



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Metodología para el
reacondicionamiento de una
veta para su explotación por
el método de tumbe por
subniveles**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero de Minas y Metalurgista

P R E S E N T A

Jorge Alberto Flores Martínez

ASESOR DE INFORME

Mtro. Gabriel Ramírez Figueroa



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

A mi esposa Verónica Escobar Ramírez

Gracias por todos estos años en que incondicionalmente me has apoyado. Eres mi compañera que me ha ayudado a forjar mis metas hombro a hombro, e incondicionalmente siempre tienes la fuerza para darme aliento y no perder el objetivo. Te amo esposa, porque eres esa luz de esperanza cuando todo resulta incierto.

El aprender siempre del ser amado y observar la rectitud con la que esta las realiza. Sin importar el rol que estés desempeñando esposa, amiga, madre o profesora.

Siempre con tu gran disposición gracias, Verónica.

A mi hija Evelin Citlali Flores Escobar

Este informe te lo dedico a ti amada hija, es bueno saber que los logros se van haciendo como un cuentagotas, que la constancia y el esfuerzo que día con día se realiza al final se cristaliza en el objetivo deseado.

Desde que naciste eres la estrella que ha guiado mi camino, has cambiado el rumbo de mi vida para ser tu padre. Hija mía recuerda siempre que la formación profesional es la clave para seguir con los principios de un buen ciudadano comprometido con su nación.

No importa la lentitud con la que avances, siempre y cuando no te detengas, si te rindes cuando las cosas se empiezan a poner difíciles, nunca lograrás nada que valga la pena. Persevera y lucha porque tus sueños se hagan realidad.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	2
2.- ANTECEDENTES	3
2.1.- Aspectos generales	3
2.2.- Ubicación	4
2.3.- Geología local.....	4
2.4.- Diagnóstico de la situación actual.....	5
2.5.- Descripción y detalle de las obras	5
3.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	8
4.- METODOLOGÍA UTILIZADA	13
4.1.- Análisis del método de explotación	13
4.2.- Obras de preparación y producción	16
4.3.- Secuencia del ciclo de minado y producción	18
5.- RESULTADOS	26
5.1.- Programación de las actividades de preparación	26
5.2.- Ejecución de las actividades de preparación	27
5.3.- Programación de las actividades de producción.....	36
5.4.- Ejecución de las actividades de producción.....	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	47

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación del estado de Querétaro, (SGM,2017)	4
Figura 2. Sección longitudinal NW-SE, de la Rampa general Rpa-2200	5
Figura 3. Rampa con cambio de dirección y retroceso (“switch back”)	6
Figura 4. Vista en planta de la frente principal de extracción (debajo del B-2200).....	6
Figura 5. Sección longitudinal (A-A`) NW-SE	7
Figura 6. Sección longitudinal NW-SE	8
Figura 7. Zonas identificadas con bordes por rebajar en Rpa-2200	10
Figura 8. Descripción de frentes y rampas, antes de su preparación.....	11
Figura 9. Proyecto de subniveles y rampas de explotación	13
Figura 10. Simba S7D Atlas Copco	16
Figura 11. Proyecto para la zona de extracción	17
Figura 12. Especificaciones y diseño de plantilla de barrenación	17
Figura 13. Barrenación del subnivel	18
Figura 14. Ciclo de minado	18
Figura 15. Cargado de barrenos con “línea de vida” en el subnivel.....	19
Figura 16. Ventilación en la zona de extracción y N-2200.....	19
Figura 17. Amacice de subnivel con “línea de vida”	20
Figura 18. Extracción de mineral y acarreo.....	20
Figura 19. Diagrama de ventilación al inicio de la preparación del B-2200	22
Figura 20. Diagrama de ventilación durante la preparación del SN-1 y SN-2	22
Figura 21. Diagrama de ventilación en la preparación del SN-2 y SN-3	23
Figura 22. Diagrama de ventilación del SN-1 y Rpa-2200.....	23
Figura 23. Diagrama de ventilación del SN-1, SN-2 y Rpa-2200	24
Figura 24. Diagrama de ventilación del SN-2 y Rpa-2200.....	24
Figura 25. Diagrama de ventilación para el SN-3 y SN-4	24
Figura 26. Diagrama de actividades de Gantt – Etapa de preparación.....	26
Figura 27. Proyecto para zona de extracción	27
Figura 28. Habilitación de rampa general 2200.....	28
Figura 29. Descripción de turnos requeridos para barrenación de la rampa.....	29
Figura 30. Preparación del SN-1 de 90 metros de longitud.....	30
Figura 31. Desborde en retirada de la frente 01	30
Figura 32. Descabece de la frente 01	31
Figura 33. Segundo desborde en retirada de la frente 01	32
Figura 34. Preparación del SN-2 de 90 metros de longitud.....	33
Figura 35. Proyección en planta del SN-3 inclinado entre las elevaciones 2270 y 2280 ...	34
Figura 36. Proyección en planta del SN-4 inclinado entre las elevaciones 2285 y 2295 ...	35
Figura 37. Diseño de c/p ranura.....	36
Figura 38. Diagrama de producción de Gantt -- Etapa de producción	38
Figura 39. Cargador frontal de 3.5 yardas.....	42
Figura 40. Camión de bajo perfil capacidad 20 t.....	43

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Cálculo de turnos requeridos para el cuele de la frente de extracción	48
Tabla 2. Cálculo de turnos requeridos para el cuele de cruceros de extracción.....	48
Tabla 3. Cálculo de turnos requeridos para la habilitación de la rampa general	49
Tabla 4. Cálculo de turnos requeridos para el rezagado de la rampa general.....	49
Tabla 5. Cálculo de turnos requeridos para el primer desborde de la frente 01	50
Tabla 6. Cálculo de turnos requeridos para descabece y desborde de la frente 01	51
Tabla 7. Cálculo de turnos requeridos para el rezagado de la frente 01.....	51
Tabla 8. Cálculo de turnos requeridos para el desborde final de la frente 01	52
Tabla 9. Turnos requeridos para el rezagado final de la frente 01.....	52

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama de actividades de Gantt - Etapa de preparación	59
Gráfico 2. Diagrama de actividades de Gantt - Etapa de producción.....	60

RESUMEN

Este informe tiene la finalidad de mostrar las diferentes actividades que se realizan en el área de operación de una mina, cuando se retoman aquellas obras que previa y antiguamente fueron preparadas para llevar a cabo su explotación por el método de tumba sobre carga.

Derivado de los precios de los metales y las leyes de los yacimientos antiguos en sus partes no explotadas, la industria minera enfrenta nuevos retos de eficiencia y productividad durante el reacondicionamiento y preparación de las obras.

La mina está ubicada en el estado de Querétaro y la mineralización se presenta en vetas tabulares con contenidos de plata, plomo, cobre y zinc mismas que, con los métodos modernos, resultan atractivos para su explotación.

En el documento se presentan nueve factores que impedían llevar a cabo la explotación inmediata del bloque 2200 (B-2200). Dichos factores representaron un reto para demostrar las capacidades académicas y profesionales adquiridas.

1. La necesidad de establecer un nuevo método de explotación. Se propuso un método de tumba por subniveles.
2. La habilitación de obras como la rampa general, que fue desarrollada de manera irregular sin considerar los estándares característicos de este tipo de obras.
3. La preparación de una zona de captación para la extracción del mineral.
4. La preparación de las frentes y rampas secundarias para considerarlas como subniveles y rampas de explotación.
5. El suministro de corriente eléctrica en los diferentes subniveles de explotación.
6. La implementación de un sistema de ventilación que permitiera llevar un ciclo de explotación constante.
7. La construcción de una pileta y cárcamo cerca del B-2200 para recircular el agua por todo el bloque.
8. La reubicación de comedores, libres de condiciones no apropiadas como ruidos, polvos y gases.
9. La distribución sistemática y eficiente de las zonas de higiene a lo largo del nivel 2200.

El trabajo escrito aporta las conclusiones y mejoras que se pueden realizar para llevar a cabo una explotación eficiente, considerando siempre los estándares de producción, seguridad y calidad.

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Este informe plantea una solución para la explotación del bloque 2200 (B-2200) de una mina subterránea en el estado de Querétaro por medio del método de tumba por subniveles, aplicando algunas variantes y acondicionando las obras que se debían retomar para su acceso.

Se tuvo que llevar a cabo una evaluación general de las condiciones en las que se encontraban las diferentes áreas que fueron preparadas en años anteriores, con la finalidad de lograr su pronta habilitación para la explotación. En este caso, se trató de obras de preparación, desarrollo, infraestructura, servicios generales y ventilación, que resultaban de gran importancia para atender el proyecto de acuerdo con un esquema de prioridades.

A continuación, se mencionan las distintas causas que limitaban el comienzo de la operación del bloque, ya sea porque las áreas no existían o porque faltaba terminar de habilitar:

- Necesidad de preparar la zona de captación.
- Necesidad de preparar los subniveles.
- Reacondicionar la rampa general.
- Reacondicionar los servicios generales.
- Desarrollar obras de infraestructura.
- Diseñar e implementar el sistema de ventilación.

Toda la información recabada resultó indispensable para la selección del equipo a utilizar, así como para establecer el número de personas que se requirieron en la operación del bloque. De igual forma, resultaba necesario determinar en qué tiempo se dispondría del mineral de la zona y su aportación al tonelaje total requerido.

El departamento de "Operación Mina" tuvo un papel relevante, en donde el rol desempeñado fue como supervisor de mina, cuya principal responsabilidad consistió en ejecutar el plan de preparación del B-2200 así como el cumplimiento de los estándares de calidad de los trabajos que se realizaron día con día. Este departamento estableció como uno de sus objetivos, el dar cumplimiento al programa de planeación del proyecto, garantizando la producción del tonelaje requerido de esta zona de una manera segura y eficiente.

Finalmente, el resultado de los trabajos realizados representó una producción de 1,000 toneladas diarias con leyes promedio de 87 g/t de Ag, 1.13 % de Pb, 0.78 % de Cu y 3.25 % de Zn, en cuatro bancos de producción y la posibilidad de acceder a nuevas zonas de trabajo, como el bloque 2100 (B-2100) mismo que, previo acondicionamiento, puede aportar mayores tonelajes de mineral a la producción diaria requerida.

2.- ANTECEDENTES

2.1.- Aspectos generales

En el estado de Querétaro se tienen evidencias de actividad minera en la Sierra Gorda desde épocas antiguas. Según estudios arqueológicos, se realizaron explotaciones a cielo abierto desde el siglo XIII antes de nuestra era (a. n. e.), y subterráneas alrededor del siglo X a. n. e., para producir cinabrio (HgS), que utilizaban para rituales (Langescheidt, 1988).

Los pueblos indígenas también conocían el ópalo al que denominaban Vitzitziltécpatl o “piedras colibrí” (Sinkankas, 1959), utilizado para elaborar artículos ornamentales y ceremoniales entre los años 1200 y 1519 de nuestra era (Webster, 1975); para la explotación empleaban herramientas rudimentarias como martillos de roca, morteros, puntas de hueso, cuñas de madera, etc., aplicando métodos de explotación similares a los hoy conocidos como “rebajes abiertos” y “corte y relleno”.

Ya en la época de la Colonia, según la Cédula Real de 1557, se descubrieron yacimientos de plata y plomo que condujeron a la fundación de pueblos mineros como San Pedro Escanela, El Doctor, San José de Amoles (Pinal de Amoles), Río Blanco, Plazuela, San Joaquín y Maconí.

En la población de El Doctor, la compañía de Bienes y Empresas, S.A. contaba con una pequeña fundición conocida como la fundición de El Doctor (Lomelín J. et al, 1988).

En 1870, en la hacienda La Esperanza, municipio de Colón, se denuncia la primera mina de ópalo llamada Santa María de Iris, propiedad de Doña Josefa Vergara.

A partir de 1880 compañías inglesas reabren los distritos mineros del Río Blanco, Pinal de Amoles, Santo Entierro, San Juan Nepomuceno y Maconí.

En la década de los sesenta del siglo XX, principia la bonanza del mercurio, colocando a Querétaro como primer productor nacional, siendo San Joaquín, Peña Miller y Pinal de Amoles los principales productores; se estima que la producción mensual fue de 4,000 frascos (140 toneladas) que en el mercado internacional se cotizaba entre 550 y 600 dólares por frasco. Entre los años de 1970 a 1974 se tiene registrada una producción de 3,712 toneladas de mercurio, (SGM,2018).

En 1970 inició la producción de mármoles en la población denominada Vizarrón.

En 1971, Industrias Peñoles, S.A. de C.V. inicia operaciones de una planta de beneficio con capacidad de 500 t/día y que llegó a duplicar su capacidad original a 1,000 t/día, gracias al descubrimiento de dos grandes cuerpos mineralizados: “La Negra” y “El Alacrán”, (Lomelín J. et al, 1988).

2.2.- Ubicación

El estado de Querétaro se ubica en el centro geográfico de la República mexicana.

Colinda al norte con San Luis Potosí, al este con Hidalgo, al sur con Michoacán y el Estado de México, y al oeste con Guanajuato, (SGM, 2018) (figura 1).

Querétaro ocupa el 27° lugar en la república con un área de 11,270 Km², lo que representa el 6% de la superficie del país, (SGM, 2018).

Por el estado cruzan tres sistemas montañosos. Al norte, la Sierra Madre Oriental (Sierra Gorda); al sur, el Eje Neovolcánico (Sierra Queretana); y al centro oeste, la Mesa del Centro, (SGM, 2018).

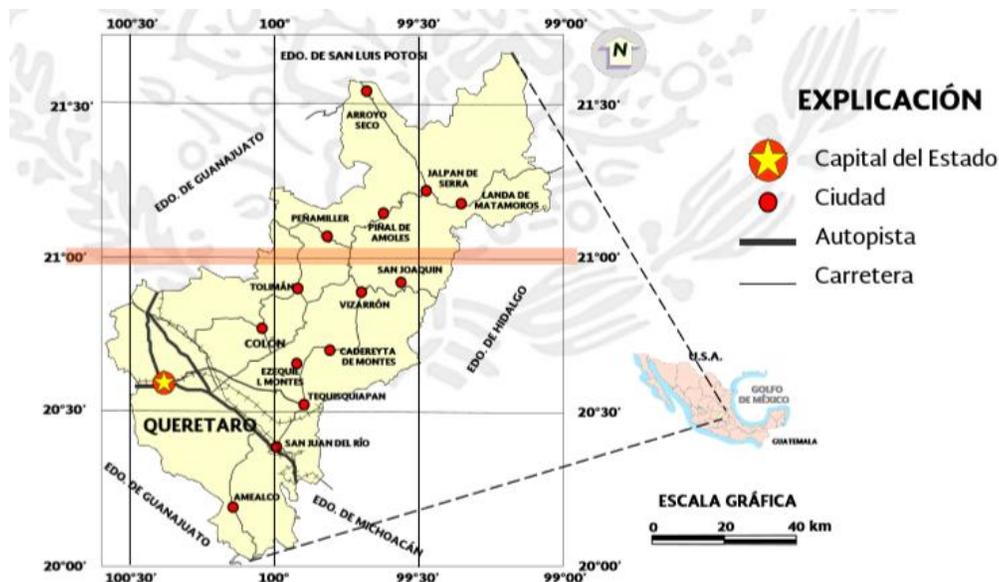


Figura 1. Plano de ubicación del estado de Querétaro, (SGM,2017)

2.3.- Geología local

Minerales Metálicos: oro, plata, plomo y zinc

La mineralización en el depósito se presenta en forma de mantos y chimeneas. Consiste en sulfuros masivos contenidos y restringidos al skarn de granate y calcita. La mineralogía de los sulfuros en secuencia paragenética es; pirita, pirrotita, arsenopirita, marmatita (zinc), calcopirita y galena (plomo). La plata está contenida en la galena en forma de hessita y en algunos casos asociada a la calcopirita, algunas zonas ricas en plata contienen abundantes cantidades de arsenopirita. En forma general la mineralización para este depósito tiene como roca encajonante al bajo a un intrusivo diorítico y al alto el skarn de granate próximo a la caliza (Souza,1986).

2.4.- Diagnóstico de la situación actual

Durante las antiguas etapas de producción, que datan del año 1986, se tiene conocimiento de que sólo se explotaron las vetas entre el nivel 2300 y 2400 que eran las de mayor ley. Este cuerpo tabular llegó a contener altos valores de plata de hasta 800 g/t (Enrique Pacheco, supervisor de mina, comunicación personal, abril de 2013).

Su producción era de alrededor de 1,000 t diarias, por lo que la explotación se hacía de manera selectiva.

El nivel 2200 (de aquí en adelante denominado N-2200) no cumplió con los estándares de ley de corte mínimo, razón suficiente para no considerar su explotación en aquél entonces. Las reservas y leyes de este bloque mineral para 1986 eran del orden de 2'000,000 toneladas con 150 g/t de Ag; 1.09% de Pb y 2.5% de Zn (Souza, 1986).

Para el propósito de este trabajo, se tuvo acceso a los muestreos realizados a lo largo del N-2200, encontrándose leyes de plata de hasta 200 g/t, con lo cual el bloque mineral se vuelve atractivo para su explotación con las leyes de corte que hoy en día se manejan.

2.5.- Descripción y detalle de las obras

Para acceder al B-2200, se cuenta con un antiguo socavón de 2.5 m x 2.5 m y 500 metros de longitud; también se puede acceder a través de la rampa general 2100 (Rpa-2100) que conecta con el N-2200. Esta Rpa-2100 resultó de gran importancia tanto en el pasado como en el proyecto actual, ya que por ella han transitado los equipos utilizados para la explotación del nivel.

El cañón general o N-2200 funcionaba como nivel de acarreo hasta las metaleras por donde se “chorreaba” el mineral hacia el nivel general (N-2000). La sección de la obra era de 3.5 m x 4 m con 300 metros de longitud horizontal y contaba con dos contrapozos generales, el c/p-01 que conecta con el N-2000 y el c/p-02 que comunica el N-2300 con el N-2200.

A partir del N-2200, inicia la Rpa-2200 ascendente que comunica con el N-2300, (figura 2) colada con una pendiente positiva del 14 % y una sección de 3 m x 3 m.

