en embudos o zanjas emplazadas en la base del rebaje, desde donde se extrae según diferentes modalidades.

La expresión “sublevel” hace referencia a las galerías o subniveles a partir de los cuales se realiza la operación de arranque del mineral.

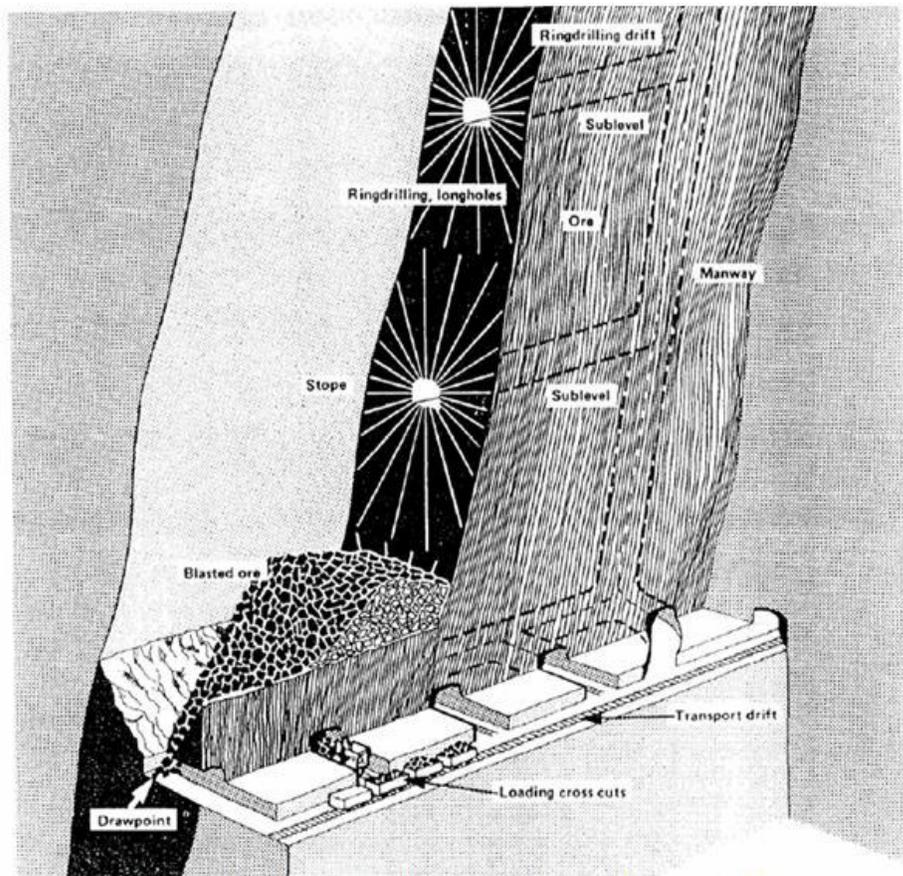


Figura 13.- Método Sublevel Stopping (Nicholas 1981)

## **Cut and Fill Stopping** (Corte y Relleno)

Aplicable a depósitos verticales (vetas) o depósitos de gran tamaño e irregulares. (Ver figura 11)

### **Condiciones de aplicación**

Se aplica por lo general en cuerpos de forma tabular verticales o subverticales, de espesor variable desde unos pocos metros hasta 15 o 20 metros. En algunos casos se prefiere a otras alternativas cuando la roca encajadora (paredes) presentan malas condiciones de estabilidad (incompetente). En cambio, la roca mineralizada debe ser estable y competente, especialmente si se trata de cuerpos de gran espesor.

El mineral extraído debe ser suficientemente valioso de modo que el beneficio obtenido por su recuperación compense los mayores costos del método.

### **Principios**

Consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del rebaje. Todo el mineral arrancado es extraído del rebaje. Cuando se ha excavado una tajada completa, el vacío dejado se rellena con material exógeno que permite sostener las paredes y sirve como piso de trabajo para el arranque y extracción de la tajada siguiente. El mineral se extrae a través de pozos artificiales emplazados en relleno, que se van construyendo a medida que la explotación progresa hacia arriba.

Como relleno, se utiliza el material estéril proveniente de los desarrollos subterráneos o de la superficie, también relaves o jales de las plantas de beneficio, e incluso, mezclas pobres de material triturado y cemento para darle mayor resistencia.

### **Sublevel Caving.** (Hundimiento por Subniveles)

El método SLC se aplica de preferencia en cuerpos de forma tabular, verticales o subverticales, de grandes dimensiones, tanto en espesor como en su extensión vertical. También es aplicable en yacimientos masivos. (Figura 14)

La roca mineralizada debe presentar condiciones de competencia solo suficientes para que las labores emplazadas en ella permanezcan estables con un mínimo de elementos de refuerzo. La roca circundante, o más específicamente la superpuesta, debe ser poco competente, de modo que se derrumbe con facilidad ocupando el vacío dejado por la extracción de la roca mineralizada. Es deseable que la roca mineralizada y el material estéril superpuesto sean fácilmente diferenciables y separables, en el sentido de minimizar su mezcla y por consiguiente la dilución del mineral.

### **Principios**

En general el concepto de método por hundimiento implica que el material estéril superpuesto se derrumba y rellena el vacío que va dejando la extracción del cuerpo mineralizado. Este proceso se debe propagar hasta la superficie, creando así una cavidad o cráter.

Consiste en dividir el cuerpo mineralizado en subniveles espaciados verticalmente entre 10 a 20 metros. En cada subnivel se desarrolla una red de galerías paralelas que cruzan transversalmente el cuerpo, a distancias del orden de 10 a 15 metros.

Las galerías de un determinado subnivel se ubican intermedias y equidistantes de las galerías de los subniveles inmediatamente vecinos. De este modo, toda la sección mineralizada queda cubierta por una malla de galerías dispuestas en una configuración romboidal. Las operaciones de arranque, carguío y transporte del mineral, se realizan a partir de estos subniveles en una secuencia descendente.

