



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

**“Proyección de las vetas “María” y “Paola” en la zona norte
de explotación de la Empresa Minerandina Cía. Ltda.”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Nombre del Autor:

PABLO ANDRES MOROCHO BASTIDAS

Nombre del Director:

ERNESTO PATRICIO FEJJO CALLE

CUENCA, ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico primeramente a Dios que me brindo los conocimientos necesarios y me supo guiar en cada paso para seguir adelante.

A los principales soportes de mi vida, mi madre Flor Bastidas, mi padre Rodrigo Morocho y mi hermana Evelyn, quienes han sido mi constante aliento en cada una de mis metas propuestas. A mi familia, que me han dado la oportunidad de formarme académicamente brindándome su amor, paciencia y apoyo incondicional en todo este transcurso de tiempo hasta la culminación del presente proyecto.

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradecido con Dios por permitirme cumplir un objetivo más en mi vida y por brindarme la fortaleza necesaria para conseguirlo.

Gracias a la Universidad del Azuay y a los docentes que me brindaron sus conocimientos, en especial al Ing. Patricio Feijoo, director de tesis, que supo cultivarme el conocimiento profesional a lo largo de mis años universitarios y la acertada guía en la preparación de este proyecto de tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Datos de la Empresa.....	3
1.3 Ubicación e Infraestructura de Minerandina	4
1.4 Geología	5
1.4.1 Geología regional	6
1.4.2 Geología local	6
1.4.3 Geología estructural	7
1.5 Levantamiento topográfico subterráneo	7

1.5.1 Levantamiento de superficie previo	7
1.5.2 Levantamiento de la red básica.....	8
1.5.2.1 Método de Poligonación	8
1.5.3 Estaciones	9
1.5.4 Medida de longitud de los ejes	10
1.5.4.1 Medición horizontal utilizando cinta de acero	10
1.5.5 Levantamiento de la red de apoyo complementaria y de detalles	11
1.5.5.1 Empleo de la brújula	11
1.5.5.2 Uso de los instrumentos suspendidos	12
1.5.5.3 Brújula de suspensión	12
1.5.5.4 Eclímetro suspendido	13
1.5.5.5 Levantamiento con la brújula suspendida y el eclímetro	13
1.5.6 Libreta de campo y cálculo.....	14
1.6 Caracterización de vetas	16
1.6.1 Orientación.....	16
1.6.1.1 Buzamiento, dirección y posición	16
1.6.2 Relleno de vetas	18
1.7 Métodos de explotación subterránea	19
1.7.1 Explotación con sostenimiento natural	19
1.7.1.1 Cámaras y Pilares	19
1.7.1.1.1 Cámaras con pilares ocasionales	21
1.7.1.1.2 Cámaras con pilares sistemáticos.....	21

1.7.1.2 Cámaras vacías	22
1.7.2 Explotaciones con sostenimiento artificial	22
1.7.2.1 Cámaras de almacenes	23
1.7.2.2 Cámaras con rebanadas ascendentes rellenas	24
1.7.2.3 Cámaras con rebanadas unidescendentes rellenos	26
CAPÍTULO 2: DESARROLLO Y RECOLECCION	
DE INFORMACION	28
2.1 Elección del levantamiento topográfico subterráneo	29
2.1.1 Levantamiento de una poligonal abierta con brújula	31
2.1.2 Determinación de ángulo vertical, azimut y distancia inclinada	34
2.1.3 Calculo de distancia horizontal	34
2.2 Análisis de vetas	34
2.2.1 Buzamiento y dirección	36
2.2.2 Relleno de vetas	38

CAPÍTULO 3: ANALISIS DE LA INFORMACION Y PROYECCION DE ESTRUCTURAS	40
3.1 Modelamiento digital de las vetas y zona norte de explotación	40
3.2 Método de explotación	49
3.3 Análisis de resultados	52
3.3.1 Modelo tridimensional de las vetas	52
3.3.2 Modelo tridimensional del método de explotación	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFIA.....	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de acceso a Minerandina Cía. Ltda	4
Figura 1.2 Infraestructura del campamento Minerandina	5
Figura 1.3 Método de Poligonación no orientada abierta	9
Figura 1.4 Método de resaltes horizontales	11
Figura 1.5 Brújula de minero y de geólogo con nivel esférico	12
Figura 1.6 Brújula de suspensión	13
Figura 1.7 Eclinometro suspendido	14
Figura 1.8 Levantamiento subterráneo con brújula, muletilla y atado de cuerda	15
Figura 1.9 Libreta de campo para observaciones y croquis auxiliares	16
Figura 1.10 Plano levantado mediante método de cinta y brújula	17
Figura 1.11 Rumbo (s-t) y dirección de inclinación (f-a) de estratos	19
Figura 1.12 Tipos de rellenos de vetas	20
Figura 1.13 Preparación de explotación mediante cámaras y pilares	22
Figura 1.14 Trazado del bloque para explotación por almacenamiento	26
Figura 1.15 Cámaras con rebanadas ascendentes rellenas	28
Figura 1.16 Método de arranque en rebanadas horizontales	30
Figura 2.1 Brújula tipo Brunton usada para levantamiento subterráneo	33
Figura 2.2 Itinerario de brújula con la colocación de las estaciones correspondientes en cada tramo recorrido	34
Figura 2.3 Guía de estación a estación para determinar el azimut	34
Figura 2.4 Eclinometro en suspensión para la medición del ángulo vertical de cada estación	35
Figura 2.5 Medición del azimut o dirección de cada estación marcada	36

Figura 2.6 Medición de la distancia horizontal con cinta de acero	37
Figura 2.7 Determinación del rumbo de la veta Paola en el sector Santa Ana	39
Figura 2.8 Determinación del buzamiento de la veta Paola en el sector Santa Ana.....	39
Figura 2.9 Mineralogía veta María	40
Figura 2.10 Mineralogía veta Paola	40
Figura 3.1 Vista en planta de Minerandina Cía. Ltda.	43
Figura 3.2 Ubicación de las vetas María y Paola en el sector norte y Santa Ana	44
Figura 3.3 Vista en planta y lateral del levantamiento subterráneo	45
Figura 3.4 Vista frontal y tridimensional del levantamiento subterráneo	46
Figura 3.5 Modelamiento digital de vetas	47
Figura 3.6 Modelo 3D de galerías y vetas	48
Figura 3.7 Modelo 3D de corte y relleno ascendente	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas U.T.M de Minerandina Cia Ltda.....	3
Tabla 1.2 Datos generales de Minerandina Cia Ltda	3
Tabla 3.1 Tabulación de datos obtenidos en el levantamiento topográfico subterráneo.....	41
Tabla 3.2 Calculo de coordenadas para la graficación en AutoCAD.....	42
Tabla 3.3 Rumbo y buzamiento de las vetas	47

**PROYECCIÓN DE LAS VETAS “MARÍA” Y “PAOLA” EN LA ZONA
NORTE DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA MINERANDINA CÍA.
LTDA.**

RESUMEN

En el presente trabajo se proyectarán las vetas María y Paola ubicadas en la zona norte de explotación de la Empresa Minerandina Cia Ltda., en base a su rumbo y buzamiento para así orientar el avance de explotación hacia los sectores de potencial interés y proponer un método de explotación que optimice sus procesos de extracción.

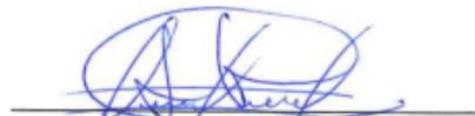
Palabras Clave: Levantamiento topográfico subterráneo, proyección de vetas, brújula, cinta de acero, software Recmin, AutoCAD, distancia horizontal.



Ernesto Patricio Feijoo Calle
Director de Trabajo de Titulación



Leonardo Anibal Núñez Rodas
Coordinador de Escuela



Pablo Andrés Morocho Bastidas

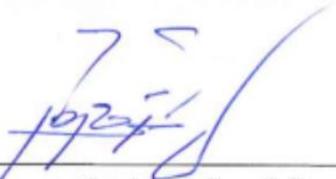
Autor

**PROJECTION OF THE "MARÍA" AND "PAOLA" SEAMS IN THE
NORTHERN EXPLOITATION ZONE OF THE COMPANY MINERANDINA
CÍA. LTDA.**

ABSTRACT

In this research, the "María" and "Paola" seam mining, located in the northern exploitation zone of the Minerandina Cia Ltda, were projected based on their course and dip to guide the exploitation progress to the sectors of potential interest. In addition, this research proposes a method of exploitation to optimize the extraction processes.

Keywords: Underground topographic survey, seams projection, compass, steel tape, Recmin software, AutoCAD, horizontal distance.



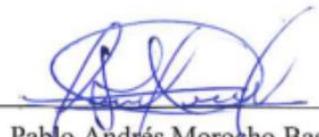
Ernesto Patricio Feijoo Calle

Thesis Director



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator



Pablo Andrés Morocho Bastidas

Author

Pablo Andrés Morocho Bastidas

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Abril,2019

**PROYECCIÓN DE LAS VETAS “MARÍA” Y “PAOLA” EN LA ZONA
NORTE DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA MINERANDINA CÍA.
LTDA.**

INTRODUCCION

La proyección de vetas en una zona de explotación tiene como base la orientación y direccionamiento para el avance de explotación, siendo esto de gran importancia, ya que servirá de guía para que la extracción se lleve a cabo sobre las zonas de potencial interés y así poder sugerir un método de explotación mediante el cual se pueda obtener el máximo aprovechamiento del mineral. En el caso de la Empresa Minerandina Cía. Ltda., el avance de la explotación en la zona norte se encuentra inconcluso, ya que las labores mineras de perforación se están realizando en una dirección errada debido a que no cuenta con una proyección acertada de las vetas de interés, representando pérdidas para la empresa al no optimizar los procesos de extracción.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En la Empresa Minerandina Cía. Ltda., la zona norte se encuentra paralizada debido a que las labores de perforación se están realizando en dirección errada a las vetas de interés, impidiendo que el avance de explotación establecido se realice de forma correcta en interior mina, ni se establezca un método de explotación adecuado para la extracción óptima del material.

La posible causa que genera que las labores mineras no se realicen, es que las vetas de interés María y Paola ubicadas en la zona norte y Santa Ana no cuentan con la proyección correcta, es decir, la dirección y buzamiento no están determinados. De esta manera sin la información suficiente de estas vetas no se realizará el avance en la zona norte hasta obtener los respectivos datos que respalden la intercepción de las divisiones de interés.

Todo esto nos lleva al problema ya mencionado, el mismo que podría generar pérdidas para la empresa. Es por eso que surge la necesidad de corregir el avance en la zona norte; para ello es importante conocer la caracterización geológica de las vetas, así como también su dirección y buzamiento.

1.2 Datos de Empresa

La Empresa Minerandina Cia. Ltda. opera dentro de la concesión minera "Mollopongo" código 23, misma que pertenece a la Zona Minera Aurífera "veinticuatro de enero S.A." Las coordenadas U.T.M del punto de partida y los demás vértices referenciados al DATUM PSAD-56 y a la zona geográfica N 17s, así como las distancias de los lados del polígono que lo delimitan son:

Tabla 1.1 Coordenadas U.T.M de Minerandina Cía. Ltda.

PUNTOS	X	Y	DISTANCIA (m)
0	644007.0079	9660759.945	500
1	644008.790	9660261.564	1237
2	645208.880	9660260.105	500
3	645207.1034	9660758.488	1237

Fuente: Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM)

La Empresa Minerandina Cía. Ltda., posee una superficie de operación de aproximadamente 60 hectáreas.

Tabla 1.2 Datos Generales de Minerandina Cia Ltda.

Nombre de labor minera	Minerandina Cia Ltda.
Representante legal	Alfonso Mario Coronel Quezada
Concesión	2 contratos
Código	23
Administrador	Teobaldo Angamarca
Fase minera	Explotación
Método de explotación	Subterráneo
Aspecto legal	Posee
Autorización de compra de explosivos por la ARCOM	Posee
Autorización de compra de explosivos por la FF-AA	Posee

Fuente: Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM)

La infraestructura de Minerandina consta de un campamento con 20 dormitorios, área recreacional con cancha de voleibol, comedor, dos polvorines, una bodega y el área de compresores.

La boca mina está ubicada al lado oeste del campamento y no disponen de planta de beneficio por lo que el material extraído es transportado hacia Portovelo.



Figura 1.2 Infraestructura del campamento Minerandina Cia Ltda

Fuente: Elaboración propia, 2018

1.4 Geología

Entre los años 1978 y 1979, se elaboró el levantamiento geológico de Machala a escala 1:100.000, el cual estuvo a cargo de la Dirección General de Geología y Minas (D.G.G.M), en donde se representa las características petrográficas de las formaciones presentes en la zona y datos estructurales.

Posteriormente se realizó un estudio entre el periodo 1997-2000, por el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA). Del mapeo geológico a escala 1:200.000, de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3° - 4°, la geología descrita a continuación se basa en estos estudios, los cuales fueron elaborados por el

Servicio Geológico Británico (BGS), la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgico (CODIGEM) y consultores nacionales.

1.4.1 Geología regional

El cantón Camilo de Ponce Enríquez está localizado dentro del Subdistrito Machala – Naranjal, parte occidental del Distrito Azuay, presenta depósitos de cobre, oro, molibdeno tanto en pórfidos como en vetas, florecientes dentro de rocas de caja volcánicas. Es una zona donde material como sedimentos, arcos volcánicos y elementos ígneos se añadieron a una placa tectónica, siendo propicia para la búsqueda de yacimientos metálicos de origen volcánico, depósitos filoneanos de alta temperatura o sulfuros masivos estratiformes (Vega, 2013).

En los alrededores existe un conjunto de rocas predominantes como volcánicas, andesitas y basaltos, diabasas, brechas, todas estas rocas pertenecientes a la Unidad Pallatanga (Basaltos Bella Rica). En los frentes de trabajo existe la exposición típica de basaltos verdes, dolerita, y hialoclastitas con stockworks irregulares de epidota, cuarzo y clorita que no superan los 20 mm de espesor en sus vetillas; y zonas de alteración de epidota que son comunes alcanzando espesores de 50mm, cabe recalcar que las rocas tienen una aparente susceptibilidad magnética (Vega,2013).

1.4.2 Geología local

Desde hace varias décadas Bella Rica y San Gerardo, son uno de los yacimientos minerales más importantes del país. La mineralización es de tipo vetiforme con sulfuros complejos de Cu, Pb,Zn,As y con oro libre (Vega,2013).

Dentro de Minerandina, la mineralización y alteración hidrotermal aparece con una secuencia basáltica, perteneciente a los basaltos de Bella Rica y de la Unidad Pallatanga con más de 1 km de espesor intruido por varios cuerpos de cuarzo-diorita a micro-tonalita porfídica. Esta unidad esta encajada por rocas cretácicas que contienen basaltos de fondo marino acrecionados contra el continente suramericano durante el Eoceno.

En esta zona domina una gruesa secuencia de basaltos masivos y en almohadillas, con hialoclastitas, intercalaciones de cherts e intrusiones gabroicas y ultra básica. Intrusiones fino granulares con textura variolítica son comunes y la similitud petrográfica con las lavas apuntan que las intrusiones son contemporáneas (Pratt et al., 1997).