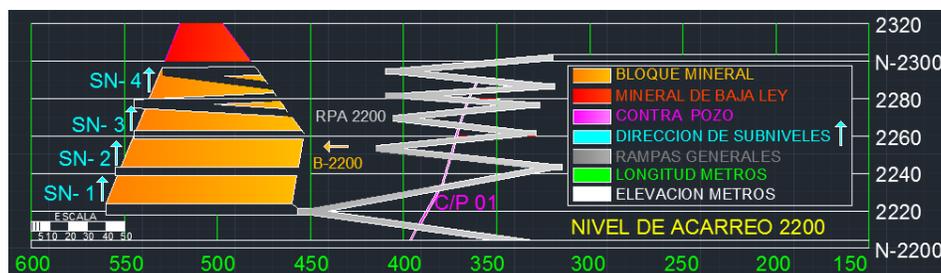


Figura 2. Sección longitudinal NW-SE, de la Rampa general Rpa-2200

Tiene la desventaja de haber sido colada bajo la modalidad conocida como “switch back”, es decir, “cambio de dirección y retroceso”. Cuenta con 10 tramos de entre 60 y 100 metros y 9 cambios de rampa dando una longitud total de 722 metros (figura 3).

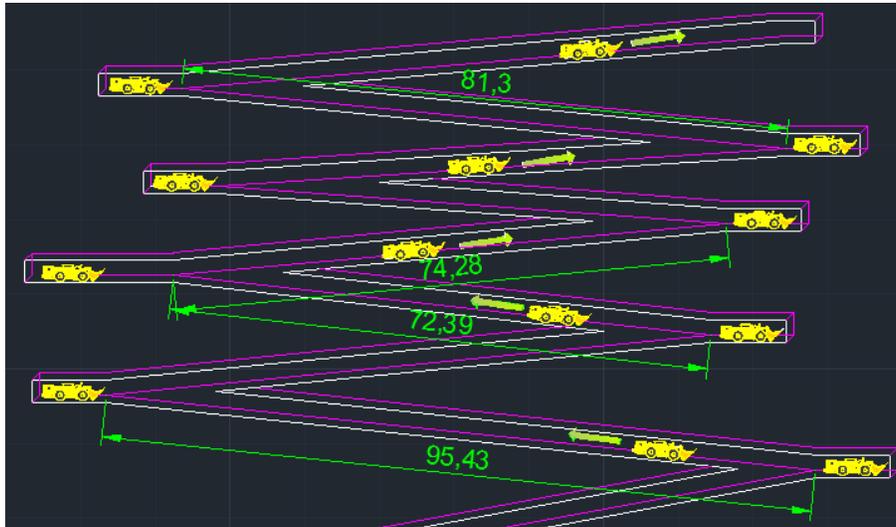


Figura 3. Rampa con cambio de dirección y retroceso (“switch back”)

En la parte baja de la zona mineralizada, la frente principal desarrollada para delimitar el bloque contaba con una sección de 6 m x 6 m, ya que al parecer se hizo un primer corte de levante de tres metros. Una suposición consiste en que el bloque pretendía ser explotado con una variación del método “Tumbe sobre carga” con máquinas de pierna neumática, que era el utilizado en aquél entonces. (figura 4).

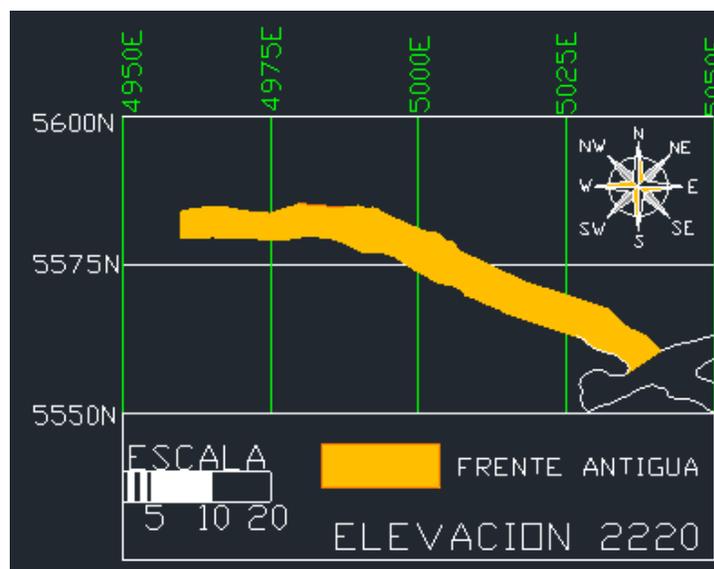


Figura 4. Vista en planta de la frente principal de extracción (debajo del B-2200)

Con respecto a las obras de desarrollo, se contaba con dos frentes de 100 metros de longitud en sección de 3 m x 3 m, coladas sobre mineral, así como también dos rampas sobre mineral con poco más de 100 metros de longitud en sección de 3 m x 3 m (figura 5).

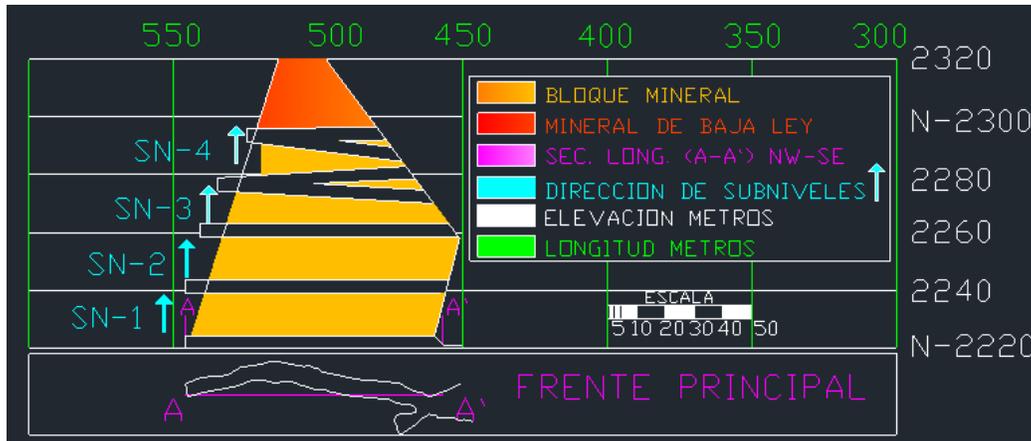


Figura 5. Sección longitudinal (A-A') NW-SE

En el N-2200 se cuenta con las oficinas de pueblo, vestidores, comedores, taller mecánico y cuartos de almacén construidos con anterioridad. Solo requerían un reacondicionamiento previo para su uso.

El polvorín más cercano se encuentra ubicado en el N-2100 y no existe ninguna dificultad para trasladar el explosivo hasta el N-2200. Considerando que es el único bloque que se va a explotar en el nivel, no resulta necesaria la construcción de otro polvorín. Además, tomando en consideración los trámites que se requieren realizar ante la Secretaría de la Defensa Nacional y las normas vigentes para su construcción, resultaría un proyecto que ocuparía un periodo largo de espera para la liberación de los permisos correspondientes.

Las letrinas o “caballos” son fijos y se localizan a lo largo del nivel, pero con una mala distribución y diseño.

La pileta ubicada en el N-2200 tiene una capacidad de 20,000 litros. A partir de esta, el agua era bombeada hasta el N-2300 para ser distribuida en dos piletas con capacidades de 10,000 litros cada una y posteriormente distribuir por gravedad hacia el N-2200. La conducción del agua se hacía por medio de tubería tipo *extrupak* de una pulgada. De igual forma, el aire comprimido se abastecía a través de una tubería con las mismas características.

La subestación eléctrica se ubica en el N-2200, y la corriente eléctrica llega hasta donde inicia la zona de extracción el N-2220. Por lo anterior, no se cuenta con suministro de energía a través de la Rpa-2200, ni en las frentes y rampas secundarias.

3.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La producción requerida para este bloque es de alrededor de 1,000 ton/día con una ley de corte mínima de 80 g/t de Ag.

A través de un levantamiento general, se elaboró una relación de todas las obras de preparación y desarrollo, así como las condiciones en las que se encuentran y si requieren de alguna modificación para comenzar su explotación (figura 6).

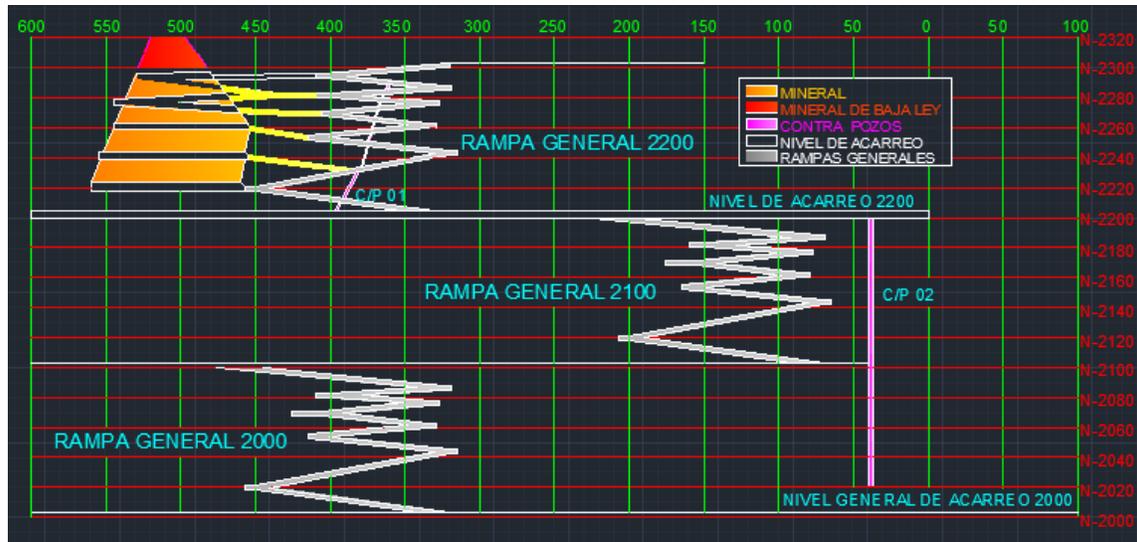


Figura 6. Sección longitudinal NW-SE

Las obras evaluadas fueron las siguientes: contrapozos (metaleros y tepetateros), niveles de acarreo, cárcamos, obras de infraestructura tales como el taller mecánico, la oficina del pueblo, el polvorín, las piletas, los comedores y las letrinas sanitarias, así como los servicios de aire, agua y energía eléctrica que se tenían disponibles y el análisis del circuito de ventilación en todo el nivel.

Una vez recabada la información correspondiente, en conjunto con el departamento de Planeación, se realizó la evaluación del proyecto, determinando su puesta en marcha y el tiempo en que este quedaría disponible, así como también la selección del método de explotación utilizado para el minado del bloque.

Tal y como anteriormente se describe, el proyecto consiste en el reacondicionamiento de las obras que ya se tienen y de la implementación del proyecto de las nuevas obras que se requieren para poner en marcha la explotación del B-2200.

Tomando en cuenta el ciclo de minado propuesto y descrito en el siguiente capítulo, existen nueve factores que impiden llevar a cabo la explotación inmediata. A continuación, se describe cada uno de ellos:

1) No se cuenta con el diseño de un método de explotación efectivo.

El sistema de explotación utilizado en el pasado era el de “tumba sobre carga”; el cual consiste en desarrollar la barrenación y detonación de cortes de manera frontal con máquina de pierna neumática. Una vez terminado de tumbar el primer corte, sólo se rezaga el excedente para utilizar el mineral como “planilla” de apoyo para continuar con el siguiente corte.

Este método tiene las siguientes desventajas: a) no se puede disponer inmediatamente del mineral; b) se puede presentar inestabilidad de la roca descubierta; c) ventilación deficiente y d) alto riesgo y sobre esfuerzo de mano de obra.

La aportación de mineral requerida para el B-2200 es de 1,000 t/día, por lo que el antiguo sistema de explotación resultaba ser ineficiente para los estándares requeridos en la actualidad.

El análisis que nos llevó a determinar lo anterior es el siguiente: se pudieron abrir cuatro frentes en cada uno de los subniveles (niveles), la sección proyectada del corte sería de 7 m x 2.5 m, con barra de 8 ft. El tonelaje aproximado con estas especificaciones es de 100 toneladas por frente de ataque, considerando cuatro frentes por nivel se proyectan 400 t/turno.

Entre los niveles 1,2 y 3 se calculó una producción diaria de 3,600 t, para este método se consideró el rezagado de un excedente de mineral del 30 % lo cual daría un total de 1,080 t.

Para el nivel 4, la longitud de la frente se redujo a 60 metros, por esta razón se coló bajo la modalidad de “switch back”; para este nivel se consideró una sola frente de ataque por la longitud de la obra, la aportación de este nivel se estimó de 100 t/turno, la producción total de 300 t/día. El rezagado del excedente del 30 % de mineral daría una aportación de 90 t.

Aplicando el anterior método de tumba sobre carga también se cumpliría la aportación de las 1,000 toneladas requeridas, pero se tendrían que hacer demasiadas adecuaciones, como el cuele de los chutes para la extracción del mineral y el diseño de cruceros de extracción en los niveles de explotación.

En cuanto al suministro de aire comprimido para 12 máquinas de pierna por turno promedio, considerando las diferentes actividades de preparación como la habilitación de la rampa general, el cuele de la zona de captación y las actividades de explotación de las diferentes frentes de ataque causarían deficiencias por pérdidas de presión.

Además de la implementación de un sistema de ventilación que contemple contrapozos robbins para la extracción del aire contaminado producto de las diferentes obras que se llevarían en el B-2200.

- 2) La rampa general fue desarrollada de manera irregular sin considerar los estándares característicos de este tipo de obras.

La principal problemática de esta obra consiste en su diseño. El sistema de “cambio de dirección y retroceso” (*switch-back*), si bien reduce inicialmente los costos del cuele, al momento de circular a través de ella, constituye un riesgo mayor al tener que manejar en reversa en un tramo sí y en otro no.

No obstante lo anterior, el acondicionamiento de esta obra resultó fuera del alcance del presupuesto del proyecto por lo cual tuvo que continuarse utilizando en las condiciones en las que se encuentra.

En diferentes secciones de la rampa, era común observar bordes salidos tanto en el cielo como en las tablas, y en longitudes de hasta 35 metros su sección se reducía a 2.5 m x 2.5 m (figura 7), lo cual causaba un gran problema para el libre tránsito de los equipos tanto de rezagado como de barrenación.

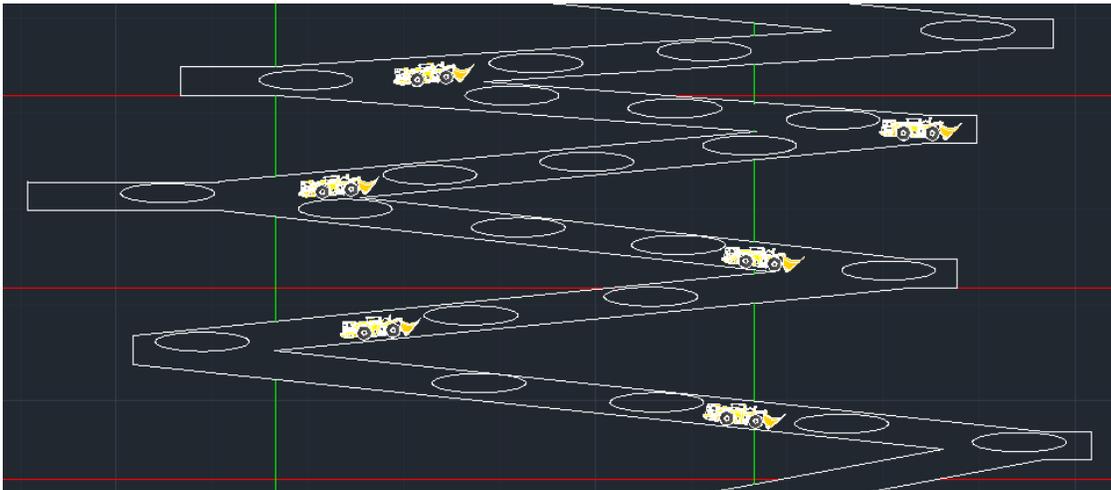


Figura 7. Zonas identificadas con bordes por rebajar en Rpa-2200

- 3) No se tenía preparada una zona de extracción de mineral.

En su momento, sólo se desarrolló la frente principal para la delimitación del cuerpo mineralizado, tomándose como punto de extracción para la producción. Sin embargo, al dar comienzo al rezagado de manera frontal, el operador genera una condición insegura. Adicionalmente, la inestabilidad y el fracturamiento de las tablas del alto y bajo de la veta podrían causar un riesgo inminente por caídas de roca.

Este aumentaría de manera gradual conforme se fueran minando los respectivos subniveles.

- 4) Las frentes y rampas secundarias no son aptas para considerarlas como subniveles y rampas de explotación.

Para la preparación de subniveles, frentes y rampas de desarrollo sobre mineral, la sección de las obras era de 3 m x 3 m, y no se contaba con la delimitación del ancho de la veta que tenía un aproximado de 7 metros, ni la altura promedio requerida por el equipo de barrenación larga que es de 4.5 metros, además de no contar con sus respectivos cruceros para ubicar la toma de corriente de dicho equipo (figura 8).

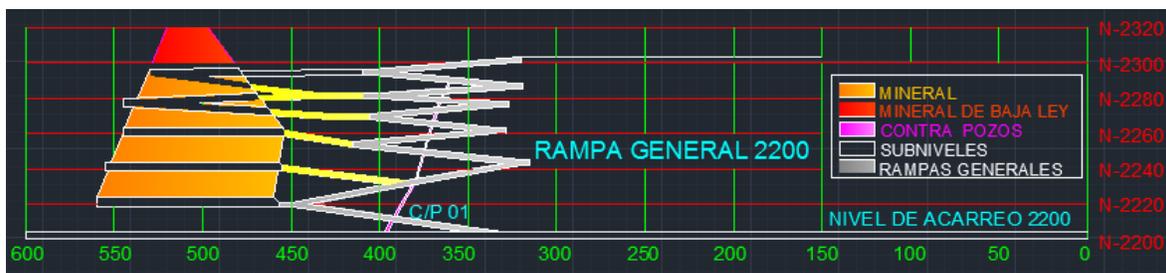


Figura 8. Descripción de frentes y rampas, antes de su preparación

- 5) Suministro de corriente eléctrica.