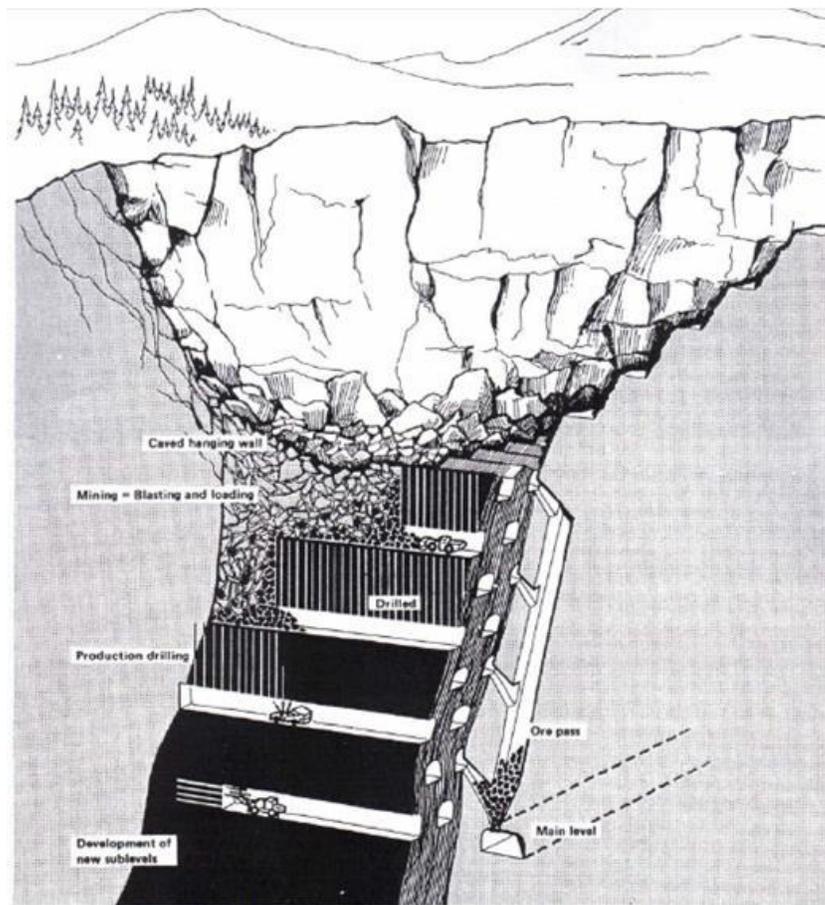


Figura 14.- Método Sublevel Caving. (Nicholas 1981)

## **Block Caving.** (Hundimiento de Bloques)

### **Condiciones de aplicación**

El método de block caving se aplica, casi sin excepción, en yacimientos masivos de grandes dimensiones, como son por ejemplo, los depósitos minerales diseminados conocidos con el nombre de cobres porfídicos. (Figura 15)

También es posible su aplicación en cuerpos de forma tabular de gran espesor. Sus mejores condiciones de aplicación se dan en rocas mineralizadas relativamente incompetentes, con un alto índice de fracturas, que se hundan con facilidad quebrándose en fragmentos de tamaño reducido. Sin embargo, la tecnología disponible hoy en día permite también su aplicación en macizos rocosos que presentan alta resistencia a fragmentarse.

Es muy deseable o casi imprescindible que los límites del depósito sean regulares y que la distribución de leyes sea uniforme. Este método no permite la explotación selectiva o marginal de cuerpos pequeños, como a la inversa, tampoco es posible separar sectores de baja ley incluidos dentro del macizo mineralizado.

### **Principios**

En lo esencial, este método consiste en inducir el hundimiento de una columna mineralizada, socavándola mediante la excavación de un corte basal, proceso que se realiza aplicando las técnicas convencionales de perforación y tronadura.

Los esfuerzos internos pre-existentes en el macizo rocoso (gravitacionales y tectónicos), más los inducidos por la modificación de sus condiciones de equilibrio debido al corte basal, generan una inestabilidad en la columna de roca o loza inmediatamente superior. Esta se desploma parcialmente rellenando el vacío creado y la situación de equilibrio tiende a reestablecerse. El mineral tumbado se extrae por la base a través de un sistema de embudos o zanjas recolectoras excavados previamente, generando así nuevas condiciones de inestabilidad. El fenómeno continúa y el desplome o hundimiento de la columna se propaga así sucesivamente hasta la superficie, proceso que en la terminología minera se denomina subsidencia.

El proceso termina cuando se ha extraído toda la columna mineralizada. El material estéril sobrepuesto descende también ocupando el vacío dejado y en la superficie se observa la aparición de un cráter.

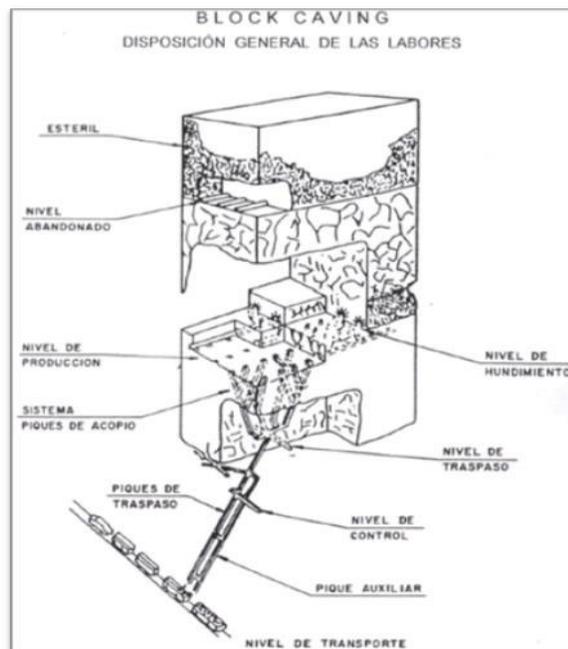


Figura 15.- Método Block Caving, Mina El Teniente.

## Barrenación larga o Tiros largos

El método de barrenación larga es aplicado a cuerpos mineralizados con orientación semivertical- vertical, es decir con un echado entre los 50 y 90 grados, y continuidad en sus anchos que pueden ser desde 2 hasta 30 metros. Otro punto a tomar en cuenta para la utilización de este método es que se emplea para obtener producciones elevadas en forma continua. (Figura 16)