1.4.3 Geología estructural

El área basaltos de Bella Rica está delimitada por una serie de grandes fallas de rumbo NNW: la Falla Río Margarita al S, la Falla Río Tenguel al N y una tercera Falla principal con relleno de serpentina es el rio Chico, que se observa en el área entre San Gerardo y Tenguelillo.

La falla rio Chico en el campo minero San Gerardo esta rellena de serpentinita y es interpretada como un cabalgamiento inicial vergente al NE que localizó posteriores movimientos subverticales senestrales en dirección y extensión (Vega,2013).

Lo sistemas de vetas mineralizadas tienen un rumbo NNW y buzamiento hacia el E (28° - 82°) con una extensión aproximada de 4km de largo y alcanza una anchura de 1.5 km. La mayoría de las vetas tienen una dirección N-S y son verticales o sub-verticales, pero pueden variar hasta WNW-ESE con inclinaciones bajas a moderadas (Vega,2013).

Existe también una posible asociación con una estructura de unos 5 km de diámetro que constituye el rasgo morfológico del área Bella Rica, representando así la parte profunda de una estructura de colapso volcánico (Vega,2013).

1.5 Levantamiento topográfico subterráneo

1.5.1 Levantamiento de superficie previo

En la explotación subterránea es necesario disponer de un plano de superficie detallado, por lo tanto, debe ser objeto de un levantamiento topográfico siguiendo los métodos clásicos o por fotogrametría aérea.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un método de navegación que se basa en una constelación de 24 satélites distribuidos en seis planos orbitales de cuatro satélites cada uno con una inclinación de 55° , que giran a una altura aproximada de 20.200 Km. Estos satélites utilizan una tecnología de medición tan precisa como para definir la posición de un punto en las tres dimensiones (X, Y, Z), bajo cualquier condición atmosférica, con gran precisión.

Luego, para el levantamiento de los vértices de la red de apoyo principal situaremos la estación de referencia en un vértice de la red geodésica nacional y, desplazándonos con los receptores móviles a cada uno de los de los vértices de la red a levantar, obtendremos su posición (X e Y), así como su altitud.

El receptor efectúa las mediciones en tiempo real, dispone de registro de datos y permite volcar los datos al ordenador, para realizar de esta forma y de un modo automático el cálculo de los valores X, Y, Z y el plano con la situación de todos los vértices levantados.

1.5.2 Levantamiento de la red básica

Generalmente los trabajos subterráneos son estrechos, irregulares y de gran longitud, por lo que no es posible utilizar el método de triangulación para generar la red de apoyo, pero si obligatoriamente deberemos emplear el método de poligonación. Esta red se apoyará el levantamiento de la red complementaria y de detalles.

1.5.2.1 Método de poligonación

Un itinerario o poligonal es una sucesión encadenada de radiaciones, donde se debe obtener como resultado final las coordenadas (X, Y, Z) de los puntos de estación. Se parte de un punto de coordenadas conocidas y se llega a otro también de coordenadas conocidas. Desde el punto inicial y final se visará a una referencia, también de coordenadas conocidas, como mínimo. Las estaciones de la poligonal tendrán que:

- Estar relacionadas entre sí (acimut y distancia)
- Tener inter visibilidad entre ellas

Poder desempeñar el trabajo para el que se ha diseñado la poligonal, desde los puntos de estación.

El método consta del siguiente procedimiento: se estaciona en un punto A y se sitúa por radiación en punto B. Posteriormente se estaciona en B y, tomando como referencia la dirección BA se radia C. Estacionando en C, de modo análogo, se sitúa el punto D y así se continúa sucesivamente hasta fijar el último punto que se desee, tal que el E. Por tanto, un itinerario o poligonal no es más que una sucesión encadenada de radicaciones. Los puntos A, B, C ... son estaciones de itinerario y las distancias AB, BC, ... los tramos o ejes del mismo (M. Farjas, 1996)

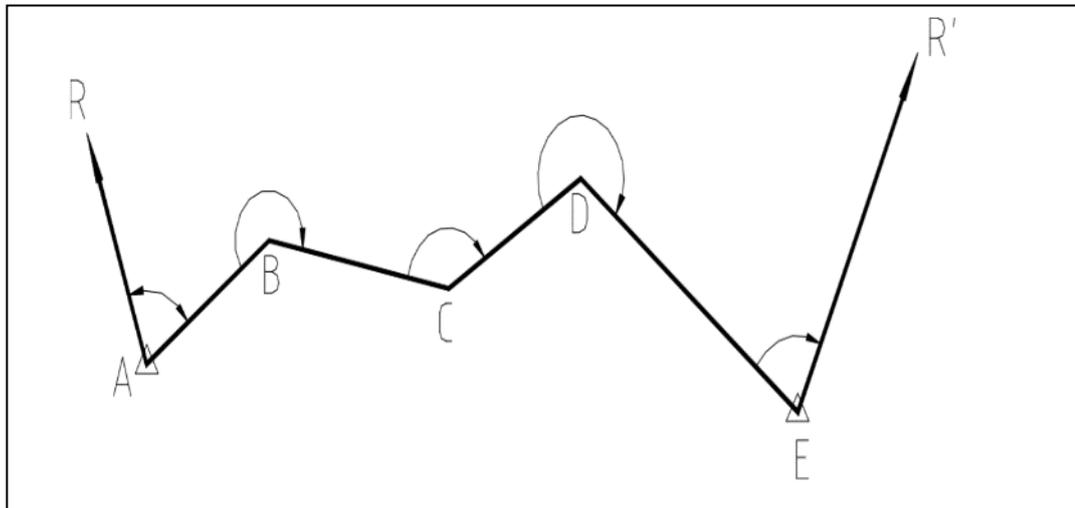


Figura 1.3 Método de Poligonación no orientada abierta

Fuente: Ingeniería Topográfica y Cartografía ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía, 1992

1.5.3 Estaciones

Las estaciones en el techo o paredes de una galería o túnel, se encuentran con más facilidad, están menos expuestas a desaparecer y son, por tanto, más duraderas que las del suelo; su fijación se realiza por medio de tacos de madera en un pequeño barreno, de 2 o 3 cm de diámetro y de unos 10 cm de profundidad.

Unos y otros se numeran con pintura o por medio de chapas de zinc o de plástico con número correlativos, poniendo a cada uno de ellos en la libreta de campo para sin confusión poder localizarnos con rapidez en un momento determinado.

La operación de fijar los vértices o puntos se inicia dejando una guía en la primera estación, extremo del recorrido y marchando hacia delante hasta poco antes de perder de vista la guía, y si es posible en el centro de la misma galería, se colocará el taco correspondiente a la segunda estación, así sucesivamente hasta por todo el recorrido.

Se debe fijar los puntos de cada estación con las siguientes condiciones:

- Camino, el más corto para el recorrido
- El menor número de alineaciones
- La mayor longitud hasta un máximo de unos 70 metros en cada alineación medida con cinta metálica
- Inmovilidad absoluta de los puntos
- Numeración ordenada de los mismo para su localización en la mina

1.5.4 Medida de longitud de los ejes

1.5.4.1 Medición horizontal utilizando cinta de acero

La medida directa de la longitud de los ejes de la red de apoyo se efectúa generalmente por mediciones con cinta metálica de 10, 20, 30 o 50 metros de longitud y de 7 a 14 mm de ancho.

Se aplica para esta medición, adaptándose a las condiciones particulares del levantamiento subterráneo, el método de resaltes horizontales o banqueo.

Se escogen, para este método de medición, cintas de poco peso, al objeto de facilitar el trabajo y disminuir el pando; se la tiende horizontalmente entre los hilos de las plomadas P1, P2, etc., suspendidas de los clavos que materializan los vértices. Se percibe la horizontalidad de la cinta por obtener, en esta medición, la lectura mínima.

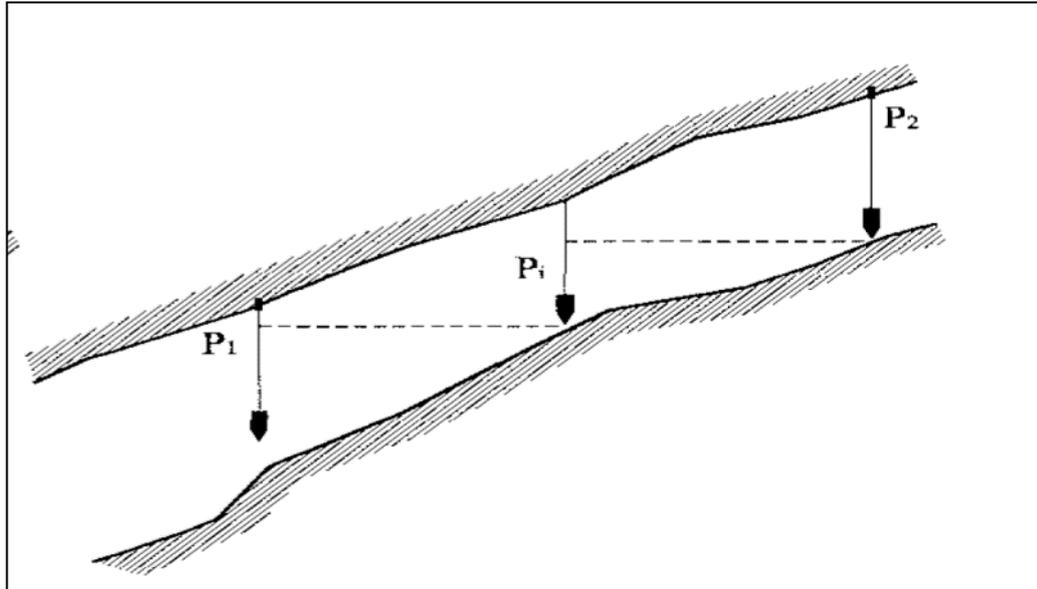


Figura 1.4, Método de resaltes horizontales

Fuente: Ingeniería Topográfica y Cartografía ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía, 1992

1.5.5 Levantamiento de la red de apoyo complementaria y de detalles

Por comodidad y sobre todo por mayor rapidez, se efectúan simultáneamente el levantamiento de estas dos redes. Los itinerarios de la red complementaria irán, a poder ser, encuadrados entre dos puntos poligonómicos. Para el levantamiento de estas redes, si bien no es necesario tanta precisión; es frecuente utilizar aparatos menos precisos como la brújula, o los instrumentos suspendidos.

1.5.5.1 Empleo de la brújula

Las brújulas utilizadas en los levantamientos del interior de la mina son de uso fácil, cómodo y de precisión variable. Las más simples son las llamadas "brújulas de minero", que nos permiten determinar la dirección norte-sur y para la medición del ángulo de inclinación. Estas brújulas se usan poniendo a ojo la línea N-S paralela a la dirección o inclinación que se desea tomar y leyendo respectivamente el rumbo y el ángulo de inclinación con la aguja y el perpendicular. Cuando se quiera obtener mayor precisión, se opera colocando una regla en la dirección o inclinación que se desea obtener y aplicando sobre esta regla los bordes de la brújula.

La brújula de geólogo cuyas características son las siguientes: nivel esférico, canto graduado y limbo móvil en su graduación adicional de $\pm 30^\circ$ para corregirle la declinación se usan como instrumento auxiliar para tomar la dirección e inclinación de filones, vetas, fallas, estratos, etc.

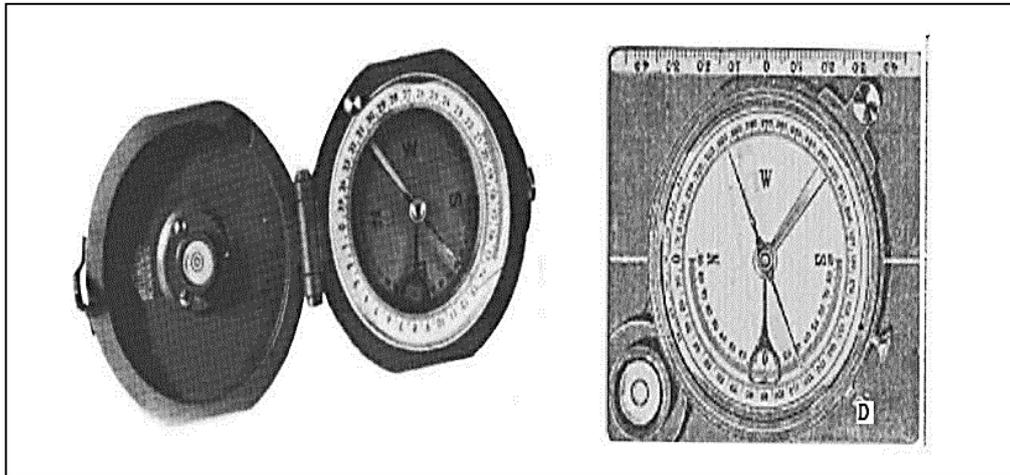


Figura 1.5 Brújula de Minero y de Geólogo con nivel esférico

Fuente: Topografía Subterránea para minería y obras, 2003

1.5.5.2 Uso de los instrumentos suspendidos

Los trabajos mineros generalmente son irregulares, con fuertes inclinación y circunstancias que impiden el empleo de instrumentos montados sobre trípodes. Entonces se debe recurrir a los instrumentos suspendidos mediante cuerdas tendidas en las galerías.

1.5.5.3 Brújula de suspensión

El modelo más comúnmente empleado, consiste en una armadura de latón o metal con una suspensión cardán que hace que la brújula adquiera automáticamente la posición horizontal por su propio peso, en cualquier posición que se cuelgue, por los dos ganchos invertidos en que termina la armadura.

Otros tipos de brújulas suspendidas de limbo fijo, flotante en un baño de aceite, llevan un sistema de lectura por prisma de aumento. El equipo magnético presenta una gran fuerza coercitiva y puede ser observada con ayuda de un dispositivo de iluminación, que permite a la vez las observaciones directas del limbo o las lecturas más cómodas por medio del prisma. Sin embargo, existen ciertas brújulas de limbo giratorio para corregir la declinación magnética, con lo que la lectura de la aguja nos dará directamente los acimuts o las direcciones en la proyección en que se esté trabajando.