Como se mencionó con anterioridad, la corriente eléctrica sólo llegaba hasta la zona de extracción en el N-2220, cubriendo solo una parte de la rampa general.

Por lo anterior, no se contaba con suministro de energía a través de las diferentes frentes y rampas de desarrollo.

Para este caso en particular el principal problema consistió en llevar de manera rápida y eficiente la corriente eléctrica hacia los diferentes subniveles. Así como la reducción del alto consumo de cable.

- 6) Sistema de ventilación.

La ventilación que se tenía en este nivel se hacía de manera empírica y poco efectiva. Las altas concentraciones de monóxido de carbono, óxidos nitrosos y los gases generados por las detonaciones tardaban entre 4 y 5 horas en ventilar las diferentes zonas de trabajo.

Esta problemática fue resuelta a través de una red dinámica balanceada para las diferentes etapas de la preparación y explotación del bloque.

En el capítulo 4, se amplía este aspecto.

- 7) No se cuenta con una pileta o cárcamo cerca del B-2200 para recircular el agua.

La pileta del nivel N-2200 se localiza a más de 300 metros de distancia. Cuando se dio el comienzo de la preparación de frentes y rampas de desarrollo, se tomó como cárcamo la rampa negativa que también fue colada por la operación anterior.

Esta rampa se encontraba inundada, tenía más de 200 metros de longitud en sección de 3 m x 3 m dando un volumen aproximado de 2,000 m³ de agua.

- 8) Zonas de descanso y comedores.

Desafortunadamente las zonas que fueron rehabilitadas para el descanso y alimentación no se encontraban cerca de las áreas de trabajo, esto causaría pérdida de tiempo para la reincorporación a sus labores, afectando el plan de trabajo debido a las pérdidas de eficiencia hombre/turno.

- 9) Zonas de higiene.

Por otro lado, en cuanto a la ubicación, uso y manejo de letrinas, no se contaba con una distribución adecuada. Además de tener un diseño muy rudimentario, incómodo y pesado ya que la base estaba armada con tambos y una estructura metálica, dificultando su limpieza y reubicación, además de ser un foco latente de infección por encontrarse al aire libre y contaminar la ventilación que fluía por las diferentes áreas del nivel.

4.- METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1.- Análisis del método de explotación

Una vez evaluados los diferentes factores que se presentan para la explotación del B-2200, fue necesario llevar a cabo un análisis para definir el método más eficiente de producción.

Tal y como se describió en el capítulo 3, el bloque cuenta con tres frentes y dos rampas desarrolladas sobre mineral, además de tener la información geológica que describe las características de la veta.

Se sabe que cuenta con siete metros de potencia, tiene de 90 a 100 metros de longitud, un echado de 75° y una altura promedio de las diferentes frentes y rampas de hasta 15 metros (figura 9).

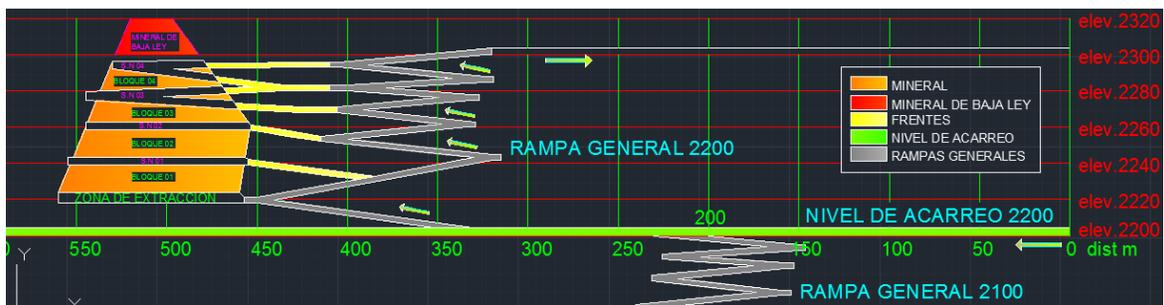


Figura 9. Proyecto de subniveles y rampas de explotación

Bajo estas circunstancias, se podría pensar en recurrir al método tradicional de tumba sobre carga que se utilizaba en otra época en la mina. Sin embargo se presentan algunos factores que no necesariamente lo convierten en la opción más viable.

El primero de ellos y el más importante, consiste en el hecho de que la carga o inventario de mineral se queda cautivo por un largo tiempo sin poder disponer del recurso.

La explotación es lenta debido a que se realiza con equipos neumáticos de máquina de pierna, y aunque resulta ser más selectivo, el ritmo de producción es muy lento para el tumba del mineral.

Existen varias condiciones que repercuten por no tener una buena ventilación en el rebaje, la humedad relativa, acumulación de polvo y la bruma generada por aceites y agua de la máquina neumática ocasionan poca visibilidad para el perforista.

Además de requerir de varias horas para ventilar el rebaje por acumulación de gases después de la voladura.

En cuanto a la seguridad, el método es de mayor riesgo, ya que conforme se va acumulando el mineral y este continúa subiendo gradualmente, resulta cada vez más riesgoso el transitar hasta donde se lleva el corte que se está tumbando.

El acondicionamiento del área de trabajo como la planilla del producto del corte que se lleva se realiza de manera manual ya que el excedente de mineral que se rezaga con el cargador frontal no resulta suficiente para desahogar el corte de la frente.

La implementación del método alternativo de tumbe por subniveles para el B-2200 representa mayores exigencias de producción, factores que exigen desde tener un alto ritmo de producción debido a la ampliación de la planta de beneficio y con ello el aumento del tonelaje requerido diariamente. La aplicación de una variante del método de tumbe por subniveles que permita adecuar la operación para que esta se realice con mayor rapidez y eficiencia.

El análisis inmediato arrojó que una buena razón para su implementación, consiste en la buena estabilidad de la roca debido a su buena competencia. En consecuencia, la reducción de los altos costos por soporte y fortificación para su preparación.

Se cuenta con tres frentes y dos rampas coladas a rumbo de veta, por lo tanto los subniveles ya están colados, sólo se implementan las adecuaciones necesarias para cumplir con las dimensiones requeridas para que la máquina Simba s7d pueda trabajar en los diferentes subniveles.

Se tiene el proyecto del nuevo sistema de ventilación y con ello abatir las demoras por las altas concentraciones de gas en las diferentes zonas de trabajo y los tiempos muertos por falta de ventilación.

Se tienen identificadas las características geológicas de este bloque. Se conoce que es de tipo tabular con un echado de 75°, potencia de 7 metros y longitud promedio de 100 metros.

En cuanto a las obras que no se tienen, se realizó el análisis de costo-beneficio y tiempo requerido para que este proyecto no saliera del rango debido a los altos costos para su preparación.

Se contemplaron un máximo de cuatro meses que van desde la primera fase que es el comienzo de la preparación del B-2200 hasta la etapa de producción y el término de su explotación.

Como consecuencia de la continuación del método de tumbe sobre carga, el equipo de máquina de pierna convencional genera en promedio 100 t de mineral por turno considerando una sección de corte de 7 m x 2.5 m, con barra de 8 ft. Así durante el turno se tendría un máximo de 300 t por día producto de cada frente.

Cada subnivel de 15 metros de altura tendría en promedio de 6 a 7 cortes de 2 - 2.5 metros de altura para minarlo y en consecuencia un tiempo de espera de más de 3 meses promedio para disponer del mineral cautivo.

Adicionalmente, el requerimiento de un compresor que garantice un mínimo de 80 libras de presión para cada máquina de pierna en la operación de los cinco subniveles.

Por otra parte, el método de tumbe por subniveles con barrenación vertical negativa representa una mejor opción para llevar a cabo la explotación.

Un comparativo sobre las ventajas y desventajas del método, sirve de base para demostrar por qué este método de explotación se considera más efectivo:

Ventajas del método

- Disposición inmediata del mineral
- Alto volumen de producción
- Permite realizar obras simultáneas de preparación y explotación
- Se aplica en vetas anchas y angostas
- Recuperación de un 80% del mineral
- Baja dilución, alrededor del 20%
- Buena ventilación
- Altos niveles de mecanización
- Altos niveles de seguridad

Desventajas del método

- Método no selectivo
- Inversión inicial elevada por la preparación
- Fracturamiento de las tablas por el consumo excesivo de explosivo
- Mala ventilación al inicio de la preparación de las obras
- Necesidad de voladuras secundarias como producto de una mala detonación

A continuación, se muestran las ventajas y desventajas del método de tumbe sobre carga, sirve de base para demostrar por qué no se considera el más efectivo:

Ventajas del método

- Bajo costo de preparación
- Método selectivo, baja dilución alrededor del 5 %
- Permite realizar obras simultáneas de preparación y explotación
- Se aplica en vetas anchas y angostas

- Recuperación de un 100% del mineral
- Buena fortificación

Desventajas del método

- Mala ventilación producto de los cortes que se van llevando
- Aplanille manual por parte de los perforistas
- Disposición inmediata de sólo un 20 % de mineral
- Traslado manual del equipo al área de trabajo
- Método inseguro por el tránsito sobre roca acumulada al área de trabajo
- Método improductivo

Adicionalmente, dadas las obras existentes y las condiciones en las que se encuentran, es factible realizar modificaciones y acondicionamientos para aplicar el método de tumbe por subniveles, aunado al hecho de que en la operación ya se cuenta con un equipo de barrenación larga modelo Simba s7d (figura 10). Si bien este equipo está diseñado para alcanzar una producción mayor, de aproximadamente 3,000 t, es importante considerar que la operación ya contaba con el equipo.



Figura 10. Simba S7D Atlas Copco

4.2.- Obras de preparación y producción

Dado que no existe una zona de captación y extracción bien definida, a partir de la Fte-2220 que sirve como delimitación de la parte inferior del B-2200, se diseña una contra-frente de 75 m de longitud al bajo de la veta, paralela a la frente principal y con cuatro cruceros de extracción perpendiculares cada 15 a 18 m (figura 11).

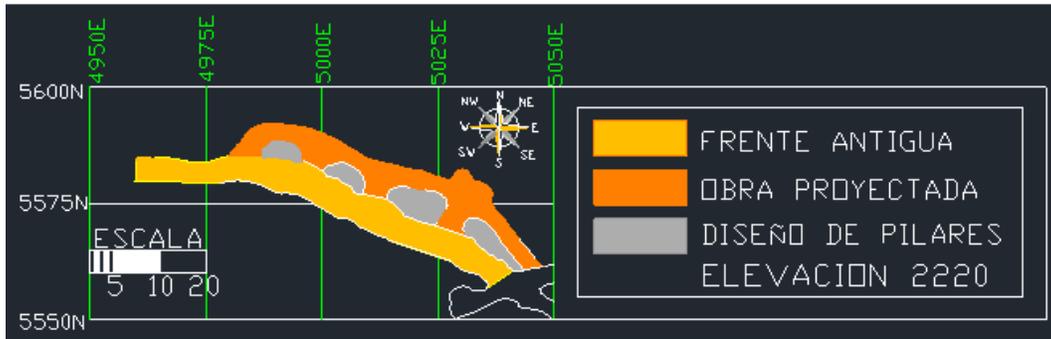


Figura 11. Proyecto para la zona de extracción

Este nivel de extracción tendrá la facilidad de cargar camiones de bajo perfil que transportarán el mineral alrededor de 350 m hasta el C/p 02, en donde caerá por gravedad hasta el nivel general de acarreo (NGA-2000). De esta manera tanto el operador como el equipo de rezagado no estarían expuestos a sufrir daños por la inestabilidad del terreno.

Una vez diseñada la zona de captación y extracción, se procede con la definición de las características requeridas por los subniveles. Uno de los objetivos consiste en trabajar con secciones de 7 m x 4.5 m (potencia de la veta).

El diseño de la plantilla de barrenación se realizó mediante parámetros que se utilizan en operaciones de tajo abierto, pero acondicionándolas con respecto a las necesidades que se requieren para la aplicación en una mina subterránea. En particular para este proyecto la aplicación fue para bancos de hasta 15 metros de longitud en los cuatro subniveles del B-2200, en el anexo 5 se describen los cálculos realizados para su diseño y sus especificaciones (figura 12).



Figura 12. Especificaciones y diseño de plantilla de barrenación

La plantilla de explotación tendrá barrenos paralelos, al “tres bolillo”, descendentes y en retirada. Sólo para el caso de las rampas una parte será negativa y la otra ascendente (figura 13).

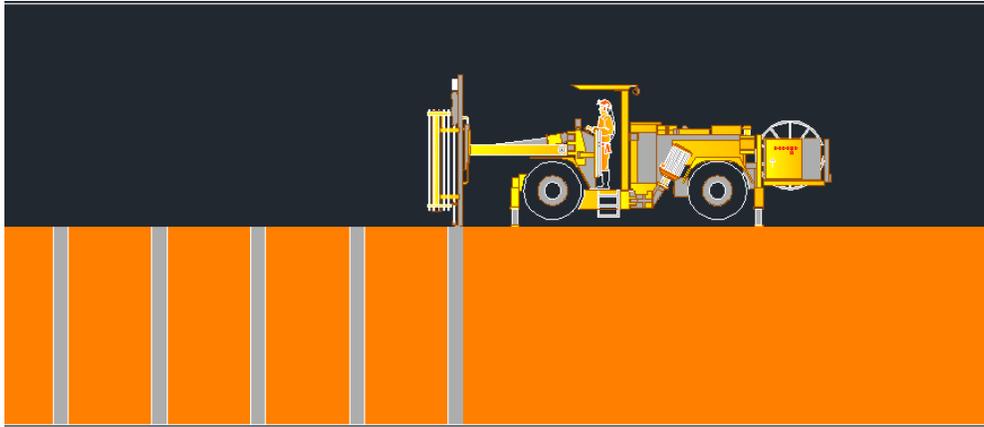


Figura 13. Barrenación del subnivel

4.3.- Secuencia del ciclo de minado y producción

El ciclo de minado se resume de la siguiente manera: barrenación continua, voladura, ventilación, amacice, extracción y acarreo del mineral (figura 14).

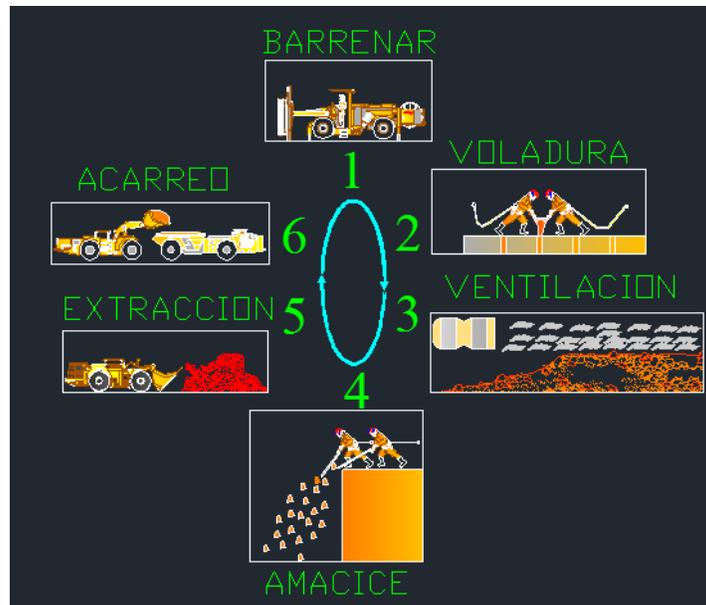


Figura 14. Ciclo de minado

El ciclo de minado básico consiste en llevar un ritmo de producción constante sin interrumpir las diferentes tareas que se tienen destinadas, para esto es necesario que el primer subnivel se encuentre barrenado en su totalidad.

En el capítulo 5.4 se hace referencia al cálculo de la producción que se tuvo por turno, así como también el número de equipos para garantizar la producción de 1,000 t/día.

Para no interferir con el mayor volumen de actividades y personal que se presentan en el primer turno, se propone que la voladura se realice en los turnos de segunda.

La carga y detonación será de siete barrenos por día, es decir dos líneas, con lo cual se generan 1,150 t por disparo en promedio (figura 15).

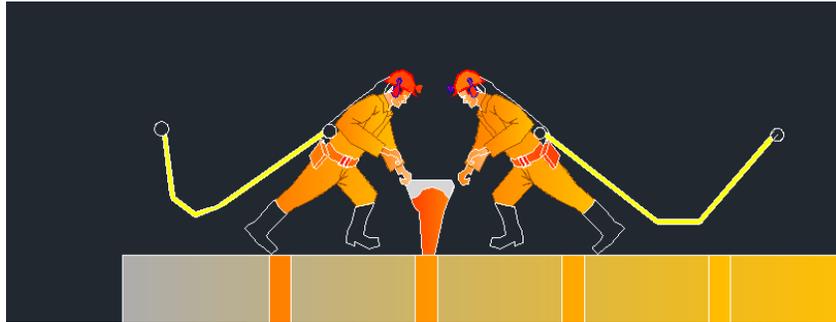


Figura 15. Cargado de barrenos con “línea de vida” en el subnivel

Una vez que el nuevo circuito de ventilación se encuentre operando, sólo se destinarán dos horas intermedias entre el cambio de turnos. Es decir, ya no se tendrán demoras de hasta 4 horas por falta de ventilación y acumulación de gases (figura 16).

Se utilizaron dos ventiladores centrífugos de la marca Zitron de tipo unidireccional modelo JZ9-22/4 con un caudal de $21.3 \text{ m}^3/\text{s}$, 22 kw de potencia instalada y 67 db. Ver cálculos en anexo 4.



Figura 16. Ventilación en la zona de extracción y N-2200

Las tareas de amacice se deben realizar al principio de cada turno. Esta actividad tiene como finalidad la inspección del banco por parte de los operadores (figura 17).