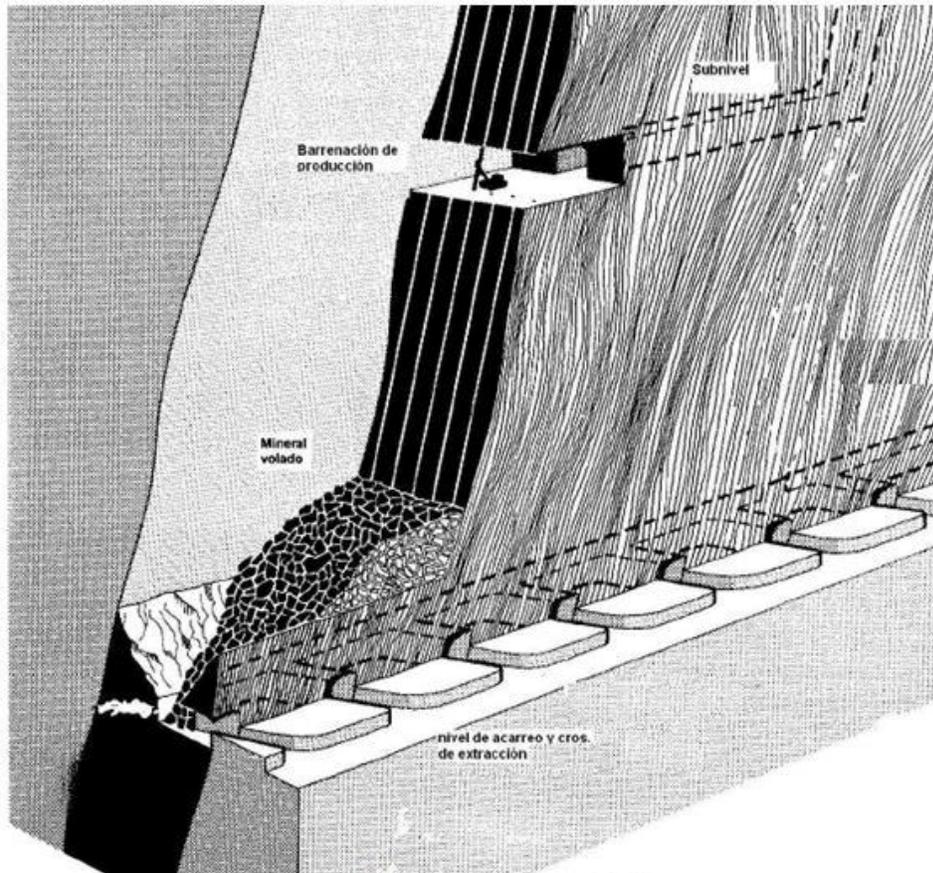


Figura 16.- Minado con Barrenación Larga

## Principios

Consiste principalmente en generar niveles sobre la estructura mineralizada y barrenar, ya sea ascendente o descendente según el orden de nuestro minado, pero esta barrenación será para tumbar bloques desde 10 hasta 20 metros, lo cual generará gran volumen con buena ley, y el mineral se podrá extraer al siguiente turno, (si se cuenta con buena ventilación), desde un nivel inferior en caso que sea descendente o desde el mismo nivel si fue ascendente. Dejando la cámara abierta, la cual se podrá rellenar desde un nivel superior con tepetate generado del mismo desarrollo.

Pero es importante seguir y respetar los siguientes factores básicos en la selección del sistema de barrenación larga:

**1. Echado de la estructura.** El echado de la estructura debe ser de 50° o mayor.

**2. Competencia de las tablas.** Se requiere que la estructura cuente con tablas competentes, de manera que sea mínima la presencia de caídos de material estéril proveniente de éstas durante el minado. Es decir, si las tablas son lo suficientemente firmes la dilución no será un problema.

**3. Información geotécnica.** Es necesario disponer de una amplia información geotécnica para calcular la estabilidad de las obras y definir las necesidades de soporte requerido. La información geotécnica nos permitirá caracterizar al macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un cierto valor.

Por medio de la información geotécnica se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente su calidad. La información geotécnica comprenderá la determinación del RMR, del Q, del Q' y del Número de Estabilidad Modificado.

En la tabla A) se indican los valores del Q (Rock Tunnelling Quality Index), que se recomienda deben satisfacer los macizos rocosos para seis sistemas de minado. Para el caso de barrenación larga se recomiendan los siguientes valores:

Tabla del alto,  $Q > 10$  (roca de buena calidad).

Cuerpo mineralizado,  $Q > 10$  (roca de buena calidad).

Tabla del bajo,  $Q > 10$  (roca de buena calidad).

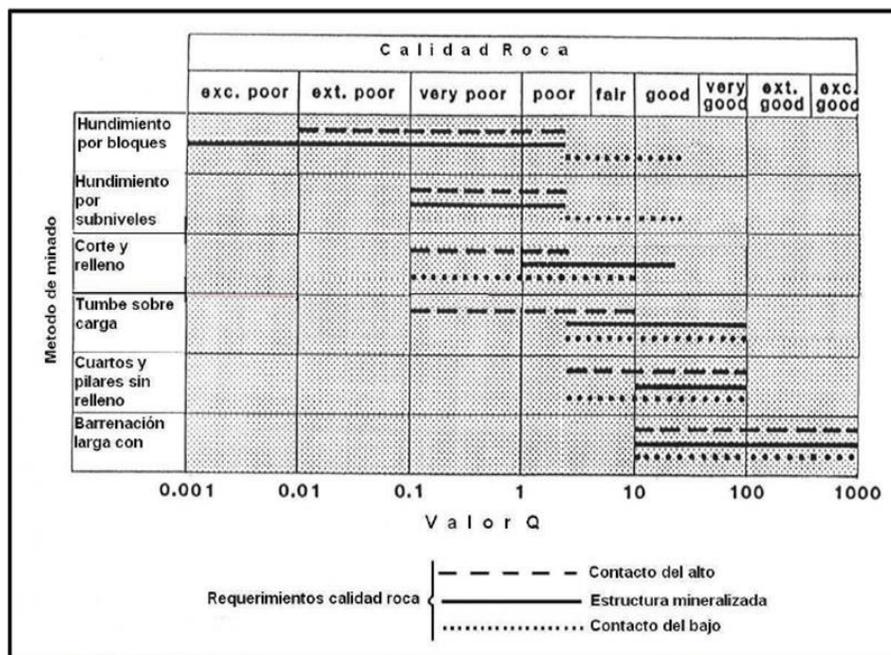


Tabla A).- Estimación de un método de minado en función del Q de la estructura mineralizada y de sus respaldos. Souza y Archibald, 1987.

**4. Distribución de la mineralización.** Es deseable que la mineralización del cuerpo presente una distribución homogénea a lo largo y ancho de la estructura. Este tema es de gran importancia, ya que el método no es selectivo y todo “caballo” de tepetate o zonas no económicas habrá necesidad de tumbarlas, lo que muy probablemente incrementará el porcentaje de dilución.

**5. Presencia de hilos o desprendimientos económicos paralelos a la estructura principal.** Si se presentan desprendimientos o ramaleos de mineral económico a lo largo o más allá de los contactos, no es posible minarlos ya que se complica la explotación y da lugar a excesos de dilución, además de crear zonas de inestabilidad potencialmente peligrosas.

**6. Soporte de tablas y techos.** Siempre es recomendable soportar el cielo y tablas de los subniveles debido a los elevados niveles de vibraciones generados por las voladuras, las cuales tienden a producir aflojamientos de roca. En el caso de las tablas, el reforzamiento se hace con anclaje largo a base de cables de acero, con lo que es posible detener un alto porcentaje de desprendimientos de material estéril, el cual es el principal causante de las diluciones que reducen el valor esperado del mineral.

**7. Voladuras controladas.** Es necesario el manejo de voladuras amortiguadas de post-corte a lo largo de las tablas para evitar lastimarlas y provocar problemas indeseables de inestabilidad.

**8. Corte de pilares auxiliares.** En ocasiones es necesario cortar pilares dentro de los rebajes de barrenación larga, con el objeto de controlar la estabilidad general del rebaje o por razones de estabilidad local (presencia de fallas).