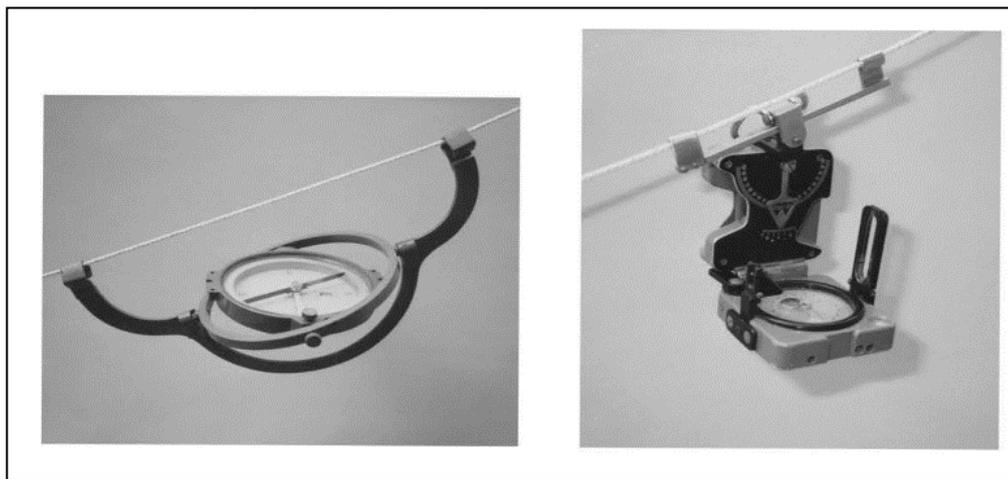


Figura 1.6 Brújula de suspensión

Fuente: Topografía Subterránea para minería y obras, 2003

1.5.5.4 Eclinómetro suspendido

El eclinómetro está constituido por un semicírculo de latón o metal blanco, con división frontal a partir de 0° o hasta 90° o 100° a derecha e izquierda. Tiene dos ganchos como la brújula para suspenderlo de la cuerda. Del centro del diámetro pende el hilo, muy fino, de una pequeña plomada que marca los ángulos de pendiente.

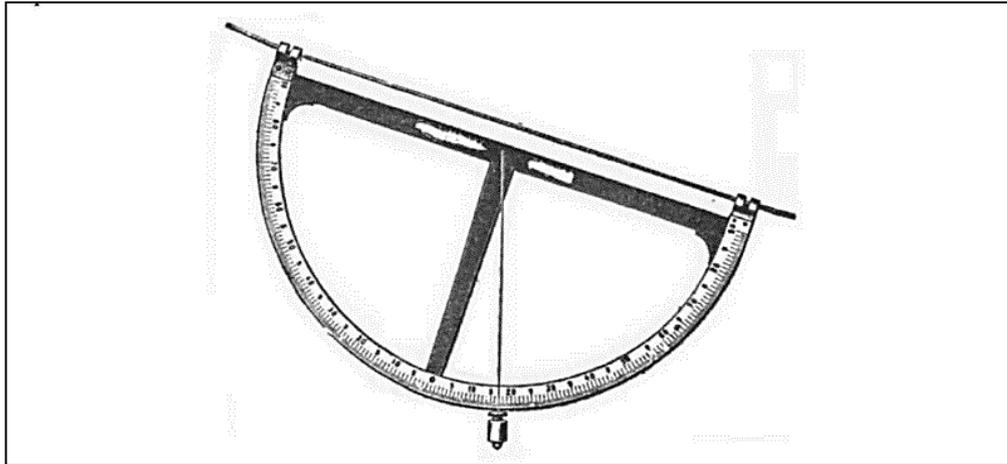


Figura 1.7 Eclinómetro suspendido

Fuente: Topografía Subterránea para minería y obras, 2003

1.5.5.5 Levantamiento con la brújula suspendida y el eclinómetro

La primera operación es establecer las cordadas, auxiliándose el operador de dos peones que, con sus luces atrás y delante, indican la mejor disposición de las muletillas y clavos que han de colocarse en las paredes o en el techo como en los itinerarios primarios. Se establecen las cuerdas A-B, B-C, C-D ..., procurando dejar puntos fijos en los lugares donde se puede prever una ampliación posterior del plano.

La cuerda se anuda en la muletilla de manera que luego pueda desatarse fácilmente, generalmente con el atado llamado vuelta de ballestrinque. Si no es posible clavar la muletilla o clavo por la dureza de la roca, se hace un pequeño barreno y se introduce en él un taco de madera, en el que se clava la muletilla o clavo.

Clavadas las muletillas o clavos y colocadas las cordadas, se va haciendo el croquis, en el que se van numerando los puntos asegurándose, al mismo tiempo, de que las cuerdas están fuertemente sujetas y todo lo tirantes que se pueda.

La mejor longitud que debe darse a las cuerdas es de 10 a 15 metros. Longitudes más pequeñas multiplican las operaciones y las causas del error, y mayores formarían catenarias y resultarían con error los ángulos de inclinación.

Lo primero que debe tomarse son los ángulos de inclinación con el semicírculo para evitar que el peso de la brújula estire las cuerdas y luego resulten los ángulos de inclinación falsos. Se toma la inclinación cerca del origen de la cuerda y se comprueba

tomándola también cerca del final, invirtiendo el semicírculo; la diferencia no debe ser mayor de $\frac{1}{4}^\circ$.

Tomada la inclinación, se cuelga la brújula en el sitio donde los clavos no ejerzan influencia sobre la aguja, con el norte hacia el final de la cordada, y se lee la punta cuando esté en reposo; se invierte la brújula para comprobar, y la diferencia entre las dos lecturas debe ser de 180° o 200° o no pasar del límite de apreciación. Las diferencias mayores indican perturbación, que hay que investigar, y si no puede evitarse habrá que determinar los puntos por otros procedimientos.

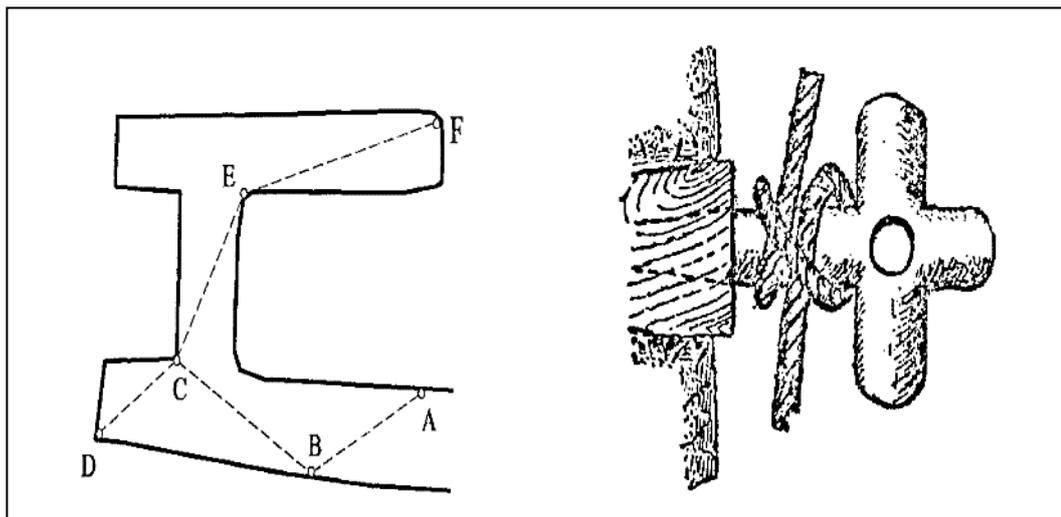


Figura 1.8 Levantamiento Subterráneo con brújula, muletilla y atado de cuerda

Fuente: Topografía Subterránea para minería y obras, 2003

1.5.6 Libreta de campo y cálculos

La libreta o registro de datos para la mina debe ser provisional, pues se ensucia mucho, y deben pasarse los datos a otra libreta de cálculos definitivos.

Puede ser del modelo el siguiente modelo que se presenta, en la parte derecha se hacen las observaciones y croquis auxiliares, teniendo especial cuidado en anotar cada ángulo en la columna que le corresponda.

t es la tangente o diferencia de nivel entre el eje de giro del anteojo y el punto observado

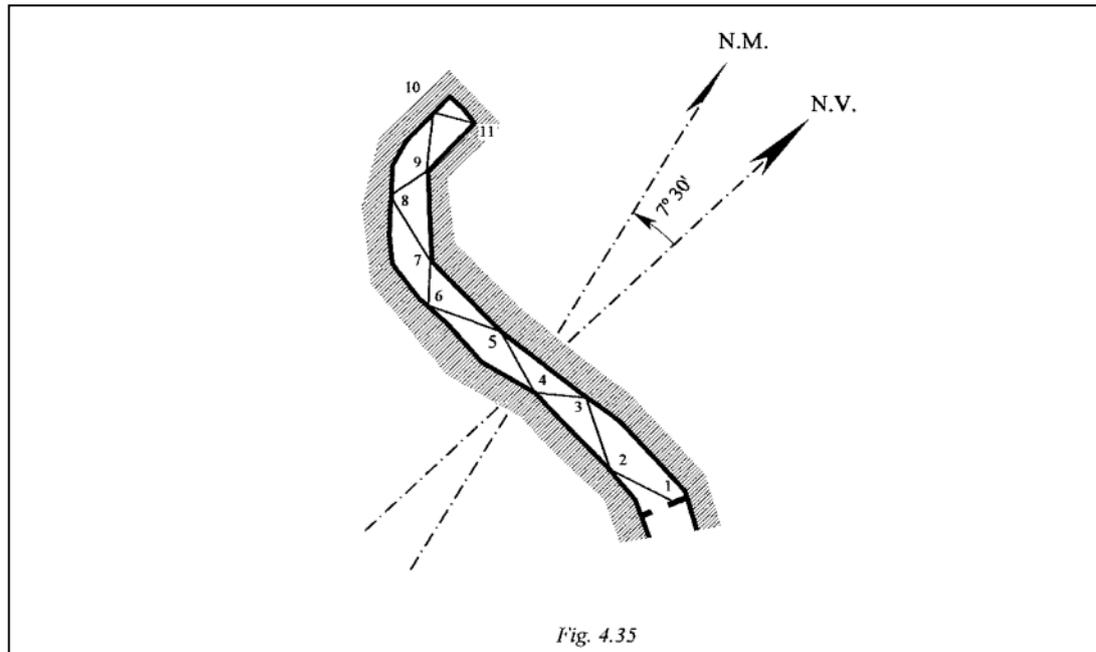


Figura 1.10 Plano levantado mediante brújula en suspensión

Fuente: Topografía Subterránea para minería y obras, 2003

1.6 Caracterización de vetas

1.6.1 Orientación

La orientación de las estructuras corresponde al ángulo que se forma entre el plano de una unidad de explotación con un set estructural, el cual se encuentra en el macizo rocoso, y, por ende, para cada cara se debe escoger el set que más desfavorezca la estabilidad de la unidad de explotación. Una vez definido el set crítico para cada cara, se determina su orientación.

La orientación de la unidad de explotación será considerada propiamente como una resultante de la inclinación y dirección del cuerpo mineralizado. Es necesario mencionar este factor, ya que resulta indispensable en la determinación de la estabilidad de las unidades de explotación (S. Muruaga, 2016).

1.6.1.1 Buzamiento, dirección y posición

Para determinar la posición de una superficie plana inclinada, es necesario contar con dos datos importantes. El primero de ellos es el buzamiento, es decir, el ángulo de máxima pendiente de la superficie, y el segundo es la dirección, que es la de la intersección de la superficie en cuestión con un plano horizontal.

El buzamiento es el valor de un ángulo que se mide en un plano vertical y debe contarse siempre hacia abajo a partir del plano horizontal. La dirección y la línea máxima pendiente son perpendiculares entre sí. El conjunto de dirección y buzamiento determinan la posición de una superficie con respecto al plano horizontal y a los rumbos de la brújula. La posición de una capa relativamente delgada y de espesor uniforme será la de su superficie superior o inferior (H. Lahee, 1975).

En el campo, el buzamiento se mide con ayuda de un clinómetro, y su sentido con una brújula. La representación de este en los mapas geológicos, generalmente es en forma de T cuya punta se dirige en el sentido del buzamiento, indicando el valor en grados, por cifras o a veces por la longitud más o menos grande del trazo vertical de la T. Cuando una superficie que tiene un cierto buzamiento está cortada por un plano vertical, la inclinación de esta no es igual al buzamiento, sino más pequeña denominándose así buzamiento aparente. Estos valores aparentes no son en sí iguales a los reales, excepto cuando los cortes verticales son perpendiculares a la dirección de las capas y por lo tanto perpendiculares al eje de los pliegues (Foucault y Raoult, 1985)

En cambio, el rumbo o dirección, es decir, la posición con respecto a las direcciones de la brújula y a la horizontalidad, puede tratarse de un carácter estrictamente lineal, o de dos dimensiones, y tener aspecto de superficie o de capa que se ve o se cartografía de canto y, por lo tanto, con apariencia de líneas (H. Lahee, 1975)

Geológicamente el rumbo es importante para determinar la dirección en la que se mide el verdadero buzamiento o inclinación. El termino se usa también en el sentido de tendencia o rumbo general de los estratos o para la dirección de una estructura (A. Whitten y V. Brooks, 1972)

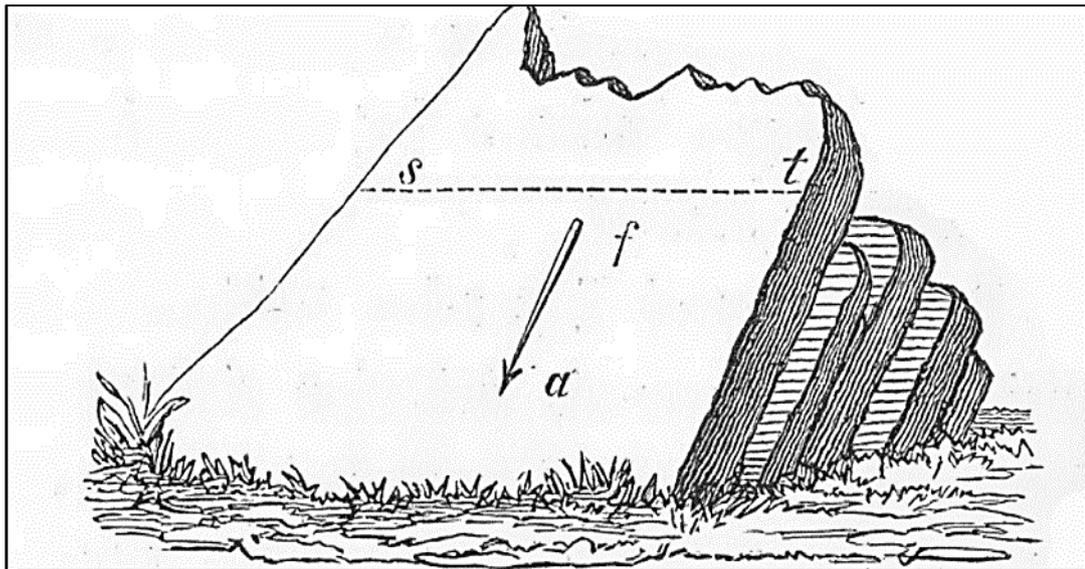


Figura 1.11 Rumbo (s-t) y dirección de inclinación (f-a) de estratos

Fuente: Elementos de Geología, 1891

1.6.2 Relleno de una veta

Es aquel material entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso. Un parámetro en el material de relleno es su grado de cementación. Treptow (1900).