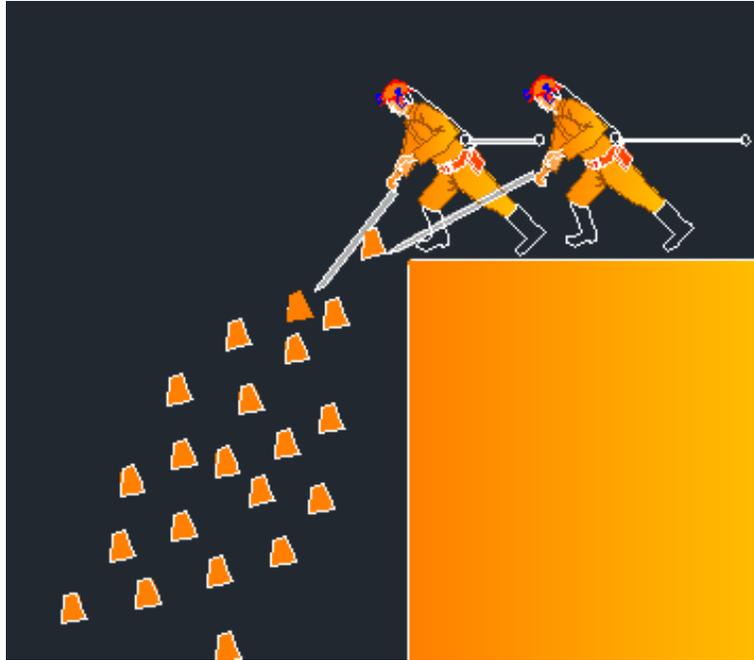


Figura 17. Amacice de subnivel con "línea de vida"

El ciclo de acarreo se lleva a cabo con un cargador frontal de 3.5 yardas y dos camiones de bajo perfil con capacidad de 20 toneladas cada uno (figura 18); estos últimos transportan el mineral desde la zona de extracción hasta el c/p 02.

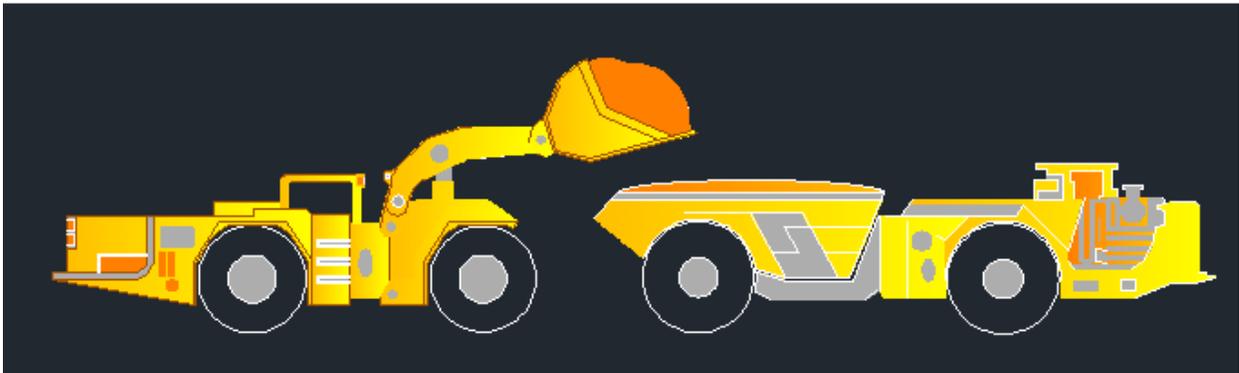


Figura 18. Extracción de mineral y acarreo

De esta manera, el ciclo de extracción se encontrará en condiciones óptimas para cumplir con la aportación de 1,000 toneladas diarias.

En el capítulo 5.3 y 5.4 se describen la programación y ejecución de actividades así como los cálculos del ciclo de producción.

4.4.- Habilitación de obras y servicios auxiliares

Cárcamo y pileta:

Fue indispensable la elección de un lugar apropiado para su ubicación, de tal forma que estuvieran cerca del B-2200. Con una capacidad de almacenamiento de hasta 20,000 litros de agua que fue recirculada a la pileta ubicada en el acceso del N-2200. La máquina perforadora de barrenación larga (Simba s7d) requiere, para un trabajo continuo, de 16,000 litros de agua por turno en promedio. Por ello fue necesario el cambio de la tubería *extrupak* de agua de 1 a 2 pulgadas por toda la rampa general y por las diferentes obras de preparación, teniendo como finalidad incrementar la presión del agua.

Electricidad:

El diseño del proyecto permitió comunicar barrenos de servicio verticales en diferentes puntos estratégicos de la rampa o al inicio de cada frente.

La finalidad consistió en utilizar una menor cantidad de cable eléctrico; de esta manera se hizo más eficiente el circuito y se tuvo una reducción considerable en el consumo del material.

Desborde y descabece en la Rpa-2200:

De acuerdo con los tramos en donde los equipos de rezagado topan y no pueden transitar, se programó un levantamiento con la finalidad de detectar dichas áreas. De esta manera se calcularon los metros necesarios de desborde y descabece. En el Anexo 2 se localizan los resultados. Concluido el levantamiento se recabó la información necesaria para el cálculo de los turnos y el personal necesario para la habilitación de la Rpa-2200 así como también la cantidad de acero de barrenación y explosivo utilizado.

Frentes y rampas de explotación:

Fue necesario realizar el desborde de 4 metros en ambos lados de las tablas y el descabece de 1.5 metros para dar la altura de 4.5 metros en promedio, que es la mínima requerida para la operación de la Simba s7d.

Ventilación:

Se realizó un estudio en particular para el desarrollo y la explotación del N-2200. Para ello, fue necesario diseñar un diagrama que mostrara los diferentes flujos que se tuvieron en el nivel a través del tiempo. Como resultado se obtuvo una oportuna y eficaz ubicación de los ventiladores a través de los cuales fue posible reducir el tiempo de ventilación de las diferentes frentes y rampas donde se estaba realizando alguna actividad.

Se contempló un sistema aspirante e impelente de ventilación. Básicamente el impelente consiste en alimentar aire fresco en las áreas que así lo requieran y el

aspirante tiene la función de extraer el aire viciado para forzar con ello la ventilación adecuada de las áreas de trabajo.

El sistema impelente consiste en inyectar aire fresco en la zona de extracción y a la vez forzar que desplace al aire viciado por la Rpa-2200 generando el circuito de ventilación. El aire viciado comienza a desplazarse por toda la rampa y por el contrapozo metalero, hasta llegar al N-2300 (figura 19).

Ahí es donde el sistema aspirante comienza a extraer el aire viciado por medio de un ventilador, dirigiéndolo a su vez hacia la salida del N-2300.

A continuación se describen las diferentes fases del circuito de ventilación a través de las etapas de preparación y producción.

Durante la primera semana del proyecto, la siguiente figura muestra el diagrama de ventilación al inicio de la preparación del bloque y con tres actividades simultáneas.

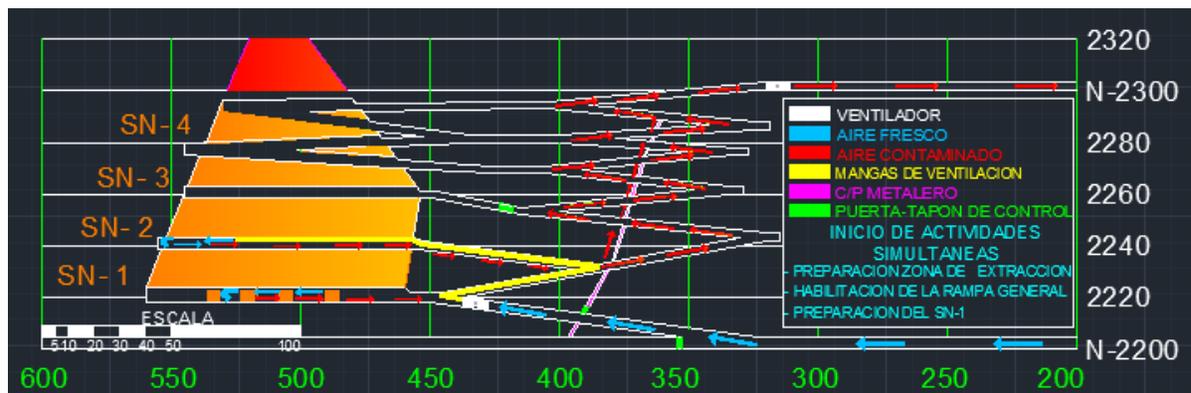


Figura 19. Diagrama de ventilación al inicio de la preparación del B-2200

Posteriormente, en la semana 2, durante la preparación del SN-1 y al inicio de la preparación del SN-2, el diagrama de ventilación luciría de la siguiente manera:

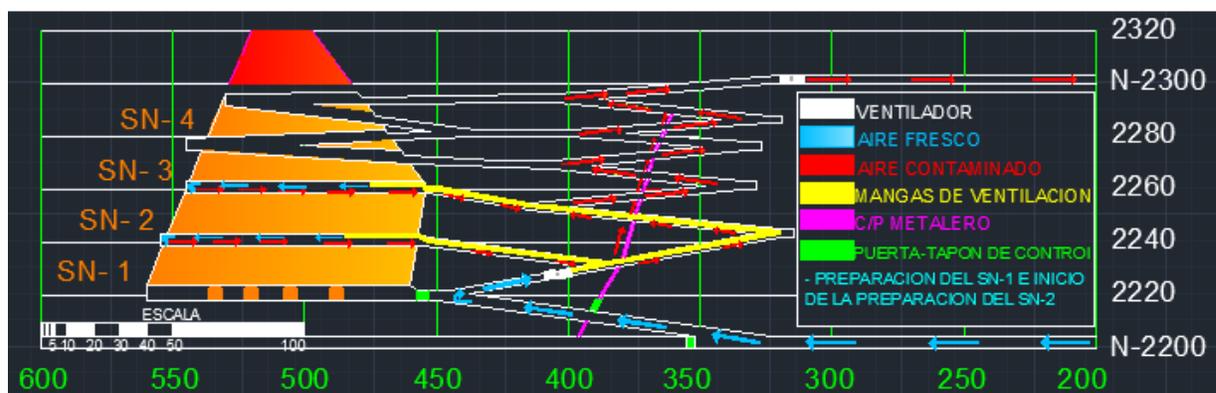


Figura 20. Diagrama de ventilación durante la preparación del SN-1 y SN-2

Semana 4: el siguiente diagrama muestra el comportamiento del circuito de ventilación durante la preparación del SN-2 e inicio del SN-3:

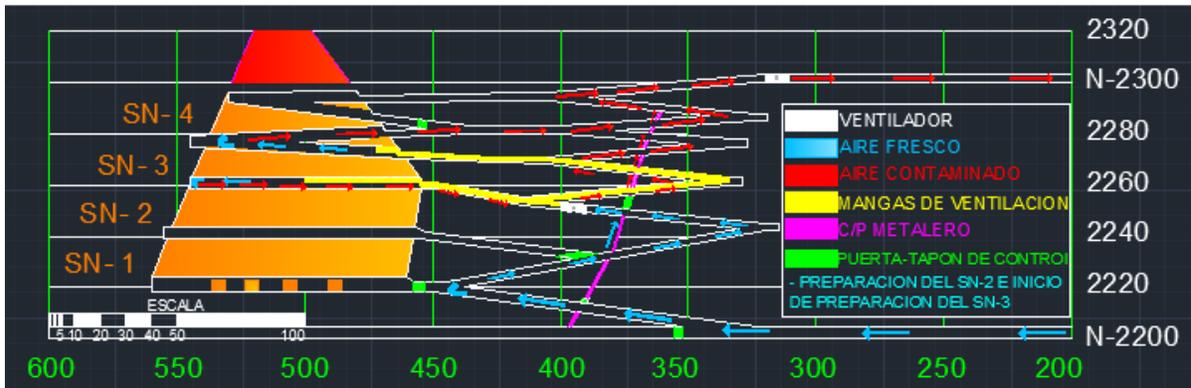


Figura 21. Diagrama de ventilación en la preparación del SN-2 y SN-3

Semana 6: diagrama de ventilación que describe el circuito al momento de la detonación del c/p ranura del SN-1 e inicio de los barrenos de producción:



Figura 22. Diagrama de ventilación del SN-1 y Rpa-2200

Semana 8: diagrama de ventilación al término de la detonación del c/p ranura SN-2, de la barrenación del SN-2 y durante la producción del SN-1:

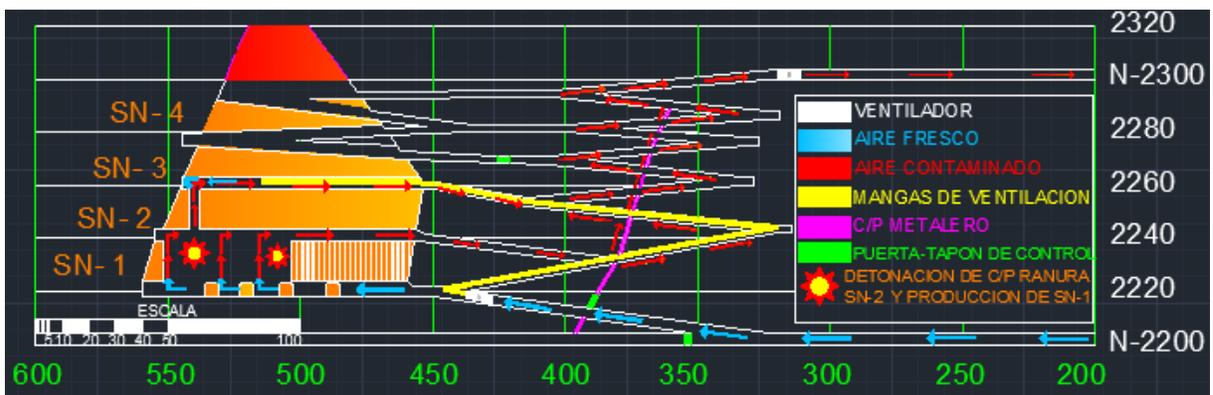


Figura 23. Diagrama de ventilación del SN-1, SN-2 y Rpa-2200

Semana 10: diagrama de ventilación que describe el flujo de aire al inicio de la detonación del SN-2 y una vez finalizado el bloque del SN-1:

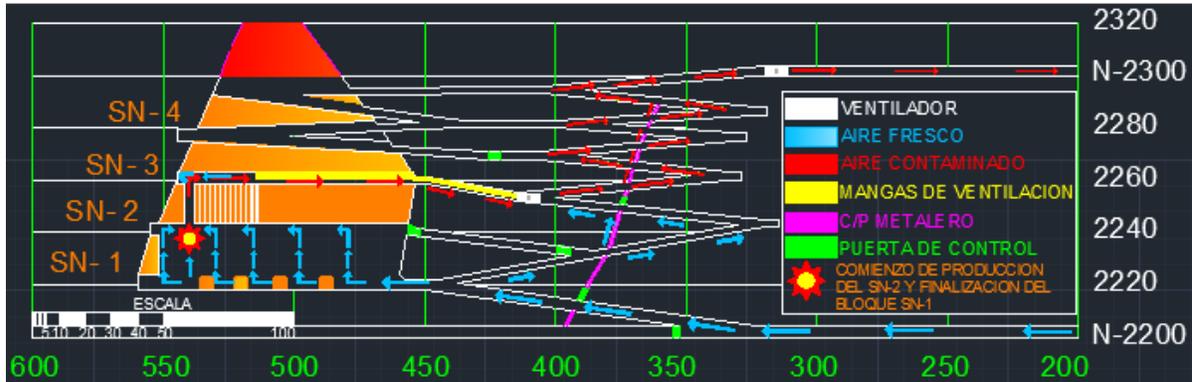


Figura 24. Diagrama de ventilación del SN-2 y Rpa-2200

Semana 11: diagrama de ventilación que describe el flujo de aire al detonar los c/p ranura de los SN-3 y el SN-4 una vez explotados los bloques SN-1 y SN-2:

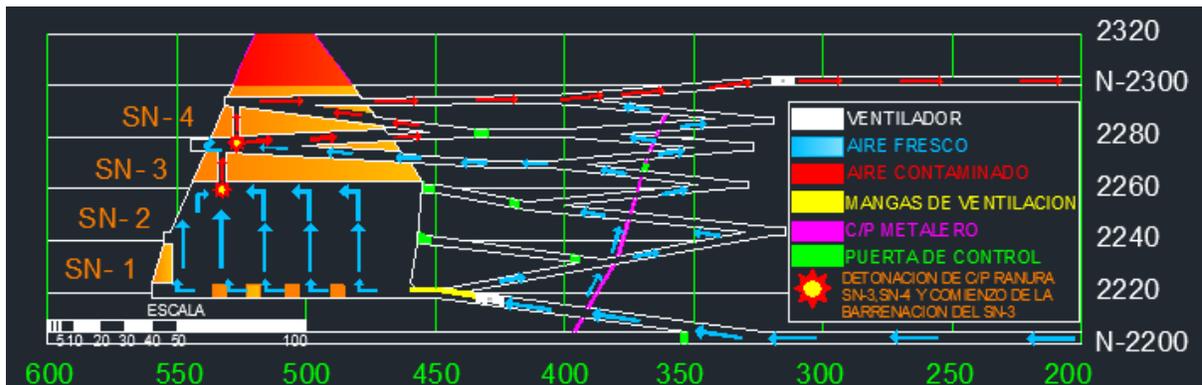


Figura 25. Diagrama de ventilación para el SN-3 y SN-4

El caudal requerido se determinó de acuerdo con la norma NOM-023-STPS-2012, que indica suministrar 2.13 metros cúbicos de aire por minuto por cada caballo de fuerza de la maquinaria accionada por motores de combustión diésel, localizados en el interior de la mina, es decir, en el N-2200.

Al caudal obtenido por los equipos diésel se le suma también el caudal requerido por el total de personas que estén trabajando en el N-2200, es decir, 1.50 metros cúbicos por minuto por cada trabajador. Y todo ello manteniendo una velocidad mínima del aire de 15.24 metros/minuto.

En todo momento se tuvo especial cuidado, también de acuerdo con la citada norma, en instalar ventiladores asegurando que no se mezclara el aire limpio que

entre a la mina con el aire viciado de salida, y que los sitios en donde se instalen se mantuvieran libres de materiales combustibles.