## Ventajas y desventajas según los métodos

La tabla B) nos muestra las ventajas y desventajas que podemos tener en cada uno de los métodos, y es aquí donde debemos conocer bien nuestro tipo de yacimiento, la roca y todos los factores antes mencionados.

Metodo	Ventajas	Desventajas
Cut and Fill Stopping	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un método bastante versátil, en condiciones de roca incompetente o de características impredecibles.</li> <li>• Permite una buena recuperación y selectividad de las reservas.</li> <li>• Los sectores estériles pueden quedar como pilares, como asimismo es posible dejar en el mismo rebaje mineral tronado de baja ley.</li> <li>• La dilución es controlable utilizando sistemas de soporte adecuados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discontinuidad de las operaciones para permitir la colocación del relleno y los elementos de refuerzo.</li> <li>• El volumen de mineral arrancado en un ciclo de trabajo es relativamente pequeño.</li> <li>• Los requerimientos de mano de obra en actividades no productivas es alto, por lo tanto la productividad del método es baja.</li> <li>• Método de alto costo, requiere una buena justificación con la ley de mineral.</li> </ul>
Shrinkage stopping	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasas de producción pequeñas a medianas</li> <li>• Vaciado del rebaje por gravedad</li> <li>• Método simple, para minas pequeñas</li> <li>• Capital bajo, algo de mecanización posible</li> <li>• Soporte de mineral y paredes mínimo</li> <li>• Desarrollos moderados</li> <li>• Buena recuperación (75 a 100%)</li> <li>• Baja dilución (10 a 25%)</li> <li>• Selectividad posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad baja a moderada (3-10ton/hombre-turno)</li> <li>• Costos moderados a altos</li> <li>• Intensivo en mano de obra</li> <li>• Mecanización limitada</li> <li>• Condiciones de trabajo difíciles</li> <li>• Aprox 60% del mineral "preso" dentro del rebaje hasta el final</li> <li>• Colgaduras</li> <li>• Pérdida del rebaje en vaciado si no se hace con cuidado</li> </ul>
Sublevel Stopping	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy favorable para mecanización</li> <li>• Altamente eficiente o Hasta 110 ton / hombre turno</li> <li>• Tasa de producción moderada a alta (25.000 ton / mes)</li> <li>• Método seguro y fácil de ventilar</li> <li>• Recuperación sobre 90%</li> <li>• Dilución baja: &lt; 20%</li> <li>• Perforación puede adelantarse</li> <li>• En operaciones grandes, tronaduras semanales son frecuentes (turnos entrenados y eficientes)</li> <li>• Mineral está disponible de inmediato al iniciarse la tronadura de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensivo en capital (bastantes desarrollos antes de iniciar la producción)</li> <li>• No selectivo</li> <li>• Ineficiente a bajas inclinaciones</li> <li>• Tronadura secundaria puede generar gases que vuelven al rebaje</li> </ul>
Sublevel Caving	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El SLC es un método de alta capacidad productiva.</li> <li>• No requiere de excavaciones e instalaciones demasiado complejas.</li> <li>• Las operaciones se realizan en sectores o niveles distintos, con escasa interferencia.</li> <li>• Permite una intensiva utilización de equipos mecanizados de alta productividad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta dilución, a la que queda expuesto permanentemente el mineral arrancado durante el proceso de extracción.</li> <li>• La dilución, a su vez, afecta la recuperación de las reservas.</li> <li>• Requiere un gran volumen de desarrollos, que se ven reflejados en el costo operacional del proceso productivo.</li> </ul>
Block Caving	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En yacimientos masivos de baja ley, permite alcanzar la mayor capacidad productiva con el menor costo de explotación (4 a 5 US\$/ton).</li> <li>• Aplicación en macizos rocosos de las más diversas condiciones geomecánicas.</li> <li>• Permite una buena recuperación de las reservas dentro de los límites.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selectividad es prácticamente nula.</li> <li>• La dilución se puede manejar dentro de límites aceptables (&lt; 10%) , si excede este parametro, condena la carga</li> <li>• La preparación de un área requiere de un gran volumen de desarrollos previos.</li> <li>• Es un método de escasa flexibilidad, una vez iniciada la producción. Cualquier mala apreciación puede parar la operación.</li> </ul>
Barrenacion larga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto grado de mecanización.</li> <li>• Se requiere un mínimo de personal para su operación, incluso este se concentra en unas pocas áreas.</li> <li>• Una vez preparado un rebaje, es altamente productivo.</li> <li>• Bajos costos de minado.</li> <li>• Es un método muy seguro, ya que el personal trabaja bajo un cielo soportado.</li> <li>• Puede favorecerse la ventilación al generarse grandes huecos de minado.</li> <li>• Al desarrollar los subniveles se conoce a detalle la geometría del cuerpo, sus características estructurales y la distribución de la mineralización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una gran cantidad de información de geología económica y geotécnica en su diseño.</li> <li>• Índices de dilución en un rango de 20-25 %, hasta 30 %.</li> <li>• El minado se complica cuando se presentan "ramaleos" de mineral económico más allá de los contactos de la estructura principal.</li> <li>• No es un método selectivo.</li> <li>• A futuro es necesario rellenar los huecos producto del minado para evitar influir negativamente en la estabilidad general de la mina.</li> </ul>

Tabla B).- Ventajas y desventajas, según el método de minado.

Teóricamente varios autores han elaborado metodologías para seleccionar el método de minado, basados en algunos parámetros como:

- \* Las condiciones del terreno en piso, en el techo y en mineral.
- \* Las características físicas y geológicas del yacimiento.
- \* Minería y costos de capital.
- \* Ritmo de extracción de minería.
- \* Consideraciones ambientales.
- \* Disponibilidad y costo de mano de obra.

Con la información anterior y en base a las aplicaciones que se tienen actualmente en la empresa, nos ayuda a decidir fácilmente el método, ya que a pesar de ser una mina nueva, ya conocemos las características de yacimiento, ya que pertenece a la misma mineralización que se tiene en las minas adjuntas y que se han minado con la empresa; debido al sistema de vetas y al comportamiento que ha presentado históricamente a lo largo del distrito, no podemos utilizar ningún método de hundimiento, el tumble sobre carga es como ya lo vimos algo lento en cuestión de extracción, necesitaríamos tener varios rebajes, pero eso implica mucho desarrollo inicial y nada de producción, lo cual no es factible para la empresa, nuestra otra opción es el corte y relleno, ya que debemos ser selectivos para mantener la ley de corte, pero también se requiere alto tonelaje, por lo que en esta ocasión, según la exploración, nuestra veta tiene anchos de 1 a 3 metros, considerando los equipos que se tienen, y la experiencia en otros rebajes con las mismas características, nos permite seleccionar un método de minado por barrenación larga o tiros largos, generando

niveles horizontales sobre mineral cada 15 metros y considerando unos pilares de corona cada 2 rebajes o niveles, para controlar la estabilidad de nuestras cámaras abiertas.