Describe un relleno simétrico de una veta correctamente de tensiones en la corteza terrestre que provocan la formación de "grietas" o bien diaclasas, pero el nombra como la causa principal el enfriamiento lento del globo terrestre. Treptow también diferencia bien entre dique (relleno magmático) y veta (precipitación directa del agua). Además, nombra una veta con relleno blando, que corresponde a una zona de falla con brecha de falla. El entiende los clastos como "material caído a la grieta". (pg. 53)

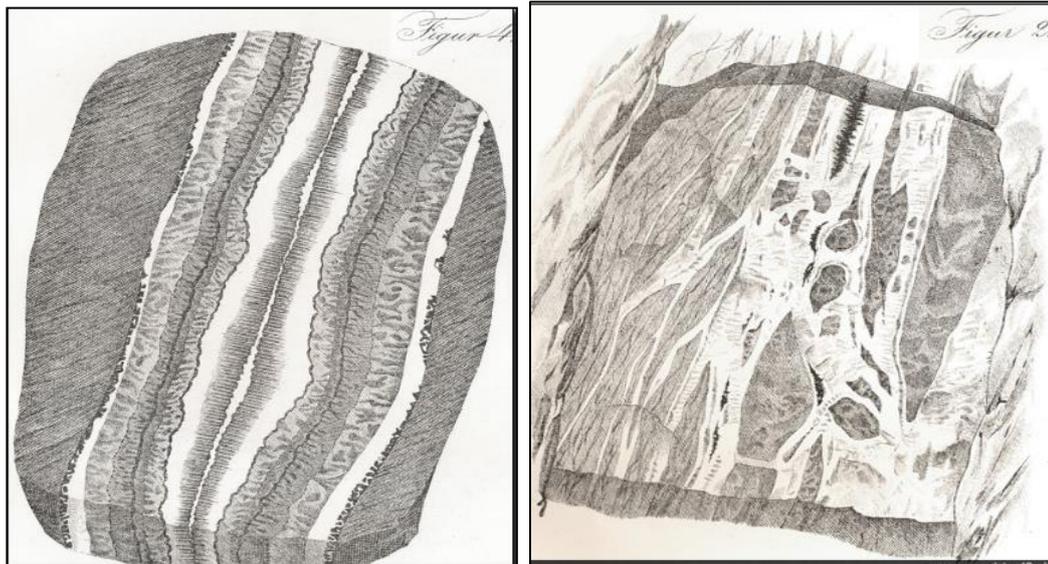


Figura 1.12 Tipos de Rellenos de Vetas

Fuente: Guía de Minería Alemán, 1873

1.7 Métodos de explotación subterránea

1.7.1 Explotación con sostenimiento natural

Comprende aquellos métodos, en que, por la naturaleza del macizo rocoso, los arranques se efectúan abriendo huecos, con las respectivas dimensiones, sin la utilización de medios artificiales de fortificación o relleno debido a que se sostiene por sí mismos.

Se consideran dos métodos de explotación, el primero denominado cámaras y pilares, el segundo cámaras vacías.

1.7.1.1 Cámaras y pilares

La caracterización principal de este método es el arranque del mineral de una manera parcial, dejando parte el mismo en forma de pilares o columnas que ayudan al sostenimiento del techo, procurando arrancar la mayor cantidad de mineral y ajustar las secciones de las cámaras y pilares adecuadamente para resistir las cargas que actuaran sobre ellos.

La resistencia de los pilares depende del material de que están constituidos y de las discontinuidades geológicas.

La aplicación de este método es apropiada a criaderos echados o con poca pendiente, que no excedan de los 30 grados. También debe ser la roca del techo y el mineral suficientemente resistente. En relación con ello, el concepto de estabilidad del techo o del mineral es muy flexible. Si se aumenta el número de pilares o se reduce el ancho de las cámaras, se puede compensar la calidad peor del terreno, pero ello se hará a costa de perder mineral, por ello se procura aumentar la estabilidad de las cámaras y pilares empleando el empernado.

Es de aplicación universal en yacimientos tabulares sedimentarios, como pizarras cupríferas, yacimientos de hierro y otros.

Se pueden considerar tres sistemas en la aplicación de este método de cámaras y pilares según la pendiente del filón o capa:

1. En el caso de pendiente horizontal y pseudohorizontal, o de rebanadas en criaderos de gran potencia.
2. En el caso de pendientes entre 20° y 30° y lleva consigo una variación de los transportes para adaptarlos a las pendientes.
3. En el tercer sistema en capas de 30° y más, el arranque y las cámaras se disponen de modo que la pendiente de los pisos y rampas se adapten al material de transporte.

(Oyangüren et al., 1991)

Según sea la correlación entre la anchura de las cámaras y los pilares, las pérdidas de mineral son, en término medio, de 10 a 25%, por tal razón, este método se adopta para la explotación de minerales de hierro, de cobre y de plomo pobres, como también yacimientos de sal gema de esquistos y de materiales de construcción. La del mineral es mediante el método de barrenos cortos o perforaciones profundas (Borisov, Klovov y Gornovoi, 1976).

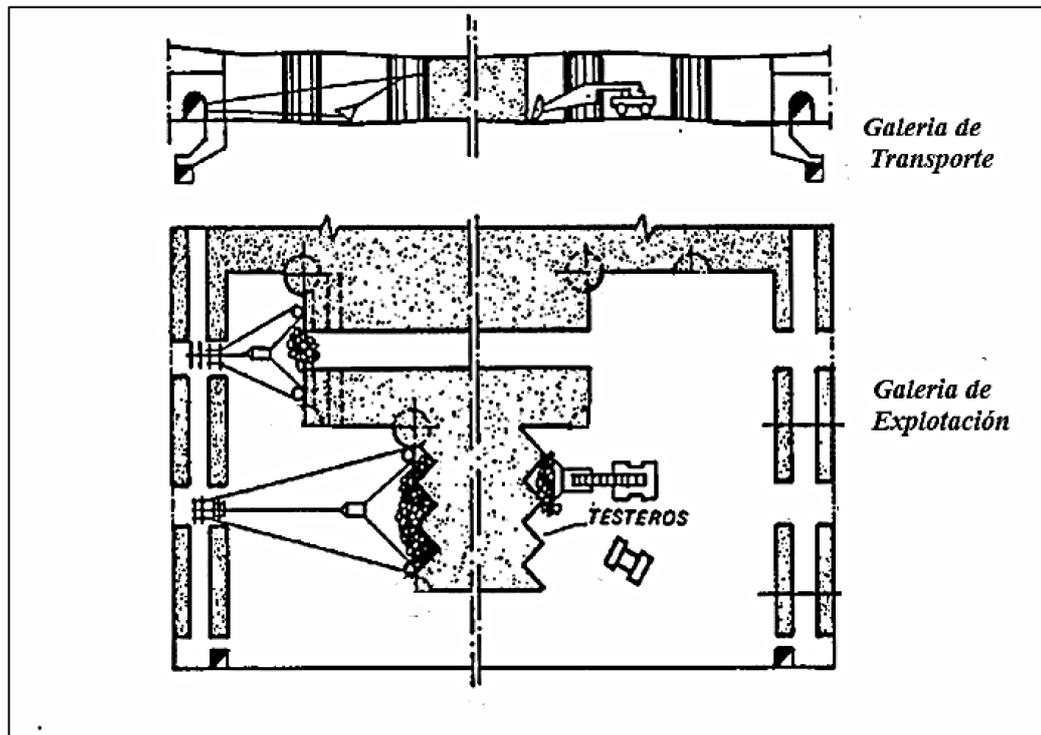


Figura 1.13 Preparación de la explotación mediante cámaras y pilares

Fuente: Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea, 1980

1.7.1.1.1 Cámaras con pilares ocasionales

Este método, procura dejar los pilares en las zonas estériles o de más baja ley, y en donde las condiciones tensionales y la debilidad del techo lo exijan, por lo que su distribución es aleatoria y ocasional.

Para minas con poca profundidad es mala práctica dejar pilares ocasionales que son causa de fuertes concentraciones de tensión, porque dan lugar a trastornos, como grietas irregulares en los hastiales, hundimientos súbitos, fenómenos de "estallido de rocas" (Borisov, Klovov y Gornovoi, 1976).

1.7.1.1.2 Cámaras con pilares sistemáticos

En este método los pilares se disponen según un esquema geométrico regular, donde las secciones pueden ser cuadradas, circulares o rectangulares, y constituirse como columnas o a modo de muros continuos que separan las cámaras.

La función principal del pilar es soportar el techo de la cámara, que puede no coincidir con el techo del criadero.

Se diferencia del método de Cámaras Vacías no solo por el tamaño de las cámaras, sino porque durante el arranque se van elaborando los pilares y abriendo los huecos, en un ciclo continuo y es de aplicación indicada en criaderos echados, con pendientes entre 1° - 30° .

La preparación de la explotación consiste solo en perforar dos galerías o guías de cabeza y de base, y, entre ellas, galerías de penetración en el macizo así delimitado, unas paralelas a las guías y otras perpendiculares, entre las que se dejan los pilares, que se arrancan hasta alcanzar las dimensiones calculadas o bien se abren cámaras separadas por pilares alargados en forma de muros (Borisov, Klovov y Gornovoi, 1976).

1.7.1.2 Cámaras vacías

Las cámaras vacías se emplean principalmente en minerales resistentes y firmes, con hastiales de roca igualmente resistente, permitiendo que al arrancar el mineral el hueco ocasionado no necesite sostenimiento.

En los criaderos de tamaño pequeño, como en lentejones y bolsadas, la cámara puede ser de sus mismas dimensiones. Pero en general, el largo de las cámaras queda limitado por la resistencia de la corona de mineral; el ancho puede ser el del criadero, si no es excesivo, o se divide estén caso contrario.

Se pueden preparar paralelas a los hastiales o normales a ellos según la potencia y otras características del criadero (Borisov, Klovov y Gornovoi, 1976).

1.7.2 Explotaciones con sostenimiento artificial

Comprenden en esta denominación aquellos métodos de explotación minera en los que los huecos, al no poder sostenerse por sí mismos, necesitan que se empleen elementos artificiales para sujetar sus costados o hastiales y controlar su corona.

Los medios que hasta hoy se han utilizado para este sostenimiento son:

- Cámaras Almacén
- Relleno
- Explotaciones Entibadas

1.7.2.1 Cámaras almacén

El método se basa en que el laboreo del bloque es efectuado con almacenamiento del mineral arrancado en el espacio ya explotado. Como el mineral arrancado ocupa un volumen mayor que el que ocupaba en el macizo, se hace evacuar del 30 al 40% de mineral periódicamente, a medida del arranque. Terminada la explotación del bloque, el mineral almacenado es evacuado totalmente.

Los métodos de laboreo por almacenes de mineral se practican al explotarse cuerpos mineralizados de fuerte buzamiento, con elementos de yacimiento regulares, que proporcionan la evacuación del mineral por la gravedad, con rocas firmes, no propensas a la aglutinación, oxidación ni inflamación espontánea, y rocas encajantes suficientemente estables. El espesor del cuerpo mineralizado es desde muy delgados hasta muy potentes (Boríssoy, Klókov y Gornovói, 1976).

Utilizan como sostenimiento artificial el propio mineral arrancado, que se deja en la cámara y a esto deben su nombre. Cuando la superficie de la roca queda expuesta a la meteorización, se disgrega y afloja y con los trabajos mineros se inducen tensiones en ella. Si la roca en la que se abre la cámara es de consistencia media, se desprenderán lisos o bloques, pero si se va rellenando la cámara con el mineral arrancado la roca se frena en su despegue y no cae. El mineral arrancado sirve de piso de trabajo (Oyangüren et al., 1991)

Las ventajas de las cámaras almacén son:

- En condiciones apropiadas pueden ser más baratas que el método de rebanadas con relleno.
- La perforación y voladura en las cámaras almacén es más eficaz que en el método de rebanadas rellenas, pues no es un trabajo cíclico, como en éste.

- No hay coladeros dentro de la cámara ni, por tanto, trabajos de conservación de los mismos.
- No hay que mover el mineral durante la explotación, aunque, a veces, hay que rastrearlo para nivelar las plataformas de trabajo de las perforadoras móviles.

Los inconvenientes son:

- La corona y costados de la cámara deben ser sanos y firmes. La pendiente ideal es la vertical, pero se considera aplicable hasta 50 grados.
- En algunos casos es difícil dejar el muro al descubierto, ya que habría que producir irregularidades en el mismo que pueden ser causa de "huecos colgados" al retener el mineral; por ello, hay necesidad de abandonar algo de mineral o franquear parte de roca del hastial, según las circunstancias.
- Las rocas que se desprenden de los hastiales ensucian el mineral
- El mineral está sujeto a oxidación en su almacenamiento, lo que puede ocasionar dificultades en la flotación.
- Por ello pueden también producirse fuegos, si el contenido en azufre es suficiente.

Oyangüren et al. (1991).

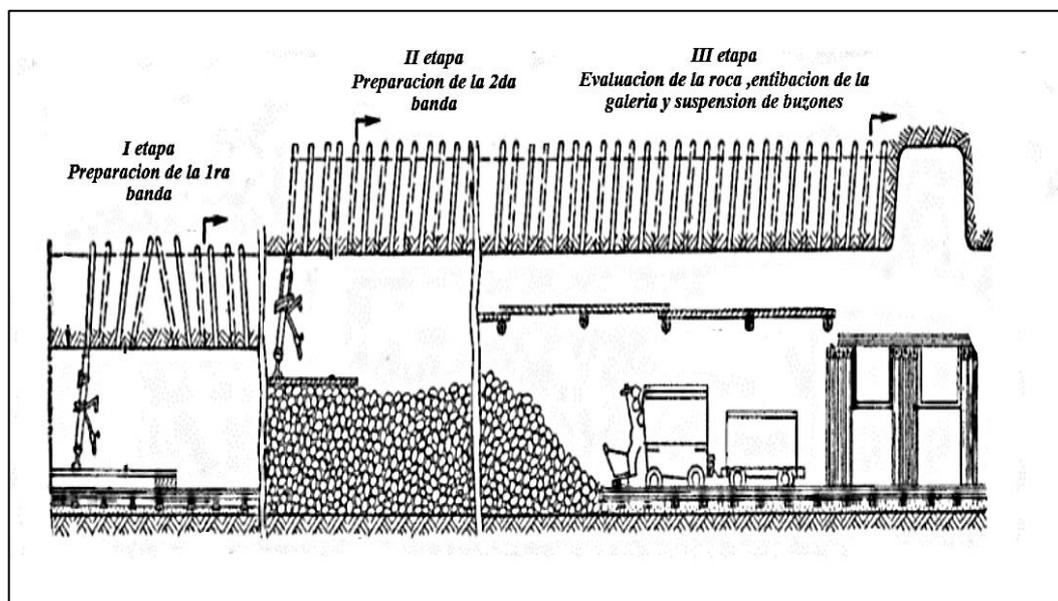


Figura 1.14 Trazado del bloque para la explotación con almacenamiento del mineral

Fuente: Labores Mineras, 1976

1.7.2.2 Cámaras con rebanadas ascendentes rellenas

El método se basa en arrancar el mineral en rebanadas sucesivas horizontales o inclinadas, en sentido ascendente desde la galería de base. El mineral se saca a medida que se va explotando; y el hueco que se produce al sacar el mineral se rellena con estériles siguiendo al frente a una distancia mayor o menor según los casos, o bien, sólo se empieza el relleno cuando se completa el arranque de una rebanada. Entre el relleno y la corona virgen del mineral se deja un hueco suficiente para que se pueda trabajar en la perforación de la rebanada siguiente sin dificultades. Este ciclo repetido de perforación, voladura, carga y relleno es lo característico del método.