Taller mecánico:

Fue necesario habilitar esta área para su utilización, aunque ya se contaba con todos los servicios disponibles tales como: agua, aire y electricidad. De esta manera se redujo considerablemente el tiempo por demoras en el tránsito de los equipos y su puesta en marcha.

El personal encargado del monitoreo del funcionamiento de los diferentes equipos tuvo mayor capacidad de respuesta para la atención de las distintas fallas presentadas en los equipos.

Zonas de descanso y comedores:

La elección de la ubicación de los comedores fue relevante. Debían cumplir con todos los servicios necesarios para que el personal pudiera tomar sus alimentos de una manera cómoda y libre de ruidos. Todo esto con el fin de reducir el tiempo destinado para la toma de alimentos.

Zonas de higiene:

Para la ubicación de las letrinas, fue necesario evaluar alternativas que permitieran cambiarlas por otras más fáciles de limpiar y manejar; y se distribuyeron ordenadamente a lo largo de todo el nivel, permitiendo su libre acceso a todo el personal que requiriera de su uso.

5.- RESULTADOS

La planeación es sin duda la fase más importante de un proyecto. Si no se le dedica suficiente tiempo a esta etapa, más tarde se presentan condiciones adversas que afectan el avance del mismo. Al invertir el tiempo suficiente en la planeación, la conclusión será satisfactoria y sin contratiempos (Williams, 2009).

En esta sección se revisan tanto las fases, como la programación de actividades que se requieren para la preparación del bloque mineral. Posteriormente se describe su ejecución a través de la cual se dispondrá del mineral requerido.

5.1.- Programación de las actividades de preparación

Una vez identificados los factores que impedían llevar a cabo la explotación inmediata del B-2200, es necesario planear y organizar las diferentes actividades que deben realizarse para pasar de una fase preliminar del proyecto, a la fase de entrega de la primera tonelada de mineral o fase de producción.

Para lograr lo anterior, se elaboraron dos diagramas de Gantt. El primero (figura 26) muestra las actividades de preparación, mientras que el segundo muestra la fase de producción. Ambos diagramas permitieron llevar un control de los trabajos planeados. Algunas de las tareas podían comenzar de manera simultánea y otras debían iniciar al concluir las de mayor prioridad.

En el anexo 4 se coloca el diagrama de programación de actividades ampliado para tener una mayor apreciación de los diferentes trabajos que se realizaron en el B-2200.

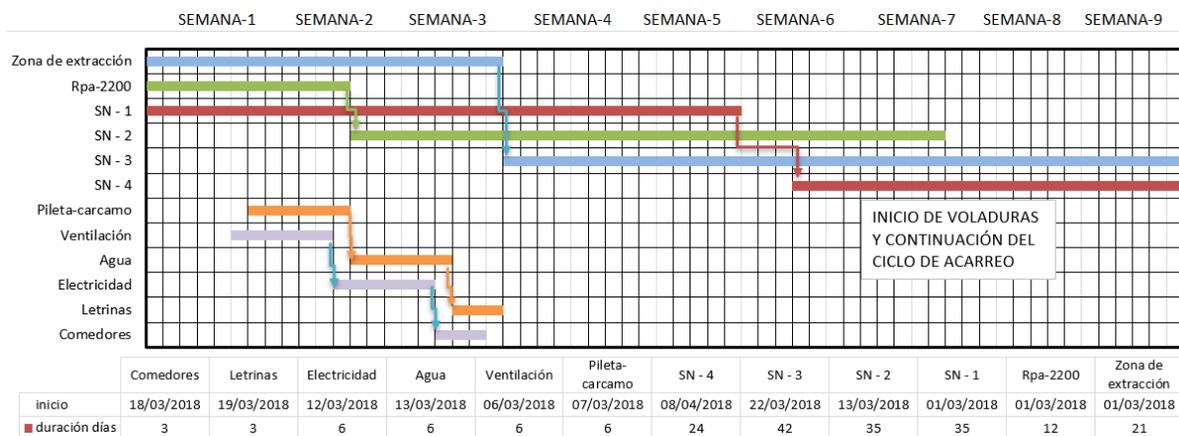


Figura 26. Diagrama de actividades de Gantt – Etapa de preparación

Las primeras tres actividades y de gran importancia son las siguientes: a) la preparación de la zona de extracción; b) la habilitación de la rampa general (Rpa-2200); y c) la preparación del subnivel 1 (SN-1).

En un principio se contemplaron ocho cuadrillas de máquina de pierna y dos operadores de cargador frontal que serían destinados para dichas actividades.

De acuerdo con la tabla 1 y 2 (ver anexo 1), la preparación de la zona de extracción tendría asignadas tres cuadrillas que requieren 21 días para terminar con esta tarea. Posteriormente, su segunda actividad de 42 días consistiría en la preparación del subnivel 3 (SN-3).

Para la habilitación de la Rpa-2200 (desborde y descabece), se contemplaron 24 turnos con dos cuadrillas de máquina neumática de pierna (tabla 3 del anexo 1) y 12 turnos para el rezagado total de la rampa con un cargador frontal de 3.5 yardas (tabla 4 del anexo 1). Ambas actividades arrojaron un total de 12 días para la habilitación general de la rampa. Posteriormente pasarían a su segunda actividad de 35 días en la preparación del SN-2.

Para dar comienzo con la preparación simultánea del SN-1, se requirieron 20 turnos de ocho horas por turno para llevar a cabo el primer desborde (tabla 5). Una vez terminada esta primera actividad, pasaron al descabece del SN-1 en donde se requieren 45 turnos (tabla 6). La tercera tarea comienza con el rezagado del mineral del SN-1 (tabla 7).

Finalmente se realizaría el último desborde del SN-1 que requería adicionalmente de otros 20 turnos (tabla 8). La última tarea, que consistía en el rezagado del mineral, requería otros 4 turnos (tabla 9).

Para la preparación del SN-1 fueron necesarios 35 días, y así pasar a su segunda actividad en el SN-4, con otros 24 días más.

5.2.- Ejecución de las actividades de preparación

La zona destinada para la captación del mineral dio comienzo con el desarrollo de una frente paralela a la principal. La sección de esta obra fue de 17.5 m² (5 m x 3.5 m) con una longitud total de 75 metros.

Los cruceros de extracción se colaron a 5 metros promedio con la misma sección. En cuanto a la esbeltez de los pilares, el departamento de Geología indicó que estos tuvieran una dimensión de 5 m x 7 m (figura 27).

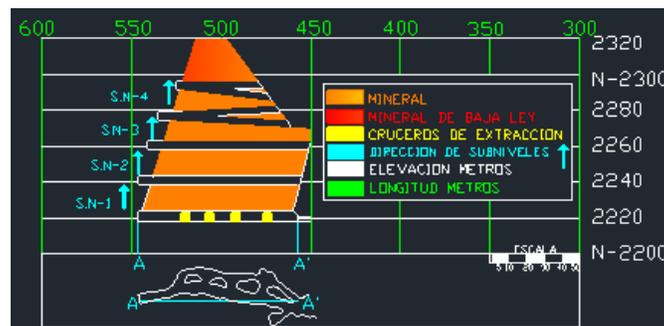


Figura 27. Proyecto para zona de extracción

Se destinaron tres cuadrillas de máquina de pierna neumática, una en cada turno. Y los barrenos fueron perforados con una barra de 6 ft. Cada detonación tuvo un promedio real de avance de 1.5 m; una vez terminado el avance total de la frente se inició la comunicación de los cruceros de extracción.

Se requirieron un total de 50 turnos para la preparación de la contra-frente principal de extracción.

Para habilitar los cruceros de extracción de sección de 5 m x 3.5 m se utilizaron 13 turnos para cumplir con la longitud total de 20 metros.

En la habilitación de la zona de captación se necesitaron 21 días de operación continua para dejar la zona de extracción preparada.

Para la Rpa-2200 se detectaron 6 tramos de aproximadamente 35 metros que requerían de un desborde o descabece debido a los cambios en la rampa (*switch*). Esto arroja un total de 210 metros que representan un 30% de los 700 metros que mide la rampa (figura 28).

Los trabajos de habilitación de esta rampa se realizaron de manera rápida y eficiente al destinar dos cuadrillas de máquina de pierna, una para el primer turno y la segunda en el turno de tercera. De esta forma, durante el turno de segunda se contempló el rezagado de la rampa para comenzar sin contratiempos el siguiente turno.



Figura 28. Habilitación de rampa general 2200

Para la disminución del alto volumen de tepetate generado en la rampa, se consideró utilizar la barra de 4 ft como rompedor. De esta manera se obtuvo una disminución considerable en el consumo de barras, brocas y explosivo.

El levantamiento realizado para este proyecto dio como resultado que cuatro barrenos por línea fueran suficientes para obtener el perfil óptimo de sección 3 m x 3 m. La barrenación se ejecutó de manera sistemática a cada metro hasta llegar a los 35 metros totales del primer segmento, para este primer tramo de rampa se utilizaron un total de 140 barrenos:

$$4 \text{ barrenos/m} \times 35 \text{ m} = 140 \text{ barrenos}$$

Hipotéticamente se consideró que, si cada cuadrilla diera un disparo por turno barrenando con máquina neumática de pierna, terminaría un cuele de 30 barrenos de 6 ft para lograr la sección de 3 m x 3 m, entonces la misma cuadrilla perforaría sin problema 36 barrenos de 4 ft para después cargarlos y detonarlos. De esta manera se dio el avance real de los nueve metros por turno requeridos.

Para la habilitación de la Rpa-2200 se consideró que dos cuadrillas de máquina de pierna eran suficientes, una para el turno de primera donde se cumplirían los nueve metros programados, mientras que en el turno de segunda se programó el rezagado total de la rampa para dejarla preparada de tal forma que al inicio del turno de tercera, la operación no tuviera ningún contratiempo. De esta manera, la cuadrilla se dedicó a cumplir con la cuota de los 36 barrenos requeridos para el turno y la aportación de nueve metros para el avance de la rampa.

En cuanto a los turnos requeridos para la barrenación, se tomaron como referencia cuatro de ellos para el desborde y descabece del primer tramo de 35 metros, y dos adicionales para el rezagado de la rampa (figura 29).

Se estimó que en seis turnos quedaría habilitado el primer tramo de la rampa con la sección requerida de 3 m x 3 m.

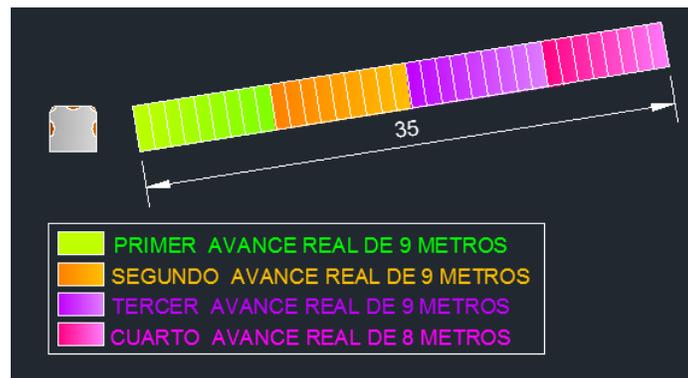


Figura 29. Descripción de turnos requeridos para barrenación de la rampa

Cada tramo de la rampa necesitó un total de 140 barrenos que permitieron dar el libre tránsito a la rampa general:

$$4 \text{ barrenos/m} \times 35 \text{ m} = 140 \text{ barrenos}$$

De acuerdo con el análisis anterior, para cuantificar el total de barrenos que se necesitaron para los 210 metros de desborde y descabece se tiene que:

$$4 \text{ barrenos/m} \times 210 \text{ m} = 840 \text{ barrenos}$$

Esta fue la cantidad total de barrenos requeridos para habilitar la Rpa-2200 en su totalidad logrando una sección de 3 m x 3 m de forma homogénea.

Tomando como base un ritmo de operación constante, se utilizaron 24 turnos específicamente para el cumplimiento del desborde y descabece total de la rampa.

También la consideración de 12 turnos para el rezagado de la misma, sumados ambos turnos de las diferentes actividades, dan un total de 36 turnos o 12 días para dejarla habilitada en su totalidad.

De manera simultánea se comenzó la preparación del SN-1, en donde fue necesario ampliar la sección de 3 m x 3 m por una de 7 m x 4.5 m.

Para esta actividad se contemplaron tres cuadrillas de máquina de pierna por día; el personal estuvo trabajando durante los tres turnos (figura 30).

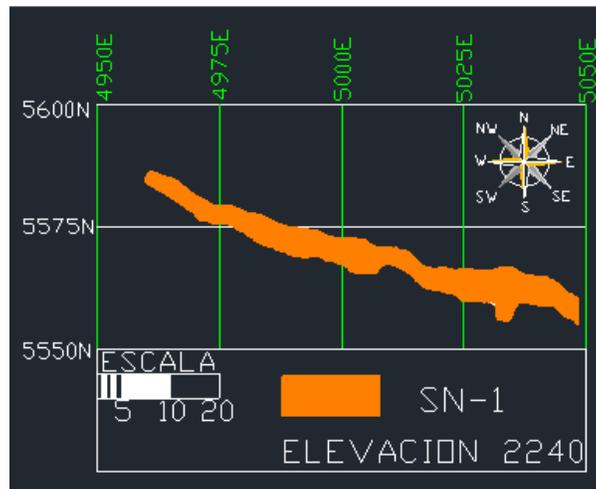


Figura 30. Preparación del SN-1 de 90 metros de longitud

La longitud aproximada que se tiene que desbordar en el SN-1 es de 100 metros aproximadamente. Se comienza con el desborde de un metro de cada lado de la tabla, dando un total de seis barrenos por cada línea y con 1.5 metros de separación entre cada una (figura 31).

Se barrenaron tres líneas con 18 barrenos a cada lado de la tabla, dando un total de 36 barrenos de 8 ft para ambas tablas. La barrenación se comenzó del tope de la frente hacia atrás, es decir, en retirada.

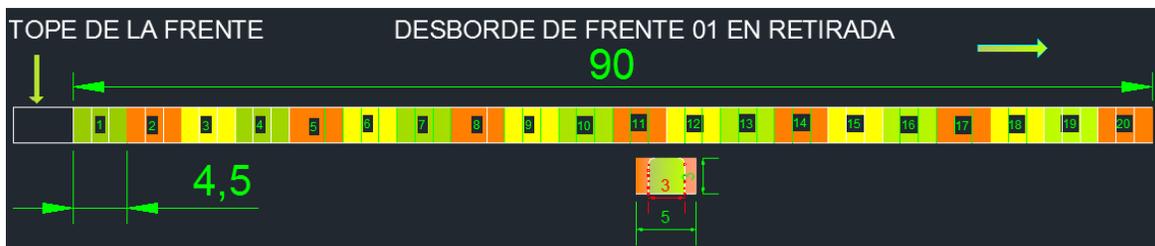


Figura 31. Desborde en retirada de la frente 01

Las tres cuadrillas de máquina de pierna que trabajan en esta labor están conformadas por sus respectivos oficiales de perforación y sus ayudantes.

En la primera fase de desborde se necesitaron 20 turnos, y posteriormente se dio comienzo al descabece de la frente para ampliar la sección de 5 m x 3 m a una sección de 7 m x 4.5 m.

Durante la segunda actividad se comenzó con un corte de levante y desborde para obtener ahora una sección de 7 m x 1.5 m. En este caso, el desborde y descabece se inició rumbo al tope de la misma (figura 32).

En cada detonación se perforaron 23 barrenos de 8 pies, y el avance que se estimó por cada detonación fue de dos metros.

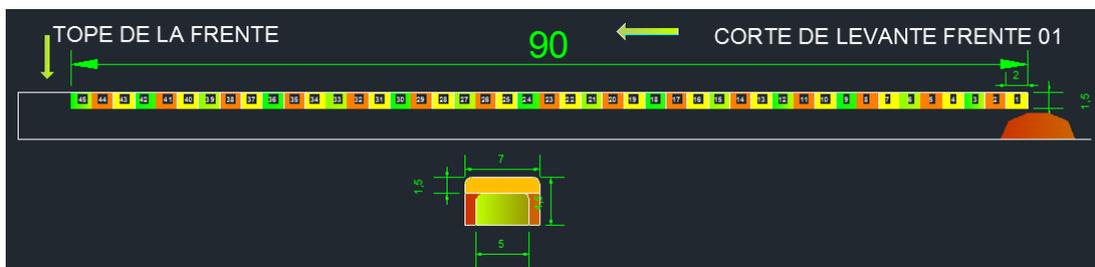


Figura 32. Descabece de la frente 01

Para el descabece de la frente de 7 m x 1.5 m, se necesitaron 45 turnos con el mismo número de detonaciones, con un avance real de dos metros cada una. Por cada disparo se requirieron alrededor de 23 barrenos de 8 ft.

Considerando el tonelaje del desborde y descabece de la primera actividad, alrededor de 1,512 toneladas, más el tonelaje de la segunda actividad de descabece, 2,646 toneladas, se tuvo un total de 4,158 toneladas de mineral disponibles para su extracción (ver hoja de cálculos en el anexo 2).

El rezagado del mineral del SN-1 se realizó con un plan de extracción de 400 toneladas por turno, utilizando para ello un cargador frontal de 3.5 yardas.

Se necesitaron 11 turnos para el rezagado total del mineral para dar paso al desborde final del subnivel.

Se continuó con la fase final para obtener la sección de 7 m x 4.5 m, con un desborde de un metro a cada lado de la tabla para una longitud total de 100 metros.

La dinámica de trabajo fue la misma que durante la primera fase de desborde, es decir, el desborde de un metro de cada lado de la tabla dando un total de seis barrenos por cada línea a 1.5 metros de separación con respecto de la siguiente.

Tres líneas de 18 barrenos fueron perforadas a cada lado de la tabla dando un total de 36 barrenos de 8 ft en ambos lados. El desborde va en retirada, del tope de la frente hacia atrás (figura 33).



Figura 33. Segundo desborde en retirada de la frente 01

Esta actividad de desborde se llevó a cabo en 20 turnos.