Según la longitud del block, podemos considerar dejar pilares de costilla también cada 30 metros por lo menos.

Utilizaremos anclaje de cable para reforzar los contactos sobre todo al alto de la estructura. El minado es en retirada hacia el acceso, para no pasar por abiertos, teniendo un solo acceso al centro del block, con esto eliminamos los costos de explosivo en pivoteos, de acero en fortificaciones y en desarrollos al tener un solo acceso. (Ver figura 17)

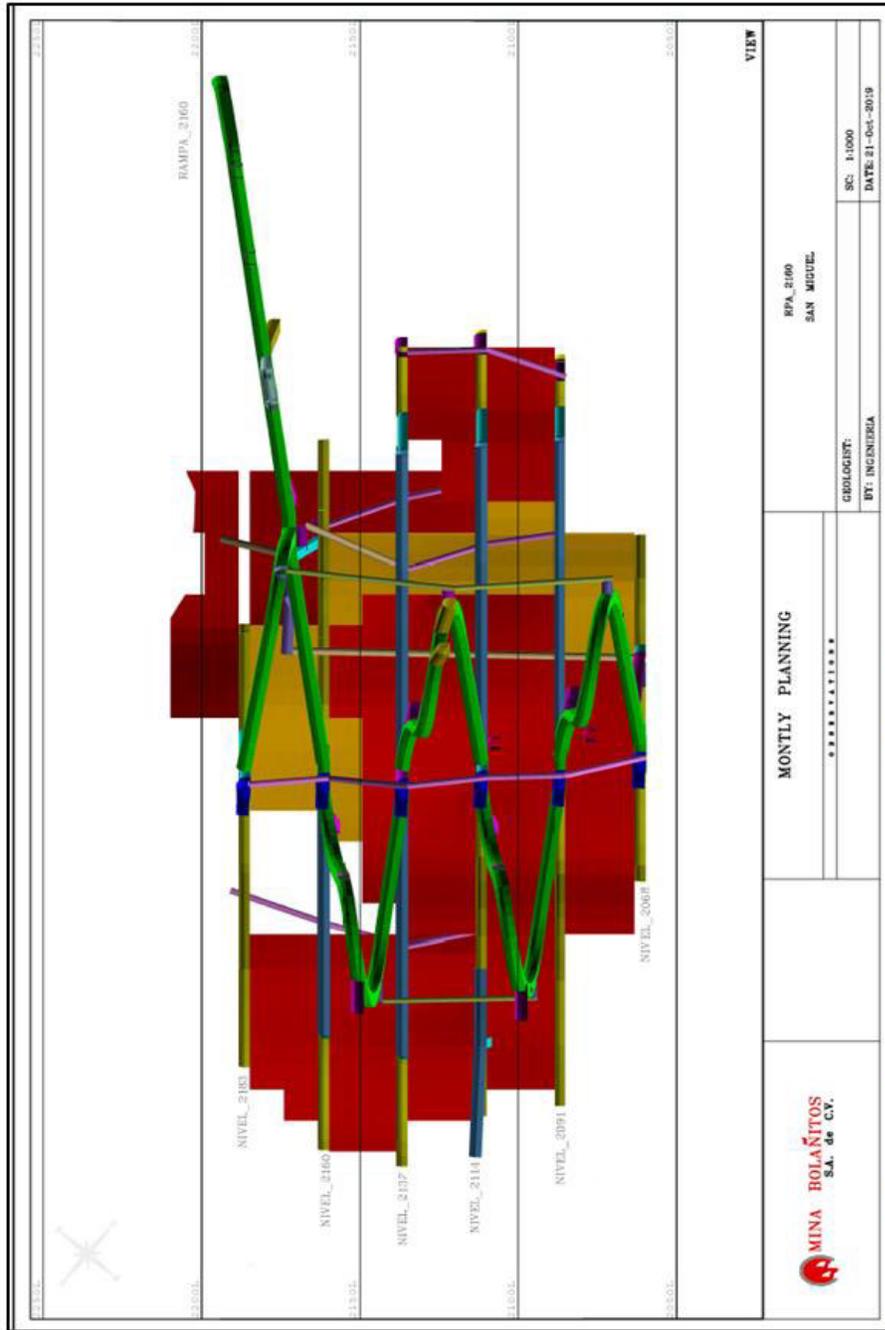


Figura 17.- Sección longitudinal del proyecto San Miguel (Fuente: Endeavour Silver. 2019)

## V.II Evaluación del Proyecto:

Para la evaluación del proyecto debemos tener bien definido los siguientes conceptos:

*El valor económico de nuestro block mineral;* este se generara gracias a la interpretación geológica de los barrenos de exploración y el modelado de la veta ya con sus valores económicos, y con ayuda del software podremos obtener datos generales de block completo. Y se calcula el valor del block en base al precio de los metales y algunas conversiones de divisas.

*El costo total de nuestros desarrollos necesarios,* tanto en mineral como en tepetate; este lo generamos en base al diseño después de la selección del método y teniendo el modelo geológico, para poder planear las obras mínimas necesarias.

*El costo por minado y tratamiento;* este se obtiene en base a un promedio calculado por el equipo de finanzas (ya sea semestral o trimestral), donde en según los costos generados al mes, que se cargan al área de mina, donde incluye mano de obra, explosivo, aceros, combustibles, etc., se comparan con el tonelaje de mineral total salido de mina, dándonos un valor en dólares por tonelada; de igual manera para el tratamiento o costo de planta, se comparan los costos totales del proceso con las toneladas de concentrado total generado en el mes.

Teniendo estos conceptos definidos se hacen los cálculos y diferencias de costos, donde se obtendrá una utilidad del proyecto, es decir, que nuestro block alcance a pagar todos los costos calculados y deje buen margen de ganancias. En el caso que no alcance a generar utilidad, se descarta el proyecto.

Una vez explicado lo anterior, se tiene un archivo de Excel donde debemos ingresar los datos del Block, tales como anchos, dimensiones (largo y alto) y leyes (Au y Ag); con estos datos la tabla nos composita el block, después debemos ingresar datos económicos como el precio del oro y la plata, para así tener el valor económico de nuestro block. (Figura 18)

Como ya se mencionó, después del modelado geológico, debemos hacer un diseño a groso modo de las obras necesarias para minar el block, previa selección del método, aquí podemos exagerar en los metros de obras (rampas, cruceros, escapes, contra pozos, desarrollo en mineral), para meterlos a la hoja de cálculo, donde ingresamos los costos por tipo de obra, según las cotizaciones que se tengan y se suma el total de costo por desarrollos y preparación.