El relleno sirve, en primer lugar, para sostener las paredes o hastiales de la cámara. En minas pequeñas el relleno puede proceder de los estériles producidos por el arranque de la cámara o por las labores preparatorias generales de la mina y, en caso necesario, de labores especiales realizadas con este fin.

Las "Cámaras Rellenas" se emplean en criaderos irregulares de minerales ricos, con ramificaciones que penetran en el macizo rocoso que lo encaja. En estos casos será preciso franquear la roca del hastial para conseguir las secciones precisas. La roca arrancada se deja dentro de la explotación como relleno de la rebanada (Oyangüiren et al., 1991)

Las ventajas del método de Rebanadas Rellenas son:

- Sus costos por preparación son menores que los de las Cámaras Almacén, Cámaras Vacías con Niveles y con Barrenos Largos.
- Pueden dar producción rápidamente.
- El mineral sale a medida que se arranca y con ello el capital inmovilizado es menor, se evitan los problemas de oxidación y los fuegos.
- Se necesita poca mano de obra.
- La vigilancia es fácil por estar el trabajo muy concentrado.
- La seguridad es grande, sólo se trabaja en zonas que no han tenido tiempo de meteorizarse.
- La ventilación es sencilla.

- Hay poca dilución del mineral.
- El taqueo puede hacerse en la cámara, evitando atascos en los coladeros.
- La estabilidad en la cámara y en el conjunto de la mina es grande, gracias al relleno.
- Permite la colocación de estériles del lavadero.

Por el contrario, los inconvenientes son:

- La producción por cámara es irregular, por lo que hay que arrancar varias para compensar.
- Se necesita un buen suministro de tierras para relleno.

Oyangüren et al. (1991).

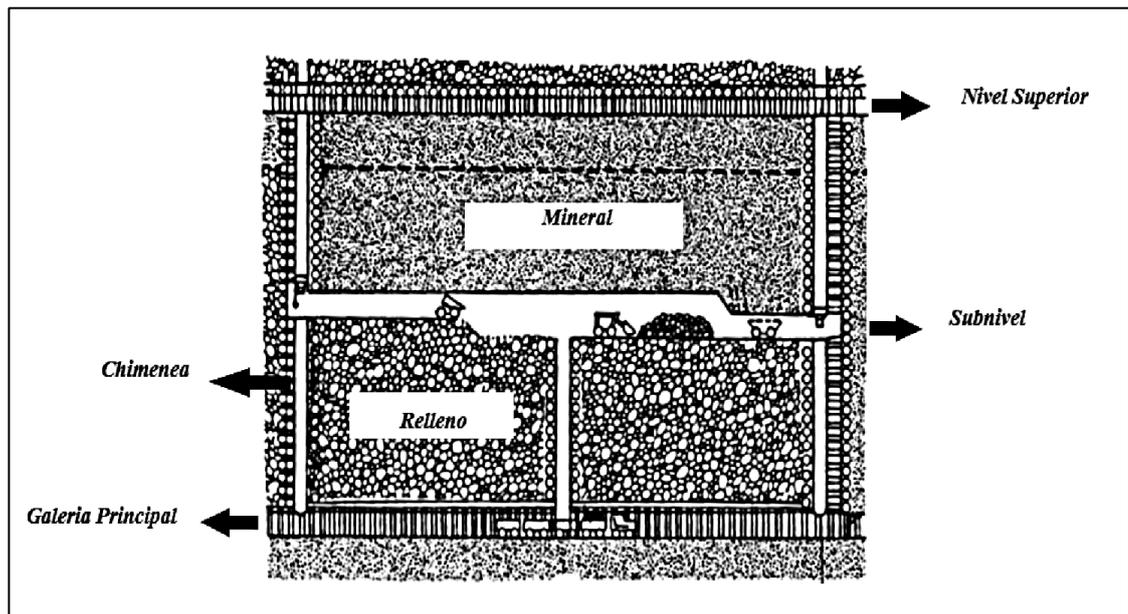


Figura 1.15 Cámaras con rebanadas ascendentes rellenas

Fuente: Labores Mineras, 1976

1.7.2.3 Cámaras con rebanadas unidescendentes rellenos

El método se realiza por rebanadas horizontales, que se rellenan colocando antes una losa de hormigón pobre o relleno cementado, el cual sirve de techo artificial para la rebanada siguiente.

Este método reemplaza al de "Rebanadas ascendentes rellenas", cuando hay la presencia de mineral falso y fracturado, cuya corona puede ceder y dificultar las fases siguientes de explotación (Oyangüren et al., 1991)

Las labores de extracción comienzan con el arranque de la primera rebanada inmediatamente encima de la entibación de la galería, generalmente, desde el contra cielo para que, la entibación se retire de una de sus paredes hasta una altura de 2 a 2,5 m, y proceder al arranque del mineral por medio de barrenos con carga reducida de explosivo, para impedir que la entibación de la galería se deteriore. Después del arranque de primera rebanada, se coloca sobre la entibación de la galería unos tabloncillos gruesos, se instalan buzones y se inicia el arranque de segunda rebanada desde el contra cielo. A medida del laboreo de la segunda rebanada, el espacio explotado de primera rebanada va siendo colmado con material de relleno, en tanto que encima de los buzones se construyen chimeneas de mineral ejecutadas con entibación de cuadro. (Borisov, Klovov y Gornovoi, 1976).

Ventajas del método

- Alta extracción del mineral y empobrecimiento insignificante
- Seguridad contra incendio en presencia de menas propensas a la inflamación espontánea
- Posibilidad de extraer las menas por clases
- Resguardo de la superficie contra el derrumbe.

Inconvenientes:

- Productividad poco elevada de trabajo del obrero picador en el tajo
- Costo elevado de las labores de arranque a causa de gastos considerables para el relleno.

(Borisov, Klovov y Gornovoi, 1976).

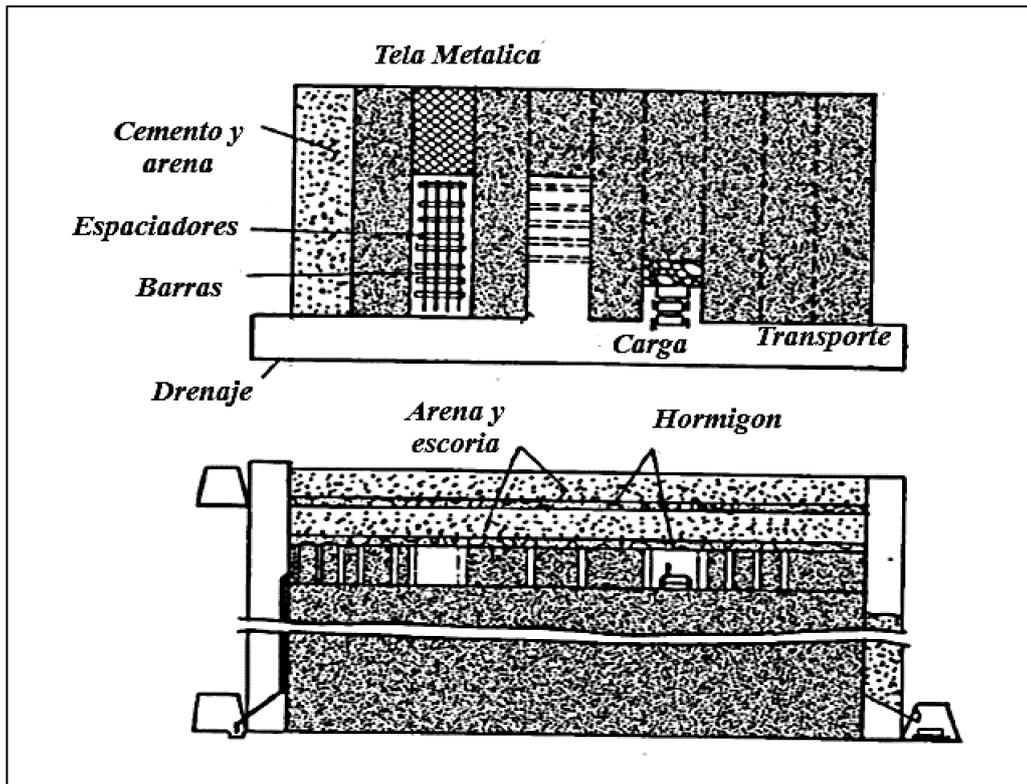


Figura 1.16 Método de arranque en rebanadas horizontales con relleno de hormigón

Fuente: Labores Mineras, 1976

CAPITULO II

DESARROLLO Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

2.1 Elección del método de levantamiento topográfico subterráneo

Gannet (1975) define un mapa diciendo que es "un esquema, corregido por localizaciones" (p.483).

De acuerdo al levantamiento topográfico determinamos y proyectamos la localización de puntos o estaciones de puntos, los cuales constituyen los puntos de referencia o control del mapa. Las direcciones y distancias horizontales de unos a otros representaran la referencia planimetría u horizontal, y la altitud la referencia vertical del mapa respectivamente.

El grado de precisión requerido para el levantamiento está sujeto a la amplia variación existente de los métodos según la exactitud en la que se realice el trabajo de campo, las mayores precisiones se incluyen bajo la denominación de cartografía de detalle, y los de menos precisión son los de cartografía de reconocimiento.

El levantamiento topográfico subterráneo se llevó mediante reconocimiento debido a la rapidez que proporciona y el amplio límite de error que permite. Se eligió el método de poligonación abierta, por la estrechez, irregularidad y longitud de las galerías y chimeneas en Minerandina Cia Ltda.

Mediante el siguiente método se realizó un itinerario o poligonal con una sucesión encadenada de radiaciones, donde se debe obtener como resultado final las coordenadas x,y,z de los puntos de estación. Se parte de un punto de coordenadas conocidas y se llega a otro también de coordenadas conocidas, permitiendo el levantamiento de la red básica y complementaria, por medio de puntos de referencia enumerados respectivamente, ubicados en las paredes de las galerías y chimeneas, las cuales contaron con la respectiva relación entre sí (azimut y distancia) y principalmente inter visibilidad de cada estación.

2.1.1 Levantamiento de una poligonal abierta con brújula

Se emplea con frecuencia en cartografía de reconocimiento, mediante el cual se realizó el trabajo de campo. El clinómetro se empleó para tomar las inclinaciones de las respectivas estaciones y la brújula para determinar rumbos y direcciones.

En este método se empleó la brújula Brunton la cual se compone de pínulas plegables, un espejo y un clinómetro con nivel rectangular de burbuja permitiendo una lectura optima de los datos. Se tomaron en cuenta una serie de reglas y consejos referentes al uso de la brújula, con los que se familiarizo.

1. Los grados de dirección y rumbo se deben leer sobre el limbo graduado exterior.
2. Al establecer una dirección o rumbo se coloca la brújula de modo que se halle en un plano horizontal y que la línea N-S del limbo graduado siga la dirección o rumbo, o sea paralela a ellos.
3. Cuando la aguja se halla en reposo apunta en una dirección constante para cada localidad. La lectura se debe hacer a partir de un extremo u otro de la aguja y no desde las letras N, E, S Y O, impresas en el limbo graduado.
4. Rumbo y dirección se miden con exactitud mediante la lectura de la brújula. Dependiendo de la posición del instrumento se hace la lectura en el sentido correspondiente, después se indica el ángulo o número de grados existente entre la aguja y la dirección buscada, y finalmente se escribe la letra correspondiente al sentido en que fue la lectura del ángulo a partir del extremo de la aguja, por ejemplo, si el ángulo es de 20 grados, la dirección será N 20 O.
5. Todas las lecturas se harán desde el Norte y el Sur, y algunas solamente desde el Norte, pero nunca a partir del este o del oeste.
6. El rumbo tomado por lo general es magnético, siendo necesario siempre hacer una corrección de la lectura de la brújula, debido a la que la aguja raramente apunta al Norte verdadero.
7. Se debe cuidar minuciosamente de no tener el algún objeto de acero cerca de la brújula, porque pueden afectar a las lecturas de la brújula.
8. Para efectuar una lectura correspondiente de la dirección del punto o estación, el nivel de la brújula de Brunton se coloca de modo que el espejo se halle junto al observador, y la pínula abierta en el lado opuesto. La pínula deberá hallarse en

posición vertical y el espejo inclinado y el punto distante se refleje simultáneamente



Figura 2.1 Brújula Tipo Brunton para levantamiento subterráneo

Fuente: Elaboración propia, 2018

Como no se dispone de un buen mapa base en el momento de hacer el levantamiento se lo realiza por el método mencionado, y así mismo, se recorren cortos itinerarios con la brújula desde las estaciones de la red de triangulación que se está realizando.

El itinerario de la brújula se lleva a cabo, hallando o posicionando en el campo, algún punto cuya colocación haya sido establecida anteriormente; y el cual se establecerá como la estación 1. Habiendo localizado la estación 1, se busca el rumbo del siguiente punto teniendo en cuenta la visibilidad entre ambos, y se cuentan los pasos hasta la estación, el que se denominaría estación 2.

Del mismo modo se procede con las estaciones 3, 4 y así sucesivamente. Lo principal es que se debe enlazar las estaciones establecidas, tanto al final como al comienzo del trazado.

En lo correspondiente a la anotación de datos de itinerario a la brújula en el cuaderno de notas, se conformó con un sistema previamente establecido. Se registró la dirección

de cada punto observado en la brújula, seguido de la distancia horizontal, así como las distancias desde la estación hacia la izquierda y derecha y de arriba a abajo, tomando en cuenta con la respectiva inclinación de cada punto a punto.



Figura 2.2 Itinerario de brújula con la colocación de las estaciones correspondientes en cada tramo recorrido

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 2.3 Guía de estación a estación para la determinación del azimut

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2 Determinación de ángulo vertical, azimut y distancia inclinada

Por otro lado, el clinómetro se emplea para medir ángulos verticales de pendiente. Se lo coloca en el inicio de la estación y paralelamente a la línea guía según la cual se efectúa la observación. Dado que el clinómetro no es de fricción sino pendular, el ángulo de lectura será el indicado sobre la escala interna semicircular por la graduación donde se detiene la punta de la plomada. Es de suma importancia determinar la inclinación de la pendiente ya que puede el ángulo ser positivo cuando es ascendente o negativa cuando es descendente, según la posición del observador de estación a estación respectivamente.