El rezagado final de 1,512 toneladas del mineral, ver cálculos (anexo 2) se realizó bajo un plan de extracción de 400 toneladas por turno y se consideró el cargador frontal de 3.5 yardas.

El SN-1 generó un total de 5,670 toneladas de mineral que fueron contempladas para su aportación del B-2200 (ver cálculos en el anexo 2), con un total de cuatro turnos que fueron requeridos para el desalojo total del mineral y continuar con la barrenación de cruceros para la toma de corriente.

Una vez habilitado el primer subnivel, se realizó el cuele de dos cruceros para la toma de corriente (denominados "ploga" en la jerga minera). Uno al inicio del rebaje y el segundo a 50 metros con respecto del otro. Para esta última actividad se requirieron cuatro turnos más, dos para el cuele de cruceros y dos más para su rezagado.

En conclusión, para la preparación del primer subnivel se necesitaron 104 turnos, es decir, un total de 35 días.

Para la preparación del SN-2 se utilizaron los mismos parámetros de preparación del SN-1 (figura 34). Es por ello que para la habilitación del SN-2 en su totalidad se utilizaron 104 turnos promedio, dando en total otros 35 días para que el segundo subnivel quedara preparado.

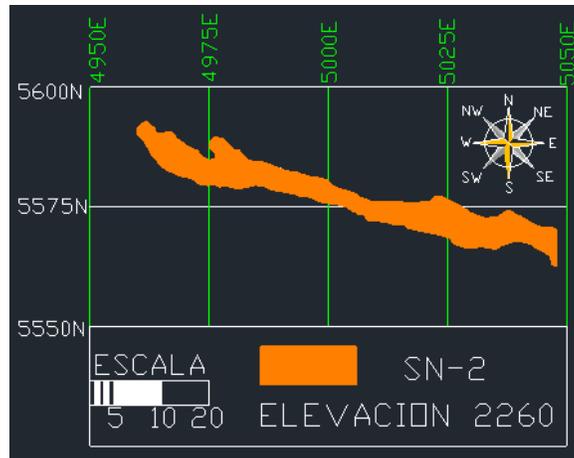


Figura 34. Preparación del SN-2 de 90 metros de longitud

El SN-2 generó en total 5,670 toneladas de mineral que fueron contempladas para su aportación del B-2200.

Para la preparación del SN-3 se contemplaron 120 metros de longitud. El primer bloque de 80 metros requirió pasar de una sección de 3 m x 3 m por una de 7 m x 4.5 m. La preparación de este subnivel comenzó con el desborde de ambos lados de la tabla, se necesitaron en promedio 18 turnos.

Una vez terminada la etapa de desborde se continuó con el corte de levante y desborde de frente hacia el tope para obtener ahora una sección de 7 m x 4.5 m con un avance real de dos metros. Fueron requeridos 40 turnos para que este quedara disponible, se estimó que por cada disparo se necesitaron alrededor de 23 barrenos de 8 ft.

Durante la última etapa de preparación fue necesario realizar el rezagado del mineral del SN-3, se realizó un plan de rezagado de 400 toneladas por turno. Se utilizó el cargador frontal de 3.5 yardas. Se necesitaron 9 turnos para el rezagado total del mineral para dar paso al desborde final del subnivel.

En la última actividad de desborde fueron utilizados 18 turnos para terminar con la ampliación final de la frente. Para el rezagado del mineral del SN-3 se realizó un plan de extracción de 350 toneladas por turno.

Para los 40 metros faltantes del subnivel faltantes se requirió ampliar la sección de 3 m x 3 m por una sección de 5 m x 4.5 m. Se comenzó con el desborde de un metro de cada lado de la tabla en retirada, se ocuparon nueve turnos para después comenzar con el descabece y desborde de la frente.

Fueron ocupados 20 turnos por este concepto, más ocho turnos para el rezagado del excedente del mineral generado y continuar con la barrenación de cruceros para la toma de corriente.

Una vez habilitado el SN-3 se realizó el cuele de tres cruceros *ploga*, uno al inicio del rebaje y el segundo a 50 metros con respecto del otro. Fueron requeridos cuatro turnos por concepto de esta última actividad, dos turnos para el cuele de cruceros más otros dos para su rezagado.

En conclusión, para la preparación del SN-3 se necesitaron 126 turnos promedio, dando un total de 42 días que fueron requeridos para esta actividad (figura 35).

El SN-3 generó un total de 5,880 toneladas de mineral que fueron contempladas para su aportación del B-2200 ver cálculos (anexo 2).

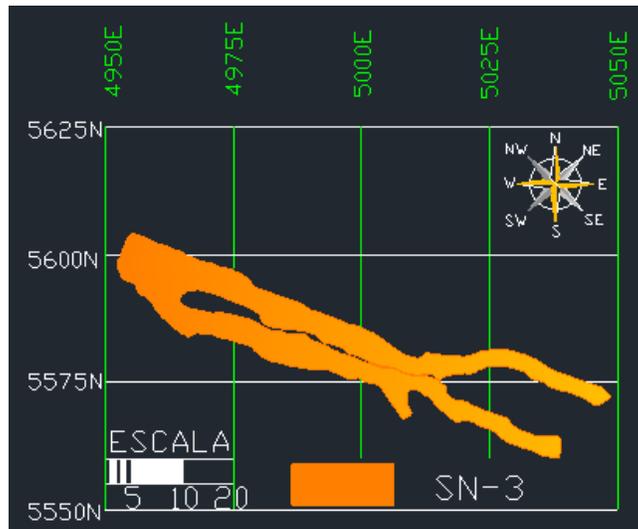


Figura 35. Proyección en planta del SN-3 inclinado entre las elevaciones 2270 y 2280

Durante la preparación del SN-4 se contemplaron 80 metros de longitud. El primer bloque de 60 metros ocupó una sección de 5 m x 4.5 m, mientras que el segundo bloque de los 20 metros restantes ocupó la misma sección de 5 m x 4.5 m.

En el comienzo de los primeros 60 metros de desborde se necesitaron 13 turnos para después comenzar con el descabece del subnivel para ampliar la sección de 5 m x 3 m a una sección de 5 m x 4.5 m.

Se realizó el corte de levante y desborde de frente para obtener ahora una sección de 5 m x 1.5 m. Fueron requeridos 30 turnos para que esta sección quedara acorde con su diseño. Con un avance real de 2 metros, se estimó que por cada disparo se necesitaron alrededor de 17 barrenos de 8 ft.

Para la habilitación final del primer bloque fue necesario realizar el rezagado del mineral, se realizó un plan de rezagado de 400 toneladas por turno. Se necesitaron seis turnos para el rezagado total del mineral, para dar paso a la preparación del segundo bloque.

El comienzo de la preparación del segundo bloque consistió en desbordar los 20 metros de ambos lados de las tablas, se ocuparon cinco turnos para así pasar a su segunda actividad de descabece con el corte de levante para obtener la ampliación de la sección de 5 m x 1.5 m. se requirieron 10 turnos ya que de igual manera se consideró un avance real de dos metros por disparo.

La programación del rezagado de 1,512 t de mineral consistió en un plan de cuatro turnos para la extracción de 400 t.

Una vez preparado el SN-4 se realizó el cuele de tres cruceros para toma de corriente, uno al inicio del rebaje y el segundo a 50 metros con respecto del otro. Se requirieron de cuatro turnos más por concepto de esta última actividad.

En conclusión, para la preparación del SN-4 se necesitaron 86 turnos promedio, arrojando un total de 24 días que fueron requeridos para esta actividad (figura 36).

El SN-4 generó un total de 3,024 toneladas de mineral que fueron contempladas para su aportación del B-2200 ver cálculos (anexo 2).

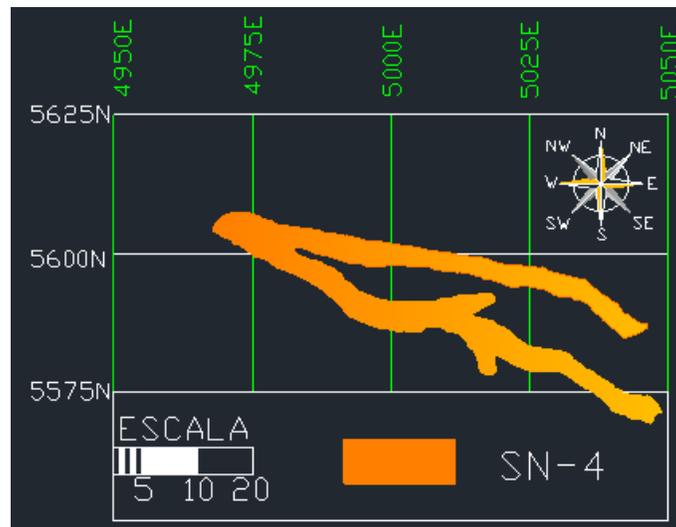


Figura 36. Proyección en planta del SN-4 inclinado entre las elevaciones 2285 y 2295

El tonelaje del mineral generado por la preparación de los cuatro subniveles dio un acumulado de 20,244 toneladas que fueron contabilizadas para la aportación mineral del B-2200.

La cuadrilla encargada de construir el cárcamo y la pileta tuvieron otras dos actividades que consistieron en conectar los servicios de agua y la distribución de letrinas por todo el nivel. Se estimaron 15 días para atender estos factores.

Para la habilitación total de comedores, ventiladores y electricidad se programaron 15 días.

En el anexo 4, se incluyen los diagramas completos de Gantt vinculados a la programación anteriormente explicada.

5.3.- Programación de las actividades de producción

El diseño del c/p ranura del SN-1 dispone de 25 barrenos con diámetro de tres pulgadas en sección de 3.50 m x 3.50 m, con 15 metros de longitud cada uno. Cinco barrenos del centro de la cuña requieren de la ampliación del diámetro de 4 y 6 pulgadas para funcionar como barrenos de alivio. Para esta actividad se destinaron 9 turnos (figura 37).



Figura 37. Diseño de c/p ranura

A continuación, se describen las características de diseño para los c/p ranura de 11 y 15 metros:

Numero de barrenos de alivio de diámetro de 3",4" y 6": 5

Numero de barrenos de centro de la cuña de 3": 4

Numero de barrenos del primer cuadro de ayudantes de 3": 4

Numero de barrenos del segundo cuadro de ayudantes de 3": 4

Numero de barrenos del tercer cuadro de ayudantes de 3": 4

Numero de barrenos de desborde de 3": 4

Total de barrenos de cuña: 25

Total de metros de cuña de 11 metros: 385

Total de metros de cuña de 15 metros: 525

Para la detonación del c/p ranura de dicho subnivel, se programan disparos parciales cada tres metros hasta completar los 15 metros de longitud. Para esta actividad se destinaron cinco turnos para dejarla habilitada y continuar con las siguientes etapas de producción.

Para la fase de barrenos de producción del SN-1 se requirieron 22 turnos más otros 22 días adicionales por concepto de voladuras programadas para así dar comienzo con la producción de 1,000 t/día. Es importante aclarar que el SN-1 debió estar barrenado en su totalidad antes de proceder con la barrenación del siguiente bloque SN-2.

En el proceso de barrenación del SN-2 se optó por seguir los mismos parámetros que en el SN-1, con una estimación de 33 días para terminar de explotar este segundo bloque.

En la barrenación de los bloques SN-3 y SN-4 se utilizaron diferentes parámetros por ser rampas coladas sobre mineral. Otro factor de suma importancia fue que la veta mineral tendió a reducir su potencia.

A partir de la semana siete se programó el comienzo de voladuras para el turno de segunda, el cargado de siete barrenos de producción generaría un tonelaje aproximado de 1,200 t. Esta decisión fue tomada con el fin de no interferir con el ciclo de producción del SN-2 y con las demás actividades de preparación.

El tonelaje generado por la preparación de los cuatro subniveles acumuló en promedio 20,244 t de mineral, permitiendo así el comienzo del ciclo de extracción y acarreo con un anticipado de 17 días después del inicio programado de voladuras.

Se programaron 69 días continuos de voladura y con ello la finalización del B-2200, el tonelaje calculado fue de 81,290 t.

Finalmente, para la etapa de extracción y acarreo se programaron 102 días continuos que permitieron seguir aportando la cuota fijada. Aun después del término del plan de voladuras se continuó con otros 16 días hasta finalizar la extracción total del B-2200.

La elaboración de los diferentes diagramas de Gantt y su adecuada programación permitió la ejecución de las tres actividades en forma simultánea. El inicio de las voladuras del SN-1, la barrenación del bloque SN-2 y el comienzo anticipado de la aportación mineral por concepto de su extracción y acarreo.

Una vez atendidos los factores que permitieron dar comienzo con la barrenación de los subniveles, el siguiente diagrama de Gantt (figura 38) describe en su totalidad la segunda fase de las actividades, es decir, barrenación, voladura y producción en los cuatro subniveles.

En el anexo 4 se coloca el diagrama de producción ampliado para tener una mayor apreciación de los diferentes trabajos que se realizaron en esta etapa del B-2200.

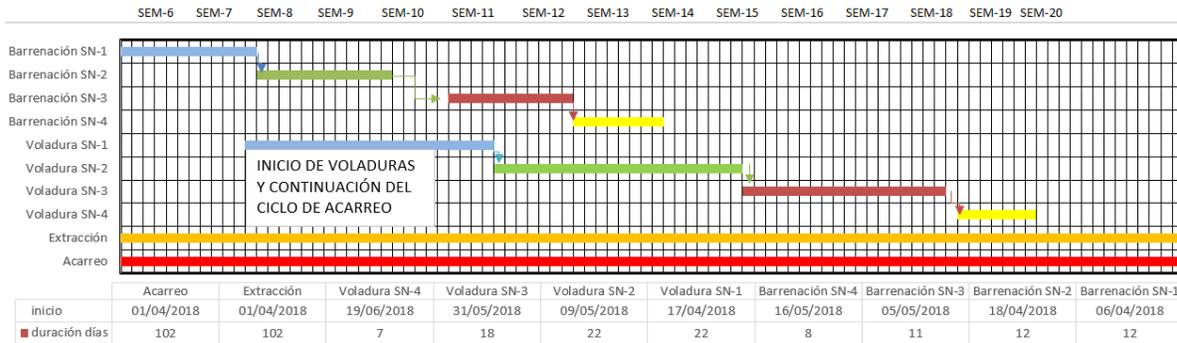


Figura 38. Diagrama de producción de Gantt -- Etapa de producción

5.4.- Ejecución de las actividades de producción

El comienzo de la barrenación del c/p ranura se realizó de forma negativa con barrenos paralelos de 15 metros de longitud y con una inclinación de 75 °. La marcación del c/p ranura es de sección de 3.50 m x 3.50 m, se realiza sobre tepetate o en una zona de baja ley. Tuvo la garantía de volver a marcarse nuevamente si así lo requería por cuestiones de una mala barrenación o incluso de una detonación errónea. Para realizar esta tarea, se utilizó la máquina Simba s7d.

Esta actividad se programó con un avance de 60 metros por turno, y cada operador debió cumplir una cuota de cuatro barrenos. De esta manera se garantizó una barrenación eficiente de la cuña sin tener desviaciones y que no existiera la comunicación entre barrenos.

Los operadores encargados de la barrenación del c/p ranura tuvieron la tarea de encasquillar los barrenos de alivio con tubería de pvc, esto con la finalidad de abatir la generación de lodos y con ello su desviación por un mal posicionamiento de la máquina Simba s7d. Cada barreno terminado debió ser tapado con tubo sintético flexible, para no ser llenados nuevamente por detritos durante la operación y que no generara un problema para el cargado de barrenos en la etapa de voladura.

Fueron 25 barrenos de tres pulgadas que sumaron 375 metros, el centro de la cuña del c/p ranura tuvo nueve barrenos y la ampliación de cinco barrenos de diámetro de 4 y 6 pulgadas que funcionaron como barrenos de alivio que sumaron 150 metros más con un total de 525 metros.

Para realizar el primer cargado de tres metros de la cuña, fueron requeridas 20 emulsiones de "3 x 8" como carga de fondo, 20 noneles L.P de 50 ft, 10 bultos de súper Mexamón D de 25 kg para la carga de columna, 10 metros de primacord y dos cañuelas de 15 ft de longitud.

El proceso de detonación de la cuña se realiza a detalle y con mucho cuidado, ya que de esta depende la óptima cara libre del banco para dar comienzo con la detonación de los barrenos de producción.

Se comienza con el sondeo y el sopleteado para corroborar la longitud de cada barreno de la cuña. Posteriormente se procede a tapar cada uno de los 20 barrenos hasta el fondo y se comienza con el cebado de la carga de fondo emulsión "3 x 8"- nonel L.P 15 ft. Posteriormente se continúa con el llenado de la carga de columna con Mexamón de aproximadamente 2.8 metros de longitud y finalmente se llena un taco de gravilla de 30 centímetros para tener una mejor compactación.

Se utilizaron nueve turnos para la fase de barrenación. Una vez terminada se programó la voladura del c/p ranura. Para esta actividad se programaron cinco detonaciones de tres metros hasta completar los 15 metros de longitud. Se utilizaron cinco turnos por concepto de voladura para dejar lista la cara libre del SN-1.

Durante la fase de barrenación y voladura del c/p ranura fueron requeridos cinco días efectivos para dar comienzo con los barrenos de producción.

El c/p ranura del SN-2 tiene los mismos parámetros del SN-1, nueve turnos para su barrenación y cinco turnos para su detonación.

En la barrenación del c/p ranura del SN-3 y SN-4, el diseño de sección fue de 3.50 m x 3.50 m, con una longitud de 11 metros promedio y tuvo las siguientes características: 25 barrenos de tres pulgadas que sumaron 275 metros, nueve barrenos al centro de la cuña y la ampliación de cinco barrenos de diámetro de 4 y 6 pulgadas que funcionaron como barrenos de alivio. Para la ampliación de estos barrenos se utilizaron 110 metros más para dar un total de 385 metros.

Se utilizaron siete turnos para la fase de barrenación, una vez terminada se programó la voladura del c/p ranura. Para esta actividad se realizaron cuatro detonaciones de tres metros que dieron un total de 12 metros de longitud. Se utilizaron cuatro turnos por concepto de voladura para dejar habilitada la cara libre de los subniveles SN-3 y SN-4.