Por último se solicita al área de finanzas nos proporcione los costos por tonelada de nuestras operaciones, tanto de mina como de planta, y se calcula en la tabla cual sería nuestro costo para minar y procesar ese mineral. De esta manera se resta al total del valor de block nuestros costos totales tanto de operaciones como de los desarrollos, dejando este una ganancia que en nuestro caso la gerencia a determinado que arriba del 11% ya es rentable.

**PROYECTO SAN CARLOS**  
RAMPA SAN MIGUEL

VETA  
SAN MIGUEL

Lugar	Toneladas	Ley (griton)			Recuperación		Precio (dólares)		Contenidos (Kg)	
		Au	Ag	Ag Eq	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
BLOCK_SM	175,818	3.02	31	257	87.00%	81.00%	\$1,270.00	\$17.00	530	5,486

Contenidos Recuperados (Kg)			Onzas		Valor	
Au	Ag		Au	Ag	Au	Ag
461	4,443		14,832	142,854	18,836,865	2,428,526

**VALOR DEL BLOCK**  
**\$21,265,391**

**Costo de la Obra Minera en Inversión**      **US \$**

Obra	Metros	Preciometro (US)	
Rampas	1,890	\$1,100.00	\$2,079,000.00
C/ pozos	558	\$400.00	\$3,595.48
Stock	270	\$800.00	\$216,000.00
Accesos	350	\$800.00	\$280,000.00
Crucero ventilacion	350	\$800.00	\$280,000.00
Frente Veta	1,328	\$800.00	\$1,062,400.00
		4,746	<b>\$3,320,995.5</b>

**Costo de la Explotación**

Lugar	Toneladas	Costo Unidad PROY LOM 2019	Costo por Explotación y Tratamiento
BLOCK_SM	175,818	53.41	<b>\$9,390,439</b>

Costos por tonelada	
Mina	Planta
35.83	17.58

**COSTO DE OBRA Y MINADO**  
**\$13,311,435**

60%

**UTILIDAD DEL PROYECTO**  
**\$7,953,956**

Figura 18.- Calculo económico del proyecto. (Fuente: Endeavour Silver. 2019)

### **V.III Necesidades de equipo.**

La selección de equipos mineros es uno de los factores de mayor importancia para el diseño y producción de minas, en el cual debemos tener bien definidos los parámetros de la operación que servirán para ejecutar los cálculos necesarios para fijar las flotillas requeridas.

Los parámetros necesarios son:

- Producción requerida.
- Distancias máximas de recorrido.
- Determinar los tiempos de ciclos.
- Calculo de la capacidad.

En nuestro caso no se adquirirán más equipos, ya que el proyecto de la nueva rampa está a un lado de las operaciones activas actualmente y se pretende llegar al objetivo de producción fijado por la gerencia en las condiciones actuales, es decir, sin considerar un capital de inversión, pero podemos justificar el equipo requerido.

.-Para nuestros primeros 150 metros de desarrollo, solo ocupamos un Jumbo, un camión y el scoop-tram, ciclando los 3 turnos de 8 horas:

-Uno para barrenacion y voladura.

-Otro para ventilar, regar y amacizar.

-El tercero para rezagado y acarreo de material estéril.

.-Los siguientes 200 metros, las actividades se duplican, ya que tendremos más cueles por atacar, que sería el seguimiento a la rampa y el desarrollo de acceso al bloque mineral, pero aún tenemos sobrado el equipo, es decir, mientras se está barrenando un cuele, se puede estar rezagando el otro, para el siguiente turno barrenarlo, el equipo se puede ocupar para limpieza o traspaleo de material, mientras se ventila un tope y así estar ciclando las actividades.

.-Después de estos 350 metros, será necesario considerar duplicar el equipo, ya que tendremos más cueles, que serían la continuidad de la rampa, acceso, cruceros stock, desarrollo en mineral, siempre trabajando una cuadrilla (jumbo, scoop y camión) a un nivel de distancia, para no interferir en las actividades.

No olvidemos que se consideraría mandar más camiones al momento del rezagado de mineral, para agilizar el acarreo y tener la producción requerida.

La gerencia ha decidido proporcionar los siguientes equipos para el cumplimiento de metrajes y producción en su momento:

- 2 Scoop tram de 3.5 yardas.
- 2 Jumbos DD311 de 16 pies.
- 1 Anclador bolter de 8 pies.
- 2 o más camiones de volteo de 7 m3.

Para cada uno de estos equipos se realizó un análisis- calculo de capacidades, para determinar cuántos ciclos completos se pueden cubrir con la flotilla y así poder justificar su utilización.

A continuación se presentan para cada equipo las tablas C, D, E, con los cálculos según sea el caso, en base a sección de obra, longitud de barrenación, capacidades de cucharones, etc.:

Tabla C).- Capacidad de barrenación para Jumbo de 16Ft.

<b>JUMBO 16 ft</b>		
<b>BARRENACION</b>		
Alto de la obra	4.00 mts	1.39 Factor de abundamiento 22 M3 AB. x M
Ancho de la obra	4.00 mts	
Área Sección Transversal	16.00 m2	
Longitud de Barrenación	4.39 mts	
Cantidad de barrenos dados por sección	45	
Cantidad de barrenos pegados	40	
Velocidad de penetración	4.00 Min/Barreno	
Eficiencia de disparo	90%	
Avance por disparo	3.95 ML	158 t
Tiempo por Barrenación	3.25 Hra / CICLO	87.78 M3 AB.
MI Barrenados	197.51 ML	
MI Barrenados / MI Avance	50.00	

Tabla D).- Capacidad de rezagado para Scoop Tram de 3.5 YD.

<b>REZAGADO SCOOP TRAM 3.5 YD</b>		
Volumen Material generado por CICLO	87.78 m3 AB	22.22 m3/ml
Capacidad de cucharon	2.68 m3	
No de cucharones a rezagar por disparo	37.67 No	
Tiempo de ciclo de rezagado	3.96 Min /Cucharon	150 m@15%
Tiempo de rezagado por disparo	149.12 Min	
Tiempo de rezagado por disparo	2.49 Hra	
Tiempo de rezagado x MI de avance	0.63 Hra	

Tabla E).- Capacidad de anclaje y trabajos auxiliares.

<b>ANCLAJE BOLTER SISTEMATICO</b>	
Anclas por Línea	5
Anclas por Avance	19.75
Metros Barrenados	48.16 mts (Anclas de 8 pies)
Velocidad de penetración	2.50 Min/Barreno
Tiempo de instalacion	3.00 Min/Ancla
Tiempo de Anclaje	108.63 min
<b>TIEMPO TOTAL TRABAJO DE ANCLAJE</b>	<b>1.81 hrs</b>

<b>TRABAJO AUXILIAR DE CICLO</b>	
Pueblo, supervisión, indicaciones	0.30 hrs
Traslado y salida de lugar de trabajo	0.30 hrs
Comida	0.30 hrs
Ventilación	2.00 hrs
Demoras	0.30 hrs
<b>TIEMPO TOTAL TRABAJO AUXILIAR DE CICLO</b>	<b>3.20 hrs</b>

Para el caso de los camiones se calculó la tabla F, donde la distancia es el factor importante para determinar su capacidad, así como el tonelaje a mover.