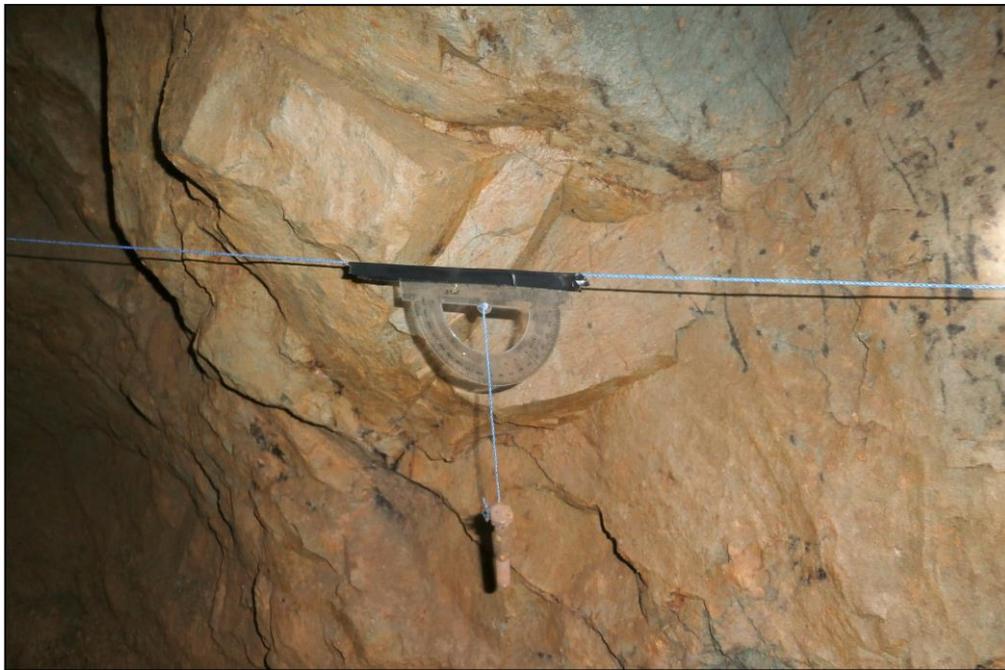


Figura 2.4 Eclinómetro en suspensión para la medición del ángulo vertical de cada estación

Fuente: Elaboración propia, 2018

Para hallar el azimut aproximado de una estación a otra, como operador nos colocamos en algún punto que puede estar situado en el techo o pared de la galería, y desde el cual se tenga visibilidad entre ambos. Se posiciona la brújula sobre la línea guía tomando en cuenta los aspectos y reglas respecto al uso de esta, se apunta con la pínula en dirección hacia la siguiente estación y al mismo nivel que el observador. Colocando el instrumento en horizontal, se hace toma la dirección determinada por medio de la

brújula indicada en el limbo graduado. Así continuamente se realiza con las respectivas estaciones.



Figura 2.5 Medición del azimut o dirección de cada estación marcada

Fuente: Elaboración propia, 2018

La medición de distancias es base de la topografía, ya que, para la localización de puntos, aun cuando los ángulos se puedan determinar con precisión, se tiene que medir la longitud de la línea guía. La distancia inclinada que separa dos estaciones entre si dentro de la galería, se determinó por medio de una cinta de acero tomando en cuenta los respectivos errores que nos proporciona al momento de realizar la lectura.

Los errores al medir con cinta pueden ser por incorrecta longitud de cinta, problemas de alineación de la cinta, impericia del observador u operador, variaciones de temperatura, variaciones de tensión y el efecto catenario.

En la práctica, es de buena norma tener una cinta de un proveedor confiable, cuidar la alineación entre cintadas, y aplicando tensiones tal que no provoquen desalineaciones o catenarias y no exceder la distancia mínima de 10 m entre estaciones.



Figura 2.6 Medición de la distancia horizontal empleando la cinta de acero

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.3 Calculo de distancia horizontal

La distancia horizontal se calculó en base a los datos determinados en el campo, los cuales nos ayudaron para la fórmula que se utilizó.

Se acompañó de una fórmula matemática, en ella se representa la distancia desde punto a punto y el ángulo vertical.

$$\text{Dist. Horizontal} = \text{Dist. Inclined} \times \cos \times \text{ángulo vertical}$$

Se multiplico por $\pi/180$ como unidad de conversión debido a que el ángulo vertical está en grados y el resultado sea en radianes.

2.2 Análisis de vetas

2.2.1 Buzamiento y dirección

Para determinar el rumbo o dirección de las vetas Paola y María, se utilizó una brújula tipo Brunton marca DQY-1. El operador se instala en algún punto sobre techo o también un horizonte que sea fácilmente reconocible del estrato, y sabiendo que el

rumbo es la línea que resulta de la intersección del plano geológico por un plano horizontal, procedemos a colocar la pínula de la brújula apuntando hacia el lado donde cae el estrato, la brújula debe estar horizontal (con el ojo de gallo en el centro) y el canto lateral tocando el plano geológico. Debido a que es una brújula con escala azimutal, para lectura se tomó el valor del rumbo solo de los cuadrantes 1 (entre 0 hasta 90 grados) y del cuadrante 4 (entre 270 hasta 360 grados) respectivamente.

Caso 1: Si una de las agujas marca entre 0-90 azimutal (cuadrante 1), automáticamente se toma N (valor dado) E.

Caso 2: Si una de las agujas marca entre 270 - 360 azimutal (cuadrante 4), Tenemos que usar como fórmula: N (360 –valor dado) W. En cambio, para el buzamiento se orienta la brújula perpendicular al rumbo, ya que es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente del estrato con el plano horizontal. Se buscó un plano del estrato y se colocó el clinómetro hacia abajo y paralelo al plano del estrato. Es importante de medir la máxima inclinación, que es la inclinación perpendicular al rumbo. Por esta razón primero se determinó el rumbo. La lectura se dio en la escala del clinómetro, tomando en cuenta que el nivel del clinómetro este centrado, y por lo general se obtienen ángulos no mayores a 90 grados.



Figura 2.7 Determinación del rumbo de la veta “Paola” en el sector Santa Ana

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 2.8 Determinación del buzamiento de la veta “Paola” en el sector Santa Ana

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.2.2 Relleno de las vetas

Para establecer la mineralogía de las vetas, se realizaron estudios en las muestras de mano recolectadas y se escogieron 2 zonas de mena ubicadas en el sector de Santa Ana y en la zona norte de la mina para el análisis de las mismas.

En la veta María posee un relleno denso en el cual se identificaron minerales como: pirita amarilla pálido, magnetita, oro, cuarzo lechoso, calcopirita, blenda marrón y calcita.

En la veta Paola las cual posee un relleno simétrico en el cual se identificaron minerales como: hematita, oro, calcopirita, hornblenda y magnetita.



Figura 2.9 Mineralogía veta “María”

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 2.10 Mineralogía veta “Paola”

Fuente: Elaboración propia, 2018

CAPITULO III
ANALISIS DE LA INFORMACION Y PROYECCION DE
ESTRUCTURAS

3.1 Modelamiento digital de las vetas en la zona norte de explotación

Los datos tomados en interior mina, están procesados por medio del software AutoCAD 2016, RecMin y Microsoft Excel.

El poste el cual se encontraba cerca de la bocamina fue la referencia inicial (P0), para determinar las coordenadas en el exterior de la mina mediante un GPS, permitiendo de esta manera la realización del levantamiento subterráneo mediante cinta y brújula teniendo ya un punto inicial conocido.

Una vez obtenida la información de campo, se procedió a ingresarla en Microsoft Excel, tomando en cuenta el azimut, distancia inclinada, ángulo vertical, distancias de derecha a izquierda, arriba abajo, los cuales se obtuvieron en el interior de la mina por medio del levantamiento topográfico subterráneo (ver tabla 3.1).

En base a la información ingresada anteriormente, se calculó la distancia horizontal primordial para la graficación. De igual manera con las formulas propuestas y descritas en el capítulo 1, se determinaron las coordenadas x, y, z las cuales nos permiten tener las cotas de las diferentes áreas donde se realizó el levantamiento topográfico subterráneo (ver tabla 3.2).

Tabla 3.1 Tabulación de datos obtenidos en el levantamiento topográfico subterráneo

MINERANDINA BOCAMINA TRAMO 1								
PUNTOS		AZIMUT	DISTANCIA INCLINADA	ANGULO VERTICAL	IZQUIERDA	DERECHA	ARRIBA	ABAJO
	P0 (poste)	0	0	0	0	0	0	0
P0 (poste)	P1	201.17	21.75	1.5	—	—	—	1
P1	P2	192.75	51.9	1	1.55	0.15	1.3	1.52
P2	P3	189.5	23.71	1.5	0.26	1.45	0.06	1.75
P3	P4	198.5	11.84	0	1.22	1.06	0.57	1.38
P4	P5	182	6.24	-0.5	0.04	1.3	0.74	1.12
P5	P6	197.5	7.3	-1	1.1	0.06	1.04	0.81
P6	P7	186	10.5	5	0.25	0.85	0.2	1.55
P7	P8	196.5	12.32	1.5	0.97	0.08	0.4	1.54
P8	P9	186.5	20	-0.5	0.18	1.04	0.7	1.29
P9	P10	178	22.2	0	1.16	0.6	0.52	1.48
P10	P11	187	7.1	11.5	1.07	1.3	0.78	1.54
P11	P12	190	30.47	0	0.18	0.9	0.55	1.69
P12	P13	194	17.64	-0.5	0.98	0.05	0.5	1.49
P13	P14	189.5	16.55	0.5	1.04	0.11	0.58	1.39
P14	P15	186.5	8.57	3.5	0.08	1.01	0.44	1.62
P15	P16	16	17.20	0.5	1.06	0.07	0.45	1.63
P16	P17	9	11.58	-3.5	0.04	0.95	0.81	1.08
P17	P18	13	14.95	0	0.84	0.15	0.46	1.63
P18	P19	347.5	3.37	-0.5	0.19	1	0.64	1.48
P19	P20	244.5	9.76	1.5	0	0.78	0.45	1.44
P20	P21	250.5	17.42	1	0.85	0	0.48	1.45
P21	P22	7.9	14.7	1	1.7	0	0.66	1.41
P22	P23	6	11.57	-0.5	0.12	1.3	0.8	1.04
P23	P24	349.5	12.77	0	0.09	1.15	0.66	1.08
P24	P25	330	17.14	-4	0.14	1.1	1.25	0.67
P25	P26	7	2.82	11.5	0.61	0	0.05	1.69
P26	P27	1.5	11.28	-1.5	0	1.06	0.65	1.08
P27	P28	6	18.18	-1.5	0.9	0.1	0.31	1.34
P28	PF (Tramo 1)	2.5	12.65	-0.29	1.05	0.96	0.67	1.3

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla 3.2 Calculo de coordenadas para la graficación en AutoCAD

MINERANDINA BOCAMINA TRAMO 1							
DISTANCIA HORIZONTAL	CALCULADO			ACUMULADO			DIBUJO
	X	Y	Z	X	Y	Z	
0	0	0	0	645198.414	9660629.733	848	645198.414,9660629.733,848.000
21.743	-7.85	-20.28	0.57	645190.56	9660609.46	848.57	645190.563,9660609.457,848.569
51.892	-11.45	-50.61	0.91	645179.11	9660558.84	849.48	645179.111,9660558.845,849.475
23.702	-3.91	-23.38	0.62	645175.20	9660535.47	850.10	645175.199,9660535.468,850.096
11.840	-3.76	-11.23	0.00	645171.44	9660524.24	850.10	645171.442,9660524.240,850.096
6.240	-0.22	-6.24	-0.05	645171.22	9660518.00	850.04	645171.224,9660518.004,850.041
7.299	-2.19	-6.96	-0.13	645169.03	9660511.04	849.91	645169.029,9660511.043,849.914
10.460	-1.09	-10.40	0.92	645167.94	9660500.64	850.83	645167.936,9660500.640,850.829
12.316	-3.50	-11.81	0.32	645164.44	9660488.83	851.15	645164.438,9660488.831,851.152
19.999	-2.26	-19.87	-0.17	645162.17	9660468.96	850.98	645162.174,9660468.961,850.977
22.200	0.77	-22.19	0.00	645162.95	9660446.77	850.98	645162.949,9660446.774,850.977
6.957	-0.85	-6.91	1.42	645162.10	9660439.87	852.39	645162.101,9660439.869,852.393
30.470	-5.29	-30.01	0.00	645156.81	9660409.86	852.39	645156.810,9660409.862,852.393
17.639	-4.27	-17.12	-0.15	645152.54	9660392.75	852.24	645152.543,9660392.746,852.239
16.549	-2.73	-16.32	0.14	645149.81	9660376.42	852.38	645149.811,9660376.424,852.383
8.554	-0.97	-8.50	0.52	645148.84	9660367.92	852.91	645148.843,9660367.925,852.906
17.199	4.74	16.53	0.15	645149.811	9660376.424	852.383	645149.811,9660376.424,852.383
11.558	1.81	11.42	-0.71	645148.84	9660367.93	852.91	645148.843,9660367.925,852.906
14.950	3.36	14.57	0.00	645144.10	9660351.39	852.76	645144.103,9660351.392,852.756
3.370	-0.73	3.29	-0.03	645142.30	9660339.98	853.46	645142.295,9660339.976,853.463
9.757	-8.81	-4.20	0.26	645138.93	9660325.41	853.46	645138.932,9660325.409,853.463
17.417	-16.42	-5.81	0.30	645139.66	9660321.77	852.24	645139.663,9660321.771,852.243
14.698	2.02	14.56	0.26	645139.66	9660321.77	852.24	645139.663,9660321.771,852.243
11.570	1.21	11.51	-0.10	645137.64	9660307.21	851.99	645137.643,9660307.213,851.986
12.770	-2.33	12.56	0.00	645136.43	9660295.71	852.09	645136.433,9660295.707,852.087
17.098	-8.55	14.81	-1.20	645138.76	9660283.15	852.09	645138.760,9660283.151,852.087
2.763	0.34	2.74	0.56	645147.31	9660268.34	853.28	645147.310,9660268.343,853.283
11.276	0.30	11.27	-0.30	645146.97	9660265.60	852.72	645146.973,9660265.600,852.721
18.174	1.90	18.07	-0.48	645146.68	9660254.33	853.02	645146.678,9660254.328,853.016
12.650	0.55	12.64	-0.06	645144.778	9660236.254	853.492	645144.778,9660236.254,853.492

Fuente: Elaboración propia,201

Ya graficado el plano en AutoCAD, realizamos de la misma manera uno donde podemos identificar de manera exacta los sectores en donde se ubican y se van a proyectar las vetas, que previamente fueron reconocidas y en las cuales se determinó su rumbo y buzamiento respectivamente y se puede observar representado en cada uno de las vetas (ver figura 3.2)