Para la fase de barrenación y voladura de cada c/p ranura se requirieron cuatro días efectivos para así dar comienzo con los barrenos de producción.

Durante la fase de barrenos de producción de los subniveles SN-1 y SN-2 se siguió un patrón al tres bolillo de la plantilla de barrenación, estuvo compuesta por 22 líneas de tres barrenos y otras 22 líneas de cuatro barrenos que sumaron 154 barrenos de 15 metros de longitud, dando un total de 2,310 metros que se requirieron para la barrenación por bloque.

En cuanto al ritmo de producción fue necesaria la aportación de 105 metros barrenados por turno, es decir que cada operador de la Simba s7d tendría que cumplir con una cuota mínima de siete barrenos. Con este ritmo de producción propuesto la barrenación promedio fue de 22 turnos o bien en poco más de siete días.

Para el caso del SN-3 la barrenación estuvo dividida en dos bloques, el diseño de la plantilla al tres bolillo de los de barrenos de producción permitió continuar con el mismo patrón de los subniveles barrenados anteriores. El bloque 1 del SN-3 estuvo compuesto por 19 líneas de tres barrenos y otras 19 líneas de cuatro barrenos que sumaron 133 barrenos de 11 metros de longitud promedio, dando un total de 1,463 metros. Para el bloque 2 del SN-3 la barrenación se hizo positiva, estuvo compuesta por 10 líneas de tres barrenos y otras 10 líneas de dos barrenos que sumaron 50 barrenos de 5 metros de longitud promedio dando un total de 250 metros.

Para la barrenación del bloque 1, el ritmo de barrenos de producción por turno fue de 99 metros, es decir que cada operador de la Simba s7d tendría que cumplir con nueve barrenos que serían la cuota mínima. Para esta actividad se requirieron 15 turnos.

La segunda actividad de barrenación del bloque 2 del SN-3 se hizo de manera positiva, se consideró un avance promedio de 50 metros, cada operador de la Simba s7d tendría que cumplir con una cuota mínima de 10 barrenos por turno, para esta segunda etapa se consideraron 5 turnos para dar por terminada la barrenación del SN-3.

El total de metros barrenados del SN-3 fue de 1,713 metros en un periodo de 7 días continuos.

La última fase de barrenación del SN-4 tuvo las mismas características del SN-3, solo que en esta última etapa la veta se redujo a cinco metros su potencia. Se dividió en dos bloques y el diseño de la plantilla continuó siendo al tres bolillo. El bloque 1 de 60 metros estuvo compuesto por 15 líneas de tres barrenos más otras 15 líneas de dos barrenos que sumaron 75 barrenos de 7.5 metros de longitud promedio dando un total de 562 metros, mientras que el bloque 2 estuvo compuesto por 5 líneas de tres barrenos más otras 5 líneas de dos barrenos que sumaron 25 barrenos de 4 metros de longitud promedio dando un total de 100 metros.

Para el bloque 1 del SN-4, el ritmo de barrenos de producción por turno fue de 75 metros, es decir que cada operador de la Simba s7d tuvo que cumplir con 11 barrenos que serían la cuota mínima. Fueron requeridos 8 turnos para barrenar el bloque 1 y así pasar a la barrenación del segundo bloque del SN-4.

La segunda actividad de barrenación del bloque 2, se realizó de manera positiva, se consideró un avance promedio de 50 metros. Cada operador de la Simba s7d tendría que cumplir con una cuota de 10 barrenos por turno, para esta segunda etapa se consideraron tres turnos para dar por terminada la barrenación del SN-4.

En esta última etapa se requirieron 662 metros barrenados en un periodo de cuatro días continuos.

El mineral generado por la preparación de los cuatro subniveles permitió acumular 20,244 toneladas. De esta manera se permitió comenzar con 17 días antes de lo programado.

La estimación del tonelaje del B-2200 arrojó un cálculo aproximado de 81,290 toneladas. El plan de producción de 1,000 t por día. Se consideró el tonelaje mineral de la preparación de 20,244 t más las 81,290 t del B-2200 que dieron en total 101,534 toneladas

El SN-1 generó un tonelaje aproximado de 26,460 t. El plan de extracción fue de 400 t por turno, es decir 1200 t por día. De esta manera se cumplió con el plan de extracción mineral y acarreo de 22 días de acuerdo con lo programado. La aportación de 1,000 t de acuerdo con el plan y la generación de un excedente de 4,460 t que fueron al stock mineral.

En cuanto al SN-2 tuvo los mismos parámetros del SN-1, su tonelaje de 26,460 t mismas que fueron rezagadas en un periodo de 22 días de extracción, con un excedente de 4,460 t.

Para el SN-3 el tonelaje aproximado fue de 21,440 t, estas fueron rezagadas en un periodo de 18 días y la generación de un excedente de 3,440 t que fueron al stock mineral.

Finalmente, el SN-4 generó un aproximado de 7,560 t que fueron rezagadas en un periodo de 7 días y quedando en stock 560 t.

El tonelaje acumulado por los excedentes del rezagado de los cuatro subniveles fue de 12,920 t, más el tonelaje generado por la preparación de los cuatro subniveles fue de 20,244 t que dieron un total de 33,164 toneladas de mineral en stock.

De acuerdo con el plan de producción, el mineral en stock se rezagó en su totalidad en un periodo de 33 días.

En el diagrama de producción de Gantt se utilizaron 69 días por concepto de voladuras, más 33 días por el remanente de mineral en stock.

En total se utilizaron 102 días de extracción y acarreo continuo de mineral.

En cuanto a la programación de voladuras, el comienzo fue a partir de la semana siete, fueron 69 días continuos en los que se realizó una voladura programada durante el turno de segunda.

El cálculo del consumo de explosivos se muestra en el anexo 5.

La etapa de extracción se realizó de manera continua durante los 3 turnos. El operador del cargador frontal de 3.5 yardas (figura 39) tuvo la encomienda de extraer 400 t por turno, de esta manera se garantizó la producción diaria y el excedente fue acumulado en el stock de mineral para comenzar sin contratiempos en el turno siguiente.



Figura 39. Cargador frontal de 3.5 yardas

Para el ciclo de acarreo se utilizaron dos camiones de bajo perfil con capacidad de 20 toneladas (figura 40), estos transportaron el mineral de la zona de extracción hasta el c/p-2, cayó por gravedad hasta el nivel general 2000. La distancia de acarreo promedio fue de 800 metros del ciclo completo de ida y vuelta, cada camión debió cumplir con 10 ciclos como mínimo para cumplir con la cuota requerida.

El ciclo de extracción y acarreo se realizó de manera continua, se requirieron un total de 102 días para dar por concluida la explotación del bloque B-2200.



Figura 40. Camión de bajo perfil capacidad 20 t

La planeación de las distintas actividades de preparación y producción para cualquier proyecto requieren siempre del análisis previo de las diferentes condiciones en las que este se encuentra. De esta manera se termina con la especulación de un proceso y se limita a seguir un plan de trabajo estratégico.

El resultado esperado garantizó que la programación de actividades tendría una mayor certidumbre y que estos se asemejaran a los proyectados en el diseño.

El B-2200 cumplió con las expectativas que se tenían para su explotación en tiempo y forma. La aportación continua de 1,000 t de mineral por día comenzó a sólo un mes después del arranque de las actividades de preparación.

El proyecto en el nivel 2200 finalizó exitosamente después de 102 días de producción continua arrojando un total de 101,539 toneladas de mineral con valores de 87 g/t de Ag, 1.13 % de Pb ,0.78 % de Cu y 3.25 % de Zn, que fueron entregadas regularmente a la planta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación de un método de explotación alternativo, en comparación con el que se llevaba con anterioridad, tuvo que ver con las necesidades de producción y costos que se requieren hoy en día. Las nuevas exigencias obligan a mejorar las técnicas de explotación con base en los conocimientos profesionales adquiridos, así como en la experiencia laboral.

Para la explotación de este bloque mineral, el método de tumbe por subniveles resultó ser la mejor opción para la producción de 1,000 toneladas por día. Para ello, fue necesario atender todos los factores que permitieran su correcta aplicación.

El reto principal consistió en una combinación de equipos convencionales, como la máquina de pierna neumática, y los equipos mecanizados de alta productividad como la Simba s7d. De esta manera, se pudieron llevar a cabo de manera simultánea las obras de producción y preparación, sin interferencia entre unas y otras.

En la preparación de la zona de captación, subniveles y rampas, el uso de la máquina de pierna neumática resultó primordial, así como el conocimiento de perforistas capacitados de la región con muchos años de experiencia en esta mina.

Por otra parte, en los subniveles de producción, la máquina de alto rendimiento Simba s7d, resultó ideal para establecer mayores ritmos de producción en los barrenos de producción.

El diseño de la zona de extracción y el nivel general de acarreo fue de gran valor para ejecutar el acarreo sin interrupciones salvo las necesarias para el movimiento del personal tales como la supervisión, mecánicos y personal de apoyo. La utilización de un cargador frontal de 3.5 yardas y dos camiones de bajo perfil con capacidad de 20 toneladas cada uno se constituyeron en una combinación eficiente para cumplir con la cuota de 400 toneladas por turno, garantizando con ello la producción de 1,000 toneladas por día.

Con el circuito de ventilación propuesto en lugar de una ventilación no planeada, se tuvieron mejores resultados, debido a la reducción del tiempo para la evacuación de los gases tóxicos. Lo anterior contribuyó al cumplimiento del plan mensual de trabajo.

La rampa general 2200 es un ejemplo de un diseño antiguo, que en la época actual presenta condiciones adversas para la operación. Ejemplo de ello fueron los problemas de tránsito que tuvieron los diferentes equipos para llegar a sus áreas de trabajo, los tiempos muertos por demoras y las condiciones inseguras que siempre estuvieron latentes.

El proyecto de explotación del bloque 2200, representó una experiencia de gran motivación para la aplicación de los conocimientos adquiridos tanto en la parte académica como en lo profesional.

Sin embargo el proyecto no estuvo exento de presiones naturales que se derivan del cumplimiento en la preparación de las obras, situación que se agrava cuando no se cuenta con el apoyo total de los departamentos involucrados.

Resulta relevante la importancia de la buena comunicación entre los supervisores, así como entre ellos y los operadores, es decir un eficaz trabajo en equipo para que cada turno cumpla con los objetivos planteados.

El proceso de barrenación se llevó conforme a lo planeado, gracias a los programas de destajo y la ejecución de la primera voladura en la séptima semana del proyecto; ello representó un momento de gran satisfacción para todos los involucrados.

Por otra parte, la obra no estuvo exenta de anécdotas y detalles como la ocasión en la cual el descabece en la rampa produjo una cantidad enorme de tepetate debido a la falta de seguimiento de las indicaciones proporcionadas durante el pueble en la que sólo se requerían 40 barrenos, y el supervisor práctico que estaba a cargo del turno de tercera disparó alrededor de 60; La superintendencia cuestionó seriamente esta situación, pero los documentos de pueble demostraron que se dieron las indicaciones correctas pero que no se ejecutaron como era debido.

Algunas otras etapas que requirieron de mucha atención fueron durante la preparación de los subniveles y la rampa 2200, para no elevar los costos y el tonelaje de tepetate innecesario.

Adicionalmente, y para trabajos posteriores, se recomienda un mayor involucramiento de los diferentes departamentos multidisciplinarios como las áreas de Planeación, Topografía, Geología. Así también con el equipo encargado de la preparación y la explotación de la mina.

La implementación del método de tumbe por subniveles vs tumbe sobre carga permitió tener mejores condiciones en cuanto a seguridad del personal que laboró en este bloque, mejorando con ello la productividad y disminuyendo el número de incidentes debido a las condiciones inseguras en el N-2200.

Finalmente, y aunque se encuentre fuera del alcance de este trabajo, en el anexo 5 se incluye el diseño de la plantilla de barrenación utilizada en los bancos de producción, así como el cálculo del factor de carga de los explosivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aburto, V. M. (2005). *Manual para la Selección de Métodos de Explotación de Minas*. Mexico D.F: UNAM.
- Copco, A. (1 de Mayo de 2013). *google*. Obtenido de https://www.technical_specification_simbas7d Manual, 2010
- Hartman, H. L. (2002). *Introductory Mining Engineering 2nd Ed*. New York: Wiley-india.
- Konya, C. (21 de Marzo de 2008). *google*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/30213148/Manual-de-Voladura-KONYA>
- Langenscheidt, A. (1988). *Historia Mínima de la minería en la Sierra Gorda*. México D,F: Rolston Bain.
- Lomelín, J. A. (1988). *Primer Siglo de Peñoles*. Ciudad de México: Cosmos Publicidad.
- Minas subterráneas y minas a cielo abierto - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo. (2012). En S. d. Social, *NORMA Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012*,.
- Minas, C. d. (12 de agosto de 2008). *google*. Obtenido de <http://sitiohistorico.sernageomin.c/pdf/mineria/seguridad/2008guiaventilacionminas.pdf>
- Miranda, A. N. (10 de febrero de 2007). *google*. Obtenido de https://mapserver.sgm.gob.mx/.../InventariosMinerosWeb/T2207NUMA0001_01.PDF
- Salinas, E. A. (15 de diciembre de 2004). *google*. Obtenido de https://mapserver.sgm.gob.mx/.../InventariosMinerosWeb/T2204AASE0002_01.pdf
- SGM. (1 de Diciembre de 2018). *google*. Obtenido de Panorama minero del Estado de Querétaro: <https://www.sgm.gob.mx/pdfs/QUERETARO.pdf>
- Sinkankas, J. (1964). *Mineralogy*. New Jersey: Van Nosstrand Reinhold Co.
- Souza, J. (1986). *La Negra*. México D.F: Minas Mexicanas Tomo 3.
- Webster, R. (1975). *Gems their sources, description and identification* . London England: Butter Worths.
- Williams, M. (2009). *Introducción a la gestión de proyectos*. Madrid, España: Anaya Multimedia.
- Zitron, V. (01 de agosto de 2010). *google*. Obtenido de https://www.zitron.com/equipos_mineria.php

ANEXOS

ANEXO 1.- TABLAS

Tabla 1. Cálculo de turnos requeridos para el cuele de la frente de extracción

# Turnos	# Barrenos / cuele	Avance (m) / cuele	Avance acumulado (m)
10	32	1.5	15
20	32	1.5	30
30	32	1.5	45
40	32	1.5	60
50	32	1.5	75

Se consideraron los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Número de barrenos por cuele*
- *Avance en metros por disparo*
- *Avance acumulado en metros*

Nota: datos registrados cada 10 turnos para simplificar la información

Tabla 2. Cálculo de turnos requeridos para el cuele de cruceros de extracción

# Turnos	# Barrenos / cuele	Avance (m) / cuele	Avance acumulado (m)
2	42	1.5	3
4	42	1.5	6
6	42	1.5	9
8	42	1.5	12
10	42	1.5	15
12	42	1.5	18
14	42	1.5	21

Se consideraron los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Número de barrenos por cuele*
- *Avance en metros por disparo*
- *Avance acumulado en metros*

Nota: datos registrados cada 2 turnos para simplificar la información

Tabla 3. Cálculo de turnos requeridos para la habilitación de la rampa general

# Turnos	# Barrenos / metro	Avance (m/turno)	Acumulado de bnos/turno
4	4	36	144
8	4	72	288
12	4	108	432
16	4	144	576
20	4	180	720
24	4	216	864

Se consideraron los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Número de barrenos por metro de descabece*
- *Avance en metros por turno*
- *Acumulado total de barrenos*

Nota: datos registrados cada 2 turnos para simplificar la información

Tabla 4. Cálculo de turnos requeridos para el rezagado de la rampa general

# Turnos	Turno 2da	Tonelaje
1	Rezagado	40
2	Rezagado	80
3	Rezagado	120
4	Rezagado	160
5	Rezagado	200
6	Rezagado	240
7	Rezagado	280
8	Rezagado	320
9	Rezagado	360
10	Rezagado	400
11	Rezagado	440
12	Rezagado	480

Se consideraron los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Tonelaje movido por turno*
- *Tonelaje total acumulado*

Nota: datos registrados cada turno para manejo de la información

Tabla 5. Cálculo de turnos requeridos para el primer desborde de la frente 01

# Turnos	# Barrenos / línea de desborde	Avance (m) / línea de desborde	Avance de desborde (m) / turno	# Barrenos / turno
1	12	1.5	4.5	36
2	12	1.5	9	72
3	12	1.5	13.5	108
4	12	1.5	18	144
5	12	1.5	22.5	180
6	12	1.5	27	216
7	12	1.5	31.5	252
8	12	1.5	36	288
9	12	1.5	40.5	324
10	12	1.5	45	360
11	12	1.5	49.5	396
12	12	1.5	54	432
13	12	1.5	58.5	468
14	12	1.5	63	504
15	12	1.5	67.5	540
16	12	1.5	72	576
17	12	1.5	76.5	612
18	12	1.5	81	648
19	12	1.5	85.5	684
20	12	1.5	90	720

Se consideraron los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Número de barrenos por línea de desborde*
- *Avance en metros por desborde*
- *Acumulado total de barrenos*

Nota: datos registrados cada turno para manejo de la información

Tabla 6. Cálculo de turnos requeridos para descabece y desborde de la frente 01

# Disparos	# Barrenos / descabece	Avance (m) / turno	# Barrenos / turno
5	23	10	115
10	23	20	230
15	23	30	345
20	23	40	460
25	23	50	575
30	23	60	690
35	23	70	805
40	23	80	920
45	23	90	1035

Se consideraron los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Número de barrenos por descabece*
- *Avance en metros por descabece*
- *Acumulado total de barrenos*

Nota: datos registrados cada 5 turnos para simplificar la información

Tabla 7. Cálculo de turnos requeridos para el rezagado de la frente 01

# Turnos	ton / turno	ton acumulado	# turnos	ton / turno	ton acumulado
1	400	400	7	400	2800
2	400	800	8	400	3200
3	400	1200	9	400	3600
4	400	1600	10	400	4000
5	400	2000	11	158	4158
6	400	2400			

Se consideran los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Remanente de mineral movido*
- *Tonelaje acumulado de mineral*

Nota: datos registrados cada turno para manejo de la información

Tabla 8. Cálculo de turnos requeridos para el desborde final de la frente 01

# Turnos	# Barrenos / línea de desborde	Avance (m) / línea de desborde	Avance de desborde (m) / turno	# Barrenos / turno
1	12	1.5	4.5	36
2	12	1.5	9	72
3	12	1.5	13.5	108
4	12	1.5	18	144
5	12	1.5	22.5	180
6	12	1.5	27	216
7	12	1.5	31.5	252
8	12	1.5	36	288
9	12	1.5	40.5	324
10	12	1.5	45	360
11	12	1.5	49.5	396
12	12	1.5	54	432
13	12	1.5	58.5	468
14	12	1.5	63	504
15	12	1.5	67.5	540
16	12	1.5	72	576
17	12	1.5	76.5	612
18	12	1.5	81	648
19	12	1.5	85.5	684
20	12	1.5	90	720

Se consideraron los siguientes parámetros:

- *Total de turnos requeridos*
- *Número de barrenos por línea de desborde*
- *Avance en metros por desborde*
- *Acumulado total de barrenos*

Nota: datos registrados cada turno para manejo de la información

Tabla 9. Turnos requeridos para el rezagado final de la frente 01

# Turnos	ton/turno	ton acumulado
1	400	400
2	400	800
3	400	1200
4	312	1512

ANEXO 2.- CÁLCULOS PARA LA HABILITACIÓN DE SUBNIVELES

Tonelaje generado para la primera fase de desborde del SN-1 es el siguiente:

Ancho tabla: 1 metro.