Tabla F).- Productividad Camion 7m3 convencional, basado en tonelaje y distancias.

LUGAR	SUBIENDO CARGADO					BAJANDO VACIO				
	Distancia R/P Nivel a Superficie (m)	Pendiente	Velocidad (Km/hr)	Tiempo (min)	Tiempo Descargando (min)	Distancia R/P Superficie al Nivel (m)	Pendiente	Velocidad (Km/hr)	Tiempo (min)	
Nivel Superficie 0 - 500 m	500	15%	10	3.00	1.5	500	15%	10	3.00	
Nivel Superficie 0 -1000 m	1000	15%	10	6.00	1.5	1000	15%	10	6.00	
Nivel Superficie 0 -1500 m	1500	15%	10	9.00	1.5	1500	15%	10	9.00	
Nivel Superficie 0 -2000 m	2000	15%	10	12.00	1.5	2000	15%	10	12.00	
Nivel Superficie 0 -2500 m	2500	15%	10	15.00	1.5	2500	15%	10	15.00	
Nivel Superficie 0 -3000 m	3000	15%	10	18.00	1.5	3000	15%	10	18.00	
Nivel Superficie 0 -3500 m	3500	15%	10	21.00	1.5	3500	15%	10	21.00	
Nivel Superficie 0 -4000 m	4000	15%	10	24.00	1.5	4000	15%	10	24.00	
Nivel Superficie 0 -4500 m	4500	15%	10	27.00	1.5	4500	15%	10	27.00	
Nivel Superficie 0 -5000 m	5000	15%	10	30.00	1.5	5000	15%	10	30.00	
Nivel Superficie 0 -5500 m	5500	15%	10	33.00	1.5	5500	15%	10	33.00	
Nivel Superficie 0 -6000 m	6000	15%	10	36.00	1.5	6000	15%	10	36.00	

PRODUCCION: TPD: 800 900 1000 1100 1200 1300 TPM: 24000 27000 30000 33000 36000 39000
POR REGLAMENTO DE SEGURIDAD SOLO SE PERMITE 10 KM / HORA COMO VELOCIDAD MAXIMA EN LAS UNIDADES

DISPONIBILIDAD: 85% HORAS POR DIA: 18 EFICIENCIA OPERADOR: 85% CAPACIDAD CAMION (t): 12.6 TONS. REMOVER POR DIA: 800 DIAS TRAB. POR MES: 30 FACTOR DE LLENADO: 80%
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

LUGAR	Tiempo Promedio de carga (min)	Distancia Total (m)	Tiempo Total (min)	PRODUCCION		No. de Camiones	No. de Camiones
				Ton/Hr	Ton/dia		
Nivel Superficie 0 - 500 m	2.25	1000	9.75	44.82	806.71	1.0	1
Nivel Superficie 0 -1000 m	2.25	2000	15.75	27.74	499.39	1.6	2
Nivel Superficie 0 -1500 m	2.25	3000	21.75	20.09	361.63	2.2	3
Nivel Superficie 0 -2000 m	2.25	4000	27.75	15.75	283.44	2.8	3
Nivel Superficie 0 -2500 m	2.25	5000	33.75	12.95	233.05	3.4	4
Nivel Superficie 0 -3000 m	2.25	6000	39.75	10.99	197.87	4.0	5
Nivel Superficie 0 -3500 m	2.25	7000	45.75	9.55	171.92	4.7	5
Nivel Superficie 0 -4000 m	2.25	8000	51.75	8.44	151.99	5.3	6
Nivel Superficie 0 -4500 m	2.25	9000	57.75	7.57	136.20	5.9	6
Nivel Superficie 0 -5000 m	2.25	10000	63.75	6.85	123.38	6.5	7
Nivel Superficie 0 -5500 m	2.25	11000	69.75	6.26	112.77	7.1	8
Nivel Superficie 0 -6000 m	2.25	12000	75.75	5.77	103.83	7.7	8

Como se observa, hay varios factores a considerar como es la velocidad, pendientes, disponibilidad, que ayudan a la selección de camiones.

## V.IV Infraestructura personal.

Para esta sección, es importante considerar la capacidad en cuanto a los operadores de cada equipo y su roll en los turnos, así como la capacitación de un suplente para cubrir en caso de ser necesario, para cada tipo de equipo. Y también considerar las necesidades de cuadrillas para colocación de servicios.

En la tabla G) se enlista el personal requerido por turno, según el avance en la preparación.

Tabla G) - Necesidades de personal, según avance en desarrollo.

Distancias de Desarrollo	Jumbero	Ayudante	Op. ST	Op. Cam	Servicios	Turnos	
150 metros	1	1			2	1°	Por día se ocupara: una cuadrilla de jumbo, un operador de camion y otro de scoop, así como 6 gentes de servicios.
					2	2°	
			1	1	2	3°	
350 metros	1	1	1	1	2	1°	Por día se ocupara: 3 cuadrillas de jumbo, 2 operadores de camion y 2 de scoop, así como 6 gentes de servicios.
	1	1	1	1	2	2°	
	1	1			2	3°	
> 500 metros	2	2	2	2	2	1°	Por día se ocupara: 6 cuadrillas de jumbo, 6 operadores de camion y 6 de scoop, así como 6 gentes de servicios.
	2	2	2	2	2	2°	
	2	2	2	2	2	3°	

Para la producción una vez avanzados los primeros 150 metros, se considera una cuadrilla por turno para la operación del equipo de barrenación larga, los cuales se encargaran de barrenar todo un bloque, cargar y disparar según el plan de producción.

Es importante recordar que la empresa ya cuenta con personal, solo se les reasignará el área de trabajo, ya que algunas obras se estarán terminando y así podemos acomodar al personal, en caso que se requiera se contratará al personal faltante, según las necesidades de operación.

## **V.V Otros Aspectos, Servicios, Ventilación.**

Al inicio de la preparación y con forme se va avanzando el desarrollo será necesario considerar los siguientes puntos:

- .- Requerimientos de energía eléctrica.
- .- Requerimientos de agua y aire comprimido.
- .- Patio para colocación de tepetate.
- .- Necesidades de ventilación.

**Requerimientos de energía eléctrica:** actualmente la infraestructura tiene la capacidad para alimentar el avance, solo se debe hacer tendido de línea eléctrica hasta el portal y desarrollar el cruce para colocar una subestación y así asegurar la demanda de energía.

**Requerimientos de agua y aire comprimido:** al igual que la energía, solo deben acercarse los servicios, recordemos que el agua se recircula bombeándola a superficie y metiéndola al proceso de planta, así que solo es cuestión de conectar una toma para acercarla al portal, en caso de ser necesario se instalará un tinaco de gran capacidad para ayudar a tener suficiente presión de agua.