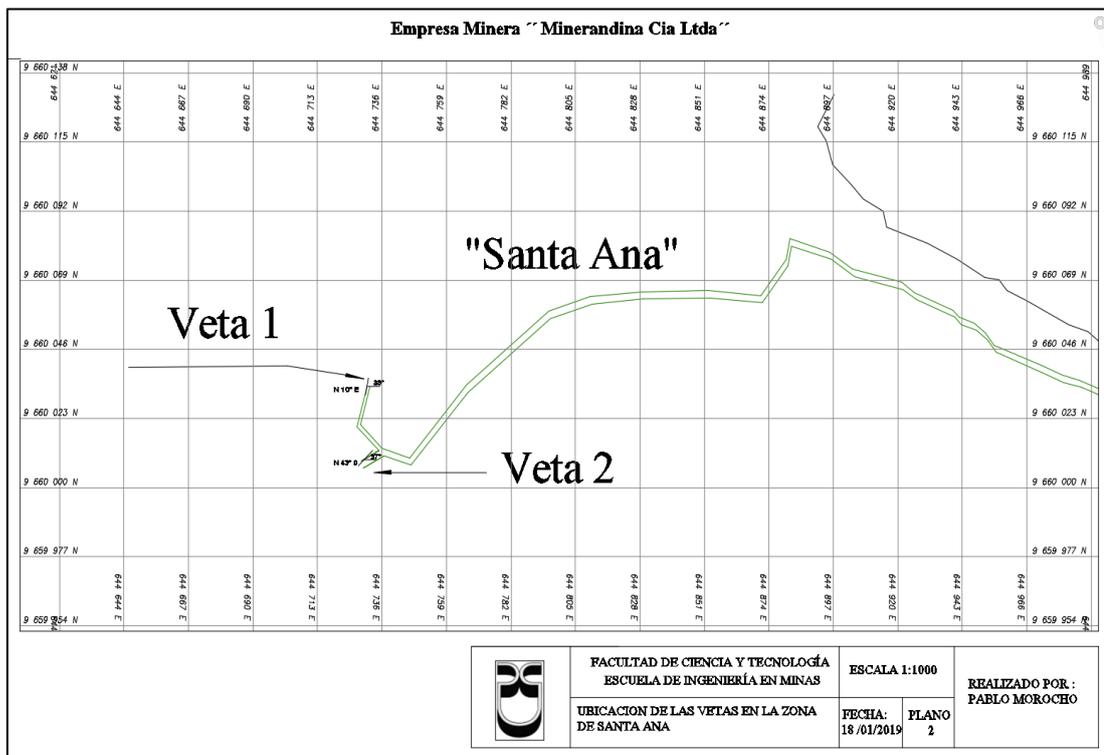


Figura 3.2 Ubicación de las vetas "María" y "Paola" en el sector norte y santa Ana

Fuente: Elaboración propia, 2018

Trasladamos el plano del levantamiento subterráneo elaborado en AutoCAD al software RecMin, en el cual se diseñó las galerías con el dimensionamiento respectivo, gracias a las medidas tomadas en el interior de la mina. De esta manera, la zona norte y el sector de Santa Ana se modelaron de forma tridimensional teniendo una mejor perspectiva de la mina con sus diferentes vistas y las respectivas cotas (ver figura 3.3 y 3.4)

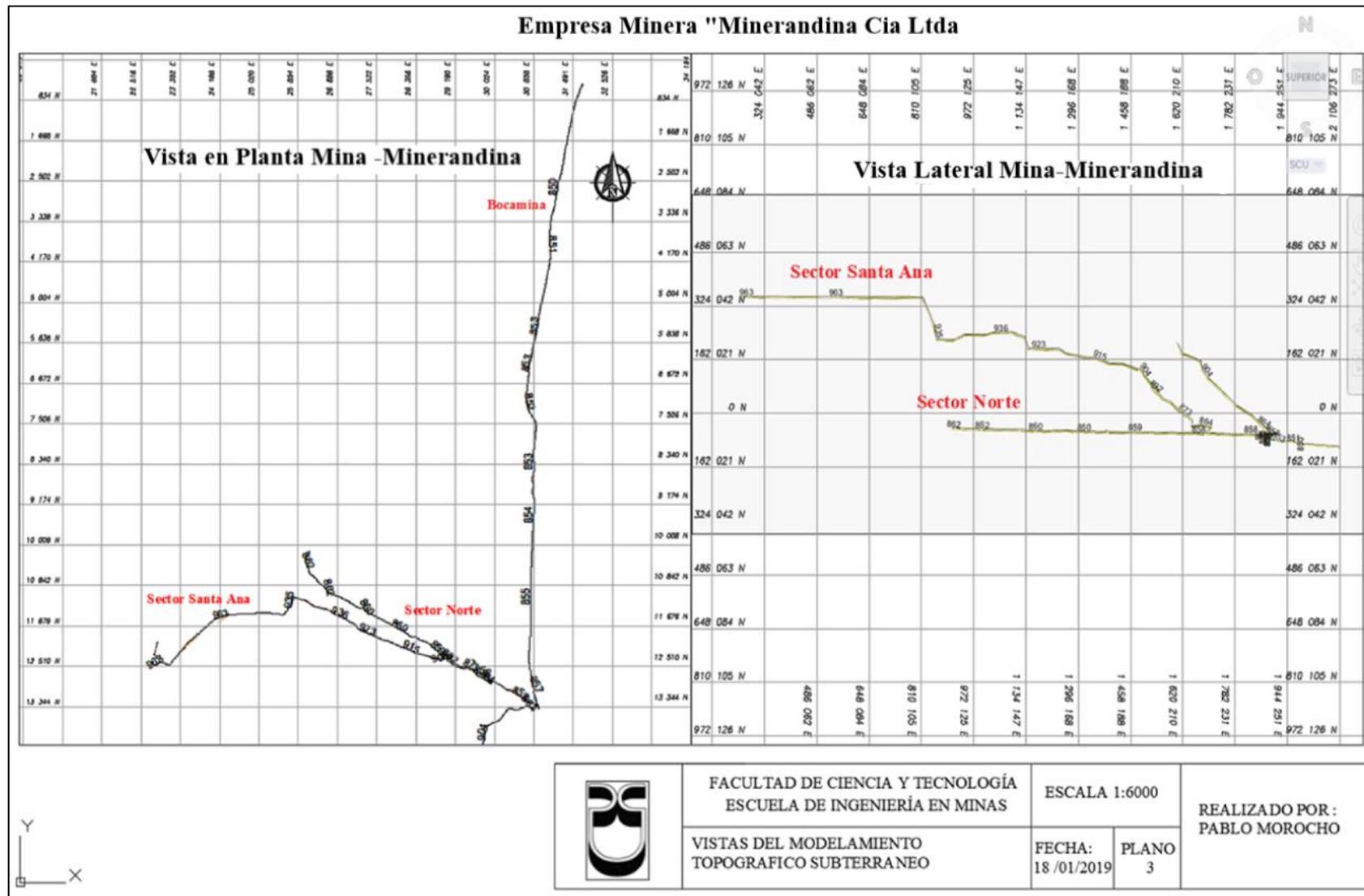


Figura 3.3 Vista en planta y lateral del levantamiento topográfico subterráneo

Fuente: Elaboración propia, 2018

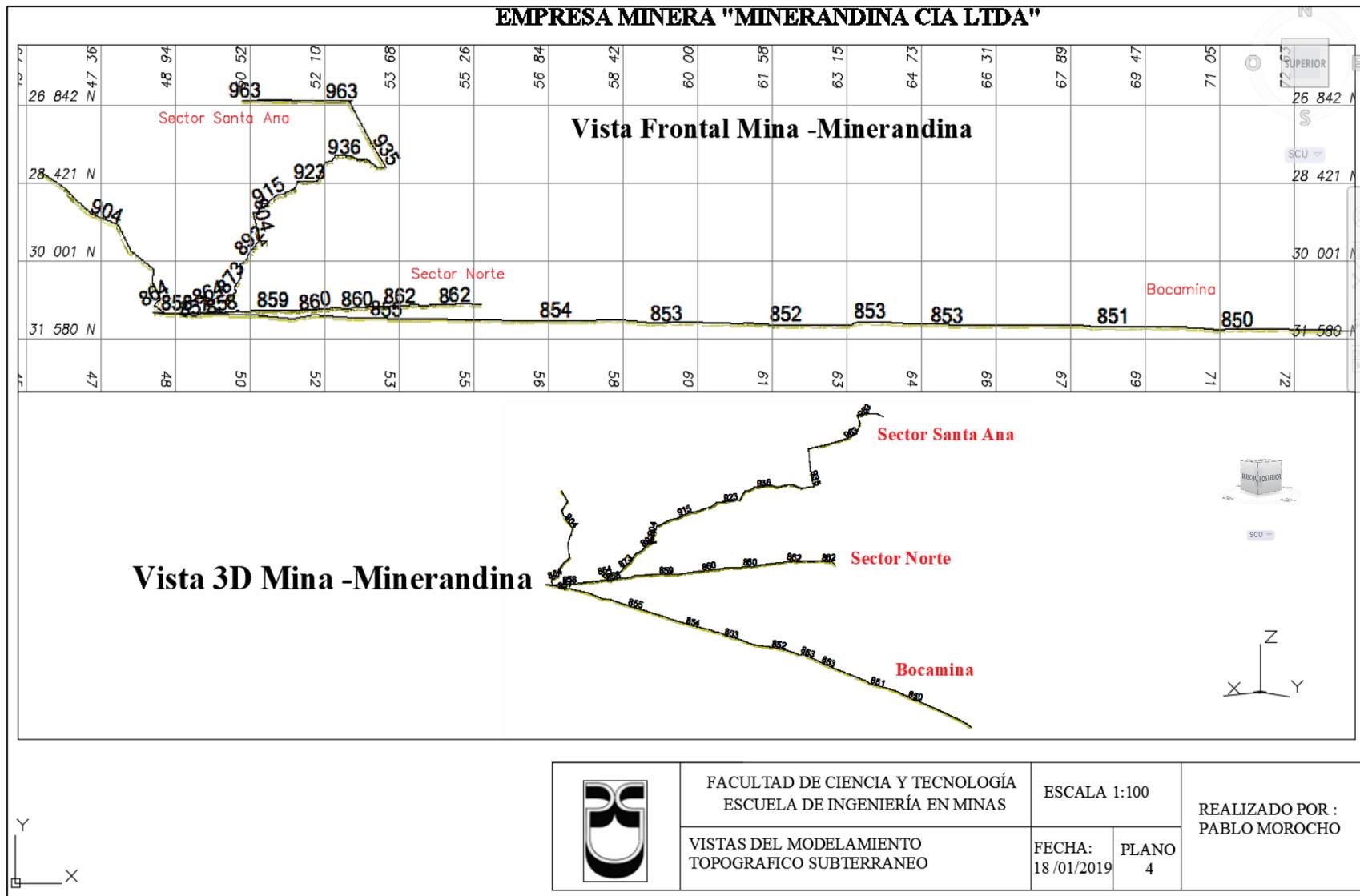


Figura 3.4 Vista frontal y tridimensional del levantamiento topográfico subterráneo

Fuente: Elaboración propia, 2018

Elaboradas las galerías de la mina; en el mismo software Recmin procedemos a graficar las vetas en la cota concerniente, y con su respectivo rumbo y buzamiento, el cual se lo determino mediante la brújula (ver tabla 3.3)

Tabla 3.3 Rumbo y Buzamiento de las vetas

VETAS	RUMBO	BUZAMIENTO
Paola	N 10° E	38°
María	N 43° O	37°

Fuente: Elaboración Propia,2018

Así partiendo de esta información que se le da al software, se genera el modelo tridimensional de cada veta. (ver figura 3.5 y 3.6)

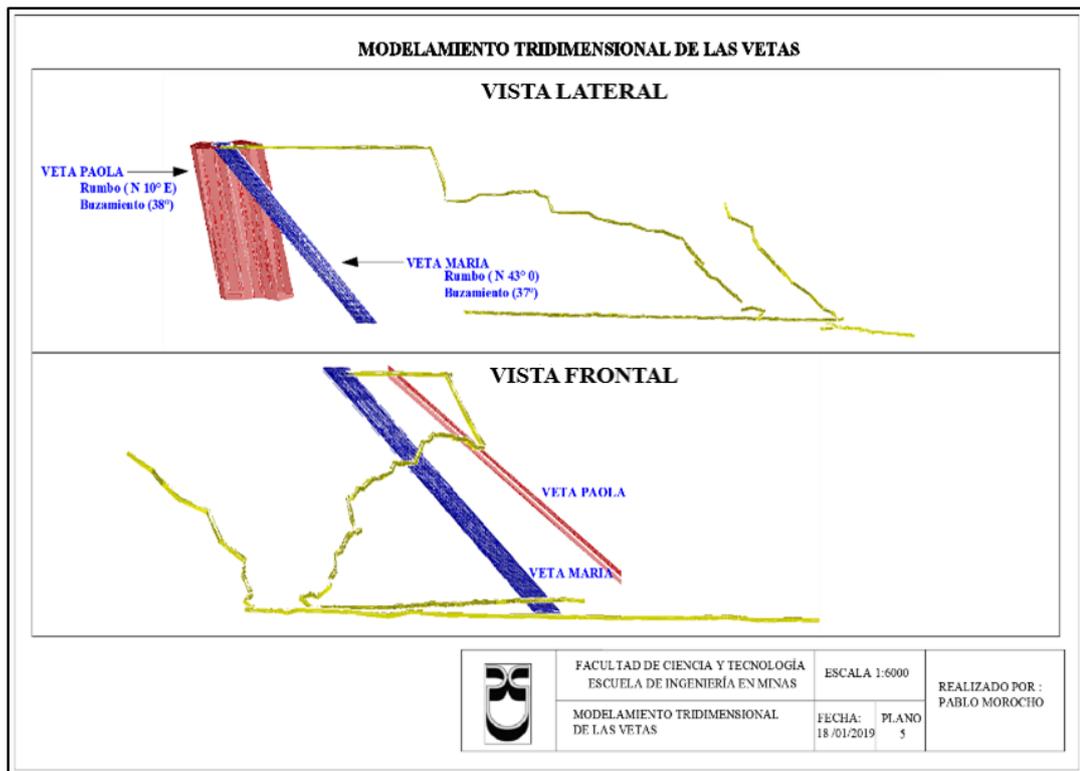


Figura 3.5 Modelamiento digital de vetas

Fuente: Elaboración propia, 2018

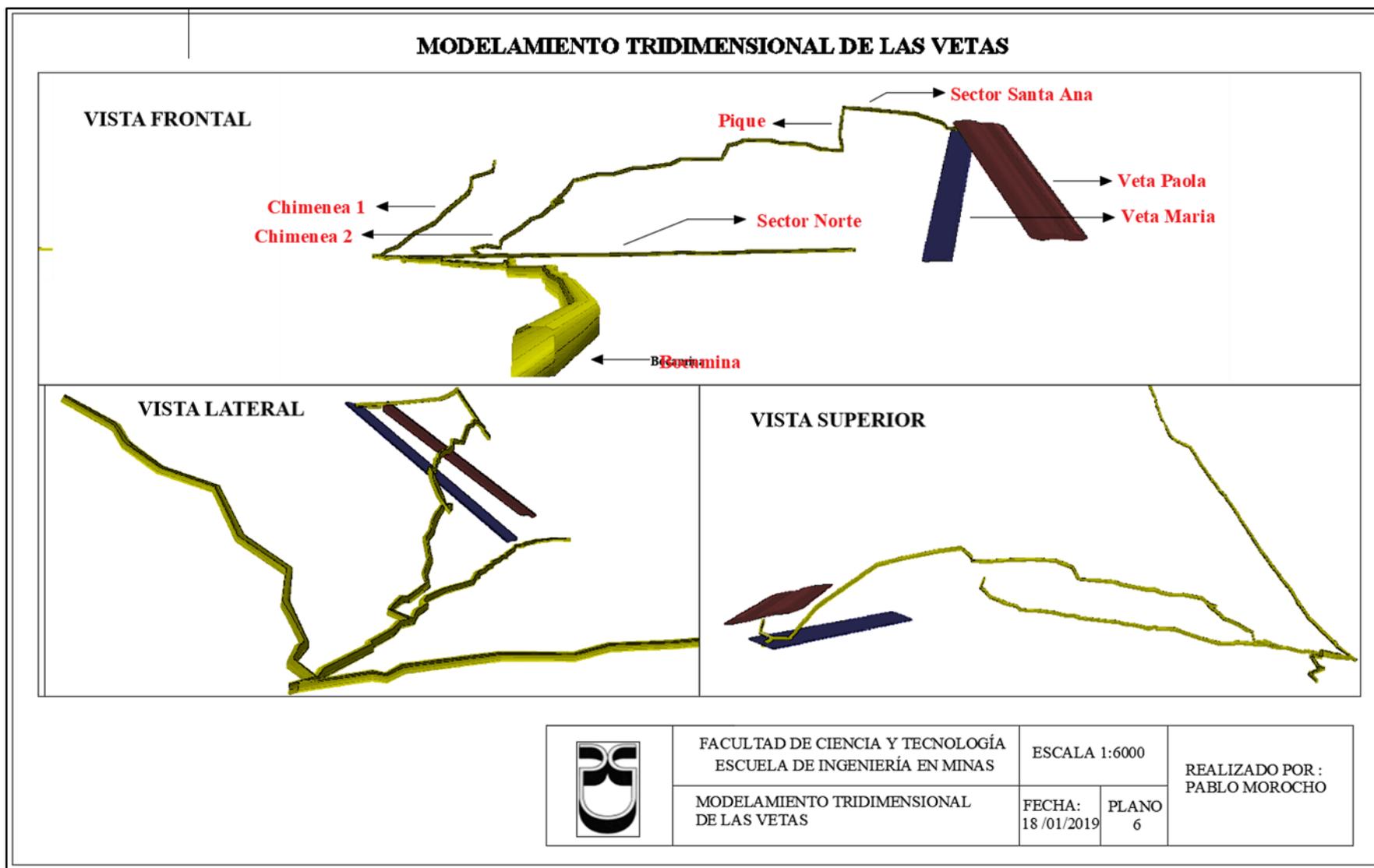


Figura 3.6 Modelo 3D de galerías y vetas

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.2 Método de explotación

Para el modelo 3D del diseño de explotación, se partió del modelamiento tanto de las galerías como de las vetas ya proyectadas en el software RecMin, y tomando en cuenta únicamente la geometría y el buzamiento de las vetas, optando por un método de explotación de corte y relleno ascendente.

Se procedió al modelamiento del método, de forma en que se explique cómo se realizaría la explotación en las vetas proyectadas y exponiendo principalmente los principios en que se basa el corte y relleno ascendente.

De esta manera se procede a cortar el mineral, y del mismo modo se realiza una galería principal de transporte a lo largo de la base de la veta y una galería superior ambas conectadas entre ellas por dos chimeneas, que nos permiten así el acceso del material, personal y ventilación.

A partir de donde se inicia la rotura del mineral en sentido ascendente hasta llegar al nivel superior se deja un puente de 3 metros y se realiza el subnivel hasta comunicar las 2 chimeneas de doble compartimiento y en la parte central se construye una chimenea de ventilación y se la utilizara de igual forma para evacuar el relleno.

En este método de explotación el mineral es cortado en tajadas horizontales, comenzando de la parte baja y avanzando hacia arriba. El mineral roto es cargado extraído completamente del tajo. Cuando se ha excavado una tajada completa, el vacío dejado se rellena con material externo que permite sostener las paredes y sirve como piso de trabajo para el arranque y extracción de la tajada siguiente. Como relleno, se utiliza el material estéril proveniente de los desarrollos subterráneos o del a superficie.

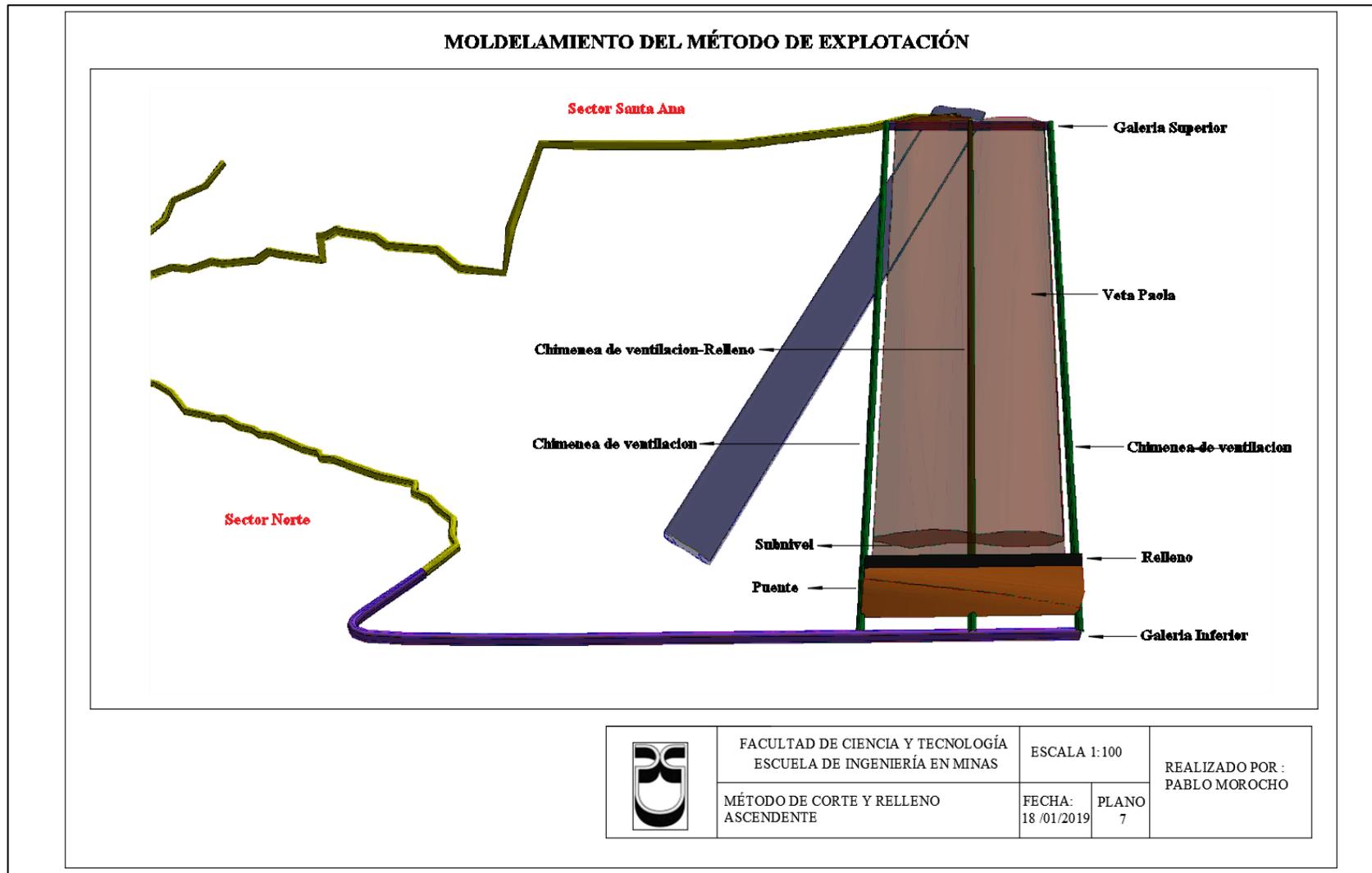


Figura 3.7 Modelo 3D de Corte y relleno ascendente

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.3 Análisis de resultados

La interpretación y análisis de resultados se basan únicamente en el modelamiento tridimensional de la mina y las vetas, así como también el método de explotación sugerido.

3.3.1 Modelo tridimensional de la veta

A partir del levantamiento con cinta y brújula y el mapeo geológico a detalle, se pudo determinar el rumbo y buzamiento de las vetas; y por ello su forma y dimensiones mediante el software RecMin y AutoCAD, los cuales nos facilitaron una mejor interpretación y visualización de las vetas, permitiéndonos así recomendar un método de explotación adecuado.

De esta manera al ser proyectadas las vetas de la forma correcta, se puede realizar el re direccionamiento de la explotación en la zona norte de Minerandina Cía. Ltda., y poder establecer datos exactos sobre el avance que se debe realizar para interceptar los cuerpos de interés.

3.3.2 Modelo tridimensional del método de explotación

Una correcta elección del sistema de explotación asegura una alta efectividad en la extracción del mineral metálico, por lo que, para elegir un método de explotación adecuado, se consideró básicamente la orientación de las vetas, debido a las diferentes limitantes en el interior de la mina; sin embargo, para obtener un aprovechamiento racional del yacimiento, se deberían tomar en cuenta ciertos parámetros que influyen en la elección del sistema de explotación, tales como: condiciones geológicas, factores topográficos, hidrográficos y climáticos de la zona, propiedades geomecánicas de las rocas encajantes, costos de extracción, maquinaria y equipos.

Por ello el método de explotación se lo eligió en base a las ventajas y las condiciones de aplicabilidad en las que se basa el corte y relleno ascendente. Se tomó en cuenta principalmente que este método se puede aplicar en yacimientos con buzamientos

pronunciados mayores a 35 grados, en yacimiento tipo vetas, con mineral de buena ley y con disponibilidad del material de relleno detrítico.

Una vez determinado los datos y las ventajas de recuperación, siendo un método seguro y altamente selectivo, permitiendo poder trabajar por secciones según la ley existente, se llevó a cabo el modelamiento tridimensional.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

En base a los resultados obtenidos y considerando previamente los objetivos planteados en el presente proyecto se puede concluir lo siguiente:

- Gracias al uso adecuado de la brújula y la cinta, se obtuvieron los datos que nos permitieron cumplir uno de los objetivos planteados, el cual consistía en efectuar el levantamiento topográfico subterráneo de la zona norte y Santa Ana y, a partir de la realización de un plano tridimensional de la mina, ubicar de manera correcta las vetas y proyectarlas con su debido rumbo y buzamiento.
- En base a la información obtenida del análisis estructural de las vetas, se determinó mediante el software Recmin, que, para interceptar los cuerpos de interés es necesario realizar una galería en la zona norte de aproximadamente 212 metros de longitud, la cual debe ser reajustada en dirección noreste a nivel de la elevación 863 m.s.n.m.
- Se sugirió el método de explotación de corte y relleno ascendente, ya que presenta una buena aplicabilidad en el caso de vetas con pronunciamientos mayores a 35 grados. Dado que las vetas presentes en este proyecto tienen buzamientos de 37 y 38 grados respectivamente, se sugirió la explotación de las mismas mediante este sistema por las ventajas que presenta en el momento de las labores de preparación de galerías, chimeneas y subniveles, necesarios para la extracción del mineral y por la principal razón que la roca de caja en la mina es competente.

- Fue necesaria la proyección de las vetas de la zona norte y Santa Ana, para así orientar el avance de la explotación en la dirección determinada por el software

Recmin y así se pueda realizar una correcta extracción del mineral en vista de que las labores previas se estaban realizando erróneamente.

Recomendaciones:

Al analizar los resultados obtenidos y concluyendo que la proyección de las vetas fue realizada con éxito para el adecuado re direccionamiento de las labores de explotación en la zona norte, se recomienda lo siguiente:

- La Empresa Minerandina Cia Ltda, tenga en cuenta el presente proyecto ya que sería de gran ayuda para la interpretación y visualización de las vetas de manera tridimensional facilitando así la extracción del mineral de una manera adecuada mediante el método de explotación sugerido.
- Efectuar la extracción del mineral de forma sincronizada con el avance de explotación, debido a que la información obtenida por análisis estructural de las vetas debe ser actualizada conforme se vayan realizando las labores mineras mediante el seguimiento solo a las estructuras que estén dentro del campo estructural ya definido en el yacimiento de la concesión y enfatizando las zonas de falla, rasgos estructurales que son objeto de discusión, ya que controlan y definen la evolución estructural de las vetas analizadas .
- Optar por una evacuación por gravedad aprovechando la caída del material; por consecuencia se recomienda que sea de la pendiente dada al tajo y luego hacia el lugar donde deposita y extrae el mineral, este método es muy simple y es bastante empleado en minas pequeñas.

- Después de las labores de preparación empezar con la rotura del tajo a partir del subnivel, sacando el corte en la parte central del tajo con la finalidad de mantener el ciclo de perforación, voladura, ventilación, prevenir la caída de rocas, limpieza y relleno.
- Ejercer un exhaustivo control sobre los equipos de protección personal de manera que se pueda prevenir cualquier tipo de accidentes dentro de la mina.

BIBLIOGRAFÍA

Frederic H. Lahee .1975. Geología Practica (4ta edición). Ediciones Omega. Barcelona, España.

Miquel Estruch S. & Ana Tapia G. (2003). Topografía subterránea para minería y obras. Ediciones UPC. Barcelona, España.

López V.2017.Mapeo geotécnico para diseñar fortificación a aplicarse en la falla los ratones ubicada en la mina sominur , sector la cascada, nivel principal , localizada en el cantón camilo de ponce enriquez provincia del Azuay .Tesis de Ingeniero en Minas. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

Boada J.2017.Caracterizacion geológica y cálculo de reservas de la veta jane , en la mina Golden comunitaria de la parroquia huertas , canton zaruma .Tesis de Ingeniero en Minas . Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

Reyes C.2005. Curso de Métodos de explotación (en línea), <https://www.academia.edu/9372111/Libro_Metodos_de_explotacion>.

Castillo B.2015. Método de Explotación Subterránea: Sublevel Stopping (en línea), <<https://www.maquinariaspesadas.org/blog/6404-curso-metodos-explotacion-mineria-subterranea-diseno-costos-aplicacion>>.

Ministerio de Energía Y Minas. 2000. Evaluación de los Distritos Mineros del Ecuador, Potencial minero metálico y guías de exploración Vol.1. Prodeminca. Quito, Ecuador.

Armando G.2013. Calculo de Reservas de la veta Paraíso – Distrito Ponce Enríquez. Tesis de Ingeniero en Minas. Escuela Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Borisov S. , Klokov M & Gornovoi B . (1976). Labores Mineras. Editorial Mir. Moscú, Rusia.

Charles L. 1847. Elementos de Geología. Imprenta de Don Antonio Yenes. Madrid, España.

Belousov V.1979. Geología Estructural (2da edición). Editorial Mir. Moscú, Rusia.

Mamani R. 2015. Análisis Estructural del yacimiento de Arequipa sur del Perú (en línea), <<https://docplayer.es/50376655-Analisis-estructural-del-yacimiento-miski-region-de-arequipa-sur-del-peru-minera-miski-815-ruben-mamani.html>>.

Mayta J.2009.Explotacion de Yacimientos Auríferos de Vetas Angostas en la Minera Aurífera Eugenia S.A. Tesis de Ingeniero en Minas. Universidad Nacional de San Antonio del Cusco. Cusco, Perú.