Para el aire, se cuenta con 2 compresores en la unidad, normalmente uno está apagado, solo se debe acercar tuberías y hacer los cierres de control necesarios, para suministrar lo requerido. La instalación de estos servicios según el avance en el

desarrollo, es el trabajo precisamente del personal de servicios.

Durante el avance en la rampa, se harán contra pozos, por medio de los cuales se bajarán los servicios para así recortar las distancias y reducir gasto en tuberías.

**Patio para colocación de tepetate:** en este caso tenemos los terreros, para los bordos de la presa, a escasos 300 metros del portal, por lo que no será necesario ningún permiso adicional, solo considerar que el acarreo del tepetate se hará hasta esos patios y el mantenimiento de los caminos es fundamental para una mejor operación. El tepetate que se genere más a profundidad, no se extraerá a superficie, ya que tendremos algunos huecos generados por la explotación, donde podremos depositarlo y ayudará a la estabilidad de los rebajes abiertos.

**Necesidades de ventilación:** este punto es de suma importancia ya que necesitamos considerar la ventilación desde el diseño de nuestras obras y su continuidad a profundidad. El uso intensivo de equipos diésel exige disponer de una buena ventilación en los rebajes de producción. Considerando que tales obras son ciegas, se debe recurrir a sistemas auxiliares de ventilación.

La solución más socorrida consiste en inyectar el aire fresco por la rampa. El aire accede así al acceso del rebaje, o hasta un punto en la rampa, donde se instala un ventilador soplante inyector. A partir de esta instalación, el aire sigue su recorrido hacia el interior

del rebaje o tope de la rampa por el interior de una red de ductos de acero o material plástico, que rematan en los frentes de trabajo, asegurando así un ambiente adecuado para trabajar.

En nuestro caso se pretende hacer un contra pozo robbins el cual estará conectado a la rampa y rebajes, mediante cruceros. Los rebajes estarán conectados en los extremos por contrapozos convencionales y así forzamos a que el aire entre por la rampa hasta los rebajes, subiendo y saliendo por otro contrapozo del rebaje superior a superficie, donde se instalará otro ventilador extractor para forzar el circuito. Para ayudar al circuito se colocaran tapones en los rebajes minados y así el aire subirá por los contrapozos.

Como podemos observar es importante considerar todos los factores que pueden influir en la operación. Durante el desarrollo de la rampa también se está considerando cruceros stock y cargaderos frente los accesos de rebajes, a profundidad se deben hacer una pileta para captación y bombeo de agua, así como cruceros para instalar subestación y reducir consumo de energía.

## **VI. Observaciones y Conclusiones.**

Como hemos analizado en este trabajo, los métodos de explotación son muy variables, dependiendo principalmente del tipo de yacimiento, es decir, requerimos el modelo geológico del bloque minable, donde se puede apreciar el comportamiento de la estructura, y en base a este podremos planear las obras más eficientes. El método de explotación puede combinarse, siempre y cuando la infraestructura de la mina y la maquinaria te lo permitan.

Anteriormente se realizaban obras muy pequeñas, donde solo cabía una persona con su máquina de pierna y estaban cazados a equipos pequeños para mover el mineral, esto era muy lento, tal vez la calidad del mineral era la mejor, pero su recuperación muy lenta. Este fue un problema muy fuerte al querer recuperar rebajes antiguos, porque se tuvo que analizar y rediseñar obras para llegar a las obras antiguas, así como ampliaciones que retrasaban la producción. Actualmente la mayoría de las unidades mineras cuentan con la infraestructura de dimensiones suficientes para meter los equipos más grandes y asegurar la producción.

En esta ocasión la mina cuenta con la maquinaria e infraestructura suficiente para el rompimiento del nuevo portal, pero si fue importante considerar que tipo de equipo se metería y que las dimensiones de las obras fueran las óptimas para las operaciones a futuro. Claro que estas dimensiones generan costo, lo cual se consideró en la evaluación económica para que sea rentable.

En la actualidad la mayoría de las empresas mineras buscan incrementar su producción, lo cual lleva a una aceleración en las

actividades de preparación para estar a tiempo en los siguientes bloques minables, por ello la importancia de seleccionar el método más eficiente para explotar el bloque mineral, y de cierta manera sistematizar las operaciones, para asegurar la producción, algo que si debemos tener en cuenta es que la exploración debe ir mucho más adelante de la operación, para poder generar nuevos bloques económicos e ir avanzando con las preparaciones, recordemos que en base a nuestras reservas vamos generando la vida de la mina, pero si no se tienen a tiempo, solo estamos calculando la vida anual y no podremos tener un panorama a largo plazo.

Por último y no menos importante es el tema de la estabilidad en los rebajes, la importancia de la geología estructural, que junto con el tipo de yacimiento nos ayudará a elegir el método más factible, si un rebaje no es estable en sus paredes o techos y presenta muchas fracturas, por más soporte que le queramos poner, y si el tiempo de exposición al intemperismo del mismo es mayor, no resistirá y colapsará, contaminando el mineral, dañando equipos y en el peor de los casos llevándonos a un fatal. Siempre se debe considerar un estudio de geomecánica en las unidades en general, pero sobre todo para el diseño de alguna obra nueva, las condiciones cambian según las elevaciones y no son las mismas en toda la mina.

## VII. Bibliografía:

- Hard Rock Consulting, LLC (2018) **Report: Updated Mineral Resource and Reserve Estimates for the Bolañitos Project, Guanajuato, Mexico**. National Instrument 43-101 Technical  
Preparado para Endeavour Silver Corp. 27 de Marzo, 2018.

- Servicio Geológico Mexicano (2018) **Panorama Minero del Estado de Guanajuato**, México. Diciembre 2018

- López A. V. (1994) **Manual para la Selección de Métodos de Explotación de Minas**, Universidad Nacional Autónoma de México, Mayo 1994.

- Orozco F. 1 y González E. 2 **La Historia de la Minería Mexicana: El Caso del Distrito Minero de Guanajuato, Gto., México**. 1Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Depto., de Geología. 2Centro de Geociencias, Campus UNAM, Juriquilla, A. P. 1-742 Querétaro, Qro.

### Infografía:

[https://s22.q4cdn.com/579360173/files/tech\\_reports/en/2018/Bolanitos\\_Amendado\\_Mar2017\\_TechReport\\_Final.pdf](https://s22.q4cdn.com/579360173/files/tech_reports/en/2018/Bolanitos_Amendado_Mar2017_TechReport_Final.pdf)

<http://capacitacion-geomecanica-geotecnia.blogspot.com/2016/03/seleccion-del-metodo-de-minado-segun.html>

<https://centrogeotecnico.com/blog-geotecnia-geomecanica/seleccion-del-metodo-de-minado-segun-nicholas.html>