Alto obra: 3 metros.

Longitud frente: 90 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho tabla x alto obra x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 1 m x 3 m x 90 m x 2.8 ton/m³ = 756 toneladas.

Se consideró que el desborde de la frente era de un metro por cada lado de la tabla:

$$756 \text{ t} \times 2 = \mathbf{1,512 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para la segunda fase de descabece del SN-1 es el siguiente:

Ancho sección: 7 metros.

Alto sección: 1.5 metros.

Longitud frente: 90 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho sección x alto sección x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 7 m x 1.5 m x 90 m x 2.8 ton/m³

$$\text{Tonelaje} = \mathbf{2,646 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para la tercera fase de desborde del SN-1 es el siguiente:

Ancho tabla: 1 metro.

Alto obra: 3 metros.

Longitud frente: 90 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho tabla x alto obra x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 1 m x 3 m x 90 m x 2.8 ton/m³ = 756 toneladas.

Considerando que el desborde de la frente fue de un metro por cada lado de la tabla:

$$756 \text{ t} \times 2 = \mathbf{1,512 \text{ t}}$$

Tonelaje total de mineral generado del SN-1 = 1,512 t + 2,646 t + 1,512 t = **5,670 t**

Tonelaje generado para la primera fase de desborde del bloque 1 del SN-3 es:

Ancho tabla: 1 metro.

Alto obra: 3 metros.

Longitud frente: 80 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho tabla x alto obra x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 1 m x 3 m x 80 m x 2.8 ton/m³ = 672 toneladas.

Considerando que el desborde de un metro por cada lado de la tabla se tiene que:

$$672 \text{ t} \times 2 = \mathbf{1,344 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para la segunda fase del descabece del bloque 1 del SN-3 es:

Ancho sección: 5 metros.

Alto sección: 1.5 metros.

Longitud frente: 80 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho sección x alto sección x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 5 m x 1.5 m x 80 m x 2.8 ton/m³

$$\text{Tonelaje} = \mathbf{1,680 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para la tercera fase de desborde del bloque 1 del SN-3 es:

Ancho tabla: 1 metro.

Alto obra: 3 metros.

Longitud frente: 80 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho tabla x alto obra x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 1 m x 3 m x 80 m x 2.8 ton/m³

Tonelaje = 672 toneladas.

Considerando que el desborde es de un metro por cada lado de la tabla:

$$672 \text{ t} \times 2 = \mathbf{1,344 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para la primera fase de desborde del bloque 2 del SN-3 es:

Ancho tabla: 1 metro.

Alto obra: 3 metros.

Longitud frente: 40 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho tabla x alto obra x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 1 m x 3 m x 40 m x 2.8 ton/m³ = 336 toneladas.

Considerando que el desborde es de un metro por cada lado de la tabla se tiene que:

$$336 \text{ t} \times 2 = \mathbf{672 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para la segunda fase del descabece del bloque 2 del SN-3 es:

Ancho sección: 5 metros.

Alto sección: 1.5 metros.

Longitud frente: 40 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho sección x alto sección x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 5 m x 1.5 m x 40 m x 2.8 ton/m³

$$\text{Tonelaje} = \mathbf{840 \text{ t}}$$

Tonelaje total de mineral generado del SN-3 = 1,344 t + 1,680 t + 1,344 t + 672 t + 840 t = **5,880 t**

Tonelaje generado para la primera fase de desborde del bloque 1 del SN-4 es:

Ancho tabla: 1 metro.

Alto obra: 3 metros.

Longitud frente: 60 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m³

Tonelaje = ancho tabla x alto obra x longitud frente x densidad mineral

Tonelaje = 1 m x 3 m x 60 m x 2.8 ton/m³ = 504 toneladas.

Considerando que el desborde es de un metro por cada lado de la tabla se tiene:

$$504 \text{ t} \times 2 = \mathbf{1,008 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para el descabece del bloque 1 del SN-4 es el siguiente:

Ancho sección: 5 metros.

Alto sección: 1.5 metros.

Longitud frente: 60 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m^3

Tonelaje = ancho sección x alto sección x longitud frente x densidad mineral

$$\text{Tonelaje} = 5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 60 \text{ m} \times 2.8 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Tonelaje} = \mathbf{1,260 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para la primera fase de desborde del bloque 2 del SN-4 es:

Ancho tabla: 1 metro.

Alto obra: 3 metros.

Longitud frente: 20 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m^3

Tonelaje = ancho tabla x alto obra x longitud frente x densidad mineral

$$\text{Tonelaje} = 1 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 2.8 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Tonelaje} = 168 \text{ toneladas.}$$

Considerando que el desborde es de un metro por cada lado de la tabla se tiene:

$$168 \text{ t} \times 2 = \mathbf{336 \text{ t}}$$

Tonelaje generado para el descabece del bloque 2 del SN-4 es el siguiente:

Ancho sección: 5 metros.

Alto sección: 1.5 metros.

Longitud frente: 20 metros.

Densidad del mineral: 2.8 ton/m^3

Tonelaje = ancho sección x alto sección x longitud frente x densidad mineral

$$\text{Tonelaje} = 5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 2.8 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Tonelaje} = \mathbf{420 \text{ t}}$$

$$\text{Tonelaje total generado del SN-4} = 1,008 \text{ t} + 1,260 \text{ t} + 336 \text{ t} + 420 \text{ t} = \mathbf{3,024 \text{ t}}$$

ANEXO 3.- CÁLCULO DE CAUDAL DE AIRE PARA EQUIPOS DIÉSEL

CAUDAL REQUERIDO PARA EL CARGADOR FRONTAL

Q_{cf} = Caudal cargador frontal

$$Q_{cf1} = 250 \text{ HP} \times 100 \text{ pies}^3/\text{min} = 25,000 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{cf2} = 250 \text{ HP} \times 100 \text{ pies}^3/\text{min} \times 0.75 = 18,750 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{cftot} = \mathbf{43,750 \text{ pies}^3/\text{min}}$$

CAUDAL REQUERIDO PARA LOS CAMIONES DE BAJO PERFIL

Q_{cbp} = Caudal camión de bajo perfil

$$Q_{cbp1} = 270 \text{ HP} \times 100 \text{ pies}^3/\text{min} = 27,000 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{cbp2} = 270 \text{ HP} \times 100 \text{ pies}^3/\text{min} \times 0.75 = 20,250 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{cbptot} = \mathbf{47,250 \text{ pies}^3/\text{min}}$$

CAUDAL REQUERIDO PARA VEHÍCULOS

Q_{veh} = Caudal vehículos ligeros

$$Q_{veh1} = 110 \text{ HP} \times 100 \text{ pies}^3/\text{min} = 11,000 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{veh2} = 270 \text{ HP} \times 100 \text{ pies}^3/\text{min} \times 0.75 = 8,250 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{vehtot} = 19,250 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{toteq} = Q_{cftot} + Q_{cbptot} + Q_{vehtot}$$

$$Q_{toteq} = 43,750 \text{ pies}^3/\text{min} + 47,250 \text{ pies}^3/\text{min} + 19,250 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{toteq} = \mathbf{110,250 \text{ pies}^3/\text{min}}$$

Para el caso del personal que esté trabajando en el N-2200 se tienen contempladas 15 personas en promedio por turno.

$Q_{\text{trab}} = \text{Caudal de trabajadores}$

$$Q_{\text{trab}} = 15 \text{ trabajadores} \times 3 \text{ m}^3/\text{min} = 45 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{trab}} = \mathbf{1,600 \text{ pies}^3/\text{min} \text{ (aproximadamente)}}$$

Por lo tanto, el caudal requerido para equipos y trabajadores es el siguiente:

$Q_{\text{req}} = \text{caudal requerido}$

$$Q_{\text{req}} = Q_{\text{toteq}} + Q_{\text{trab}}$$

$$Q_{\text{req}} = 110,250 \text{ pies}^3/\text{min} + 1,600 \text{ pies}^3/\text{min} = \mathbf{111,850 \text{ pies}^3/\text{min}}$$

Finalmente, al caudal obtenido se le agrega el 20 % del Q requerido por concepto de fugas y filtraciones.

$$Q_{\text{filtraciones}} = Q_{\text{total}} \times 0.20$$

$$Q_{\text{filtraciones}} = 111,850 \text{ pies}^3/\text{min} \times 0.20$$

$$Q_{\text{filtraciones}} = \mathbf{22,370 \text{ pies}^3/\text{min}}$$

CAUDAL TOTAL DE VENTILACIÓN

$Q_{\text{total}} = \text{caudal total}$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{toteq}} + Q_{\text{trab}}$$

$$Q_{\text{total}} = 111,850 \text{ pies}^3/\text{min} + 22,370 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{total}} = \mathbf{134,220 \text{ pies}^3/\text{min}}$$

$$Q_{\text{total}} = \mathbf{63.344 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

ANEXO 4.- DIAGRAMAS DE GANTT

Gráfico 1. Diagrama de actividades de Gantt - Etapa de preparación

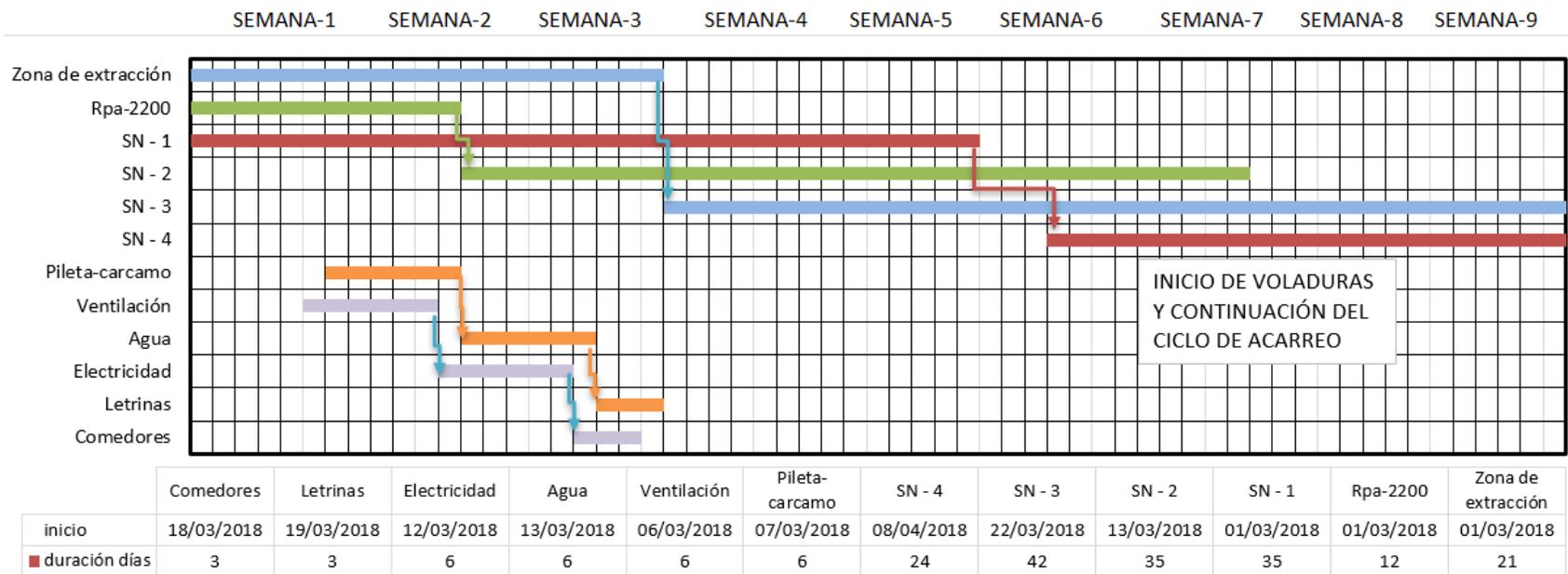
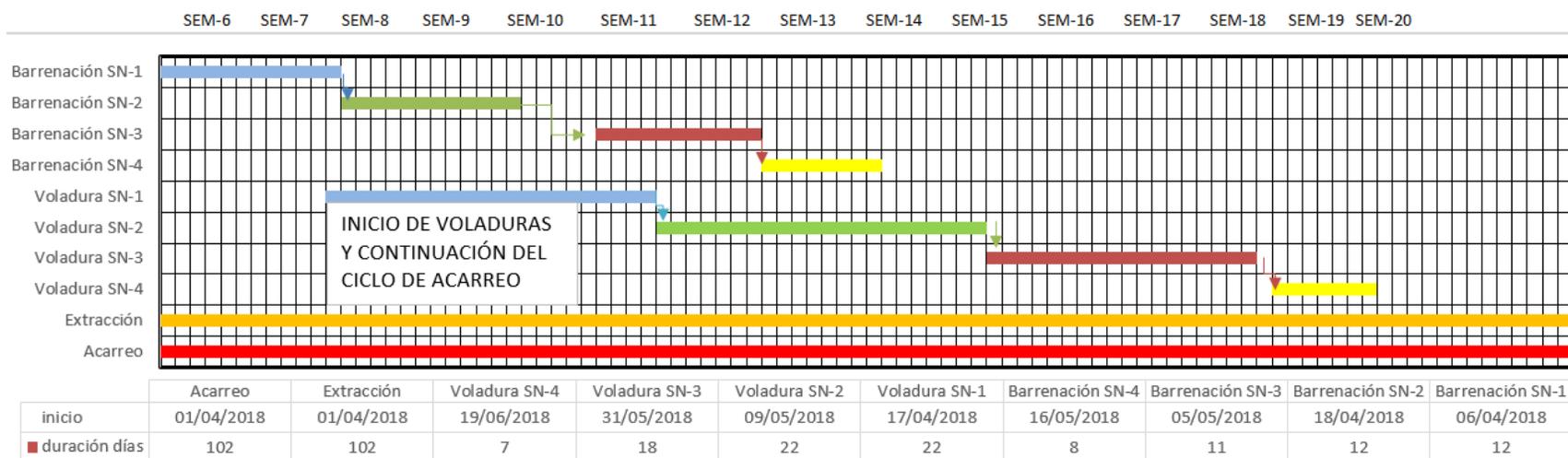


Gráfico 2. Diagrama de actividades de Gantt - Etapa de producción



ANEXO 5.- BASES PARA EL CÁLCULO DE LA PLANTILLA DE BARRENACIÓN Y EL FACTOR DE CARGA

Cálculo de la plantilla de barrenación

H = altura de banco (m).

Φ = diámetro de barreno (in).

B = bordo (m).

E = espaciamiento (m).

T = taco (m).

ρ_{exp} = densidad del explosivo [g/CC].

ρ_{roca} = densidad de la roca [g/CC].

C.C = carga de columna

A.E = alto explosivo.

V.B = volumen del bloque m^3 .

P = producción m^3 .

N.B = número de barrenos.

- Para el cálculo del bordo se tiene la siguiente fórmula:

BORDO.-

$\Phi = 3$ in.

$\rho_{exp} = 0.85$ gr/cm³

$\rho_{roca} = 2.8$ gr/ cm³

$$B = \left(\frac{2\rho_{exp}}{\rho_{roca}} + 1.5 \right) \times \Phi(0.3048)$$

$$B = \left(\frac{2(0.85)}{2.8} + 1.5 \right) \times (3)(0.3048) = 1.9267 \text{ m.}$$

El bordo utilizado es de 2 metros.

- Para el cálculo del espaciamiento se tienen las siguientes fórmulas:

$$1. \text{ Si } H < 4B \rightarrow E = (H + 2B)/3$$

$$2. \text{ Si } H > 4B \rightarrow E = 2B$$

Tomando la condición 2 se tiene que:

$$15 > 4(1.9267) = 7.7068.$$

Entonces el espaciamiento queda de la siguiente manera:

$$E = 2(1.9267) = 3.8534 \text{ m.}$$

Nota: de acuerdo con la experiencia profesional adquirida, para el espaciamiento se consideró una longitud de 2.30 m. El dato obtenido de la fórmula es solo un parámetro y se aplica de manera diferente en un tajo abierto vs mina subterránea.

Para el espaciamiento se consideró de 2.33 m.

- Para el cálculo del taco se tiene la siguiente fórmula:

$$T = (0.7 - 1.3)B$$

$$T = 1.3(1.9267) = 2.5047 \text{ m.}$$

- Para el cálculo de la carga de columna se tiene la siguiente fórmula:

$$C.C = \varnothing^2 0.5 \rho_{exp}$$

$$C.C = (3)^2(0.5) (850) \text{ kg/m}^3 = 3.825 \text{ kg/m.}$$

- Para el cálculo del alto explosivo se tiene la siguiente fórmula:

$$A.E = 0.4B$$

$$A.E = 0.4(1.9267) = 0.77068 \text{ kg/m.}$$

- Consumo total de explosivo = $3.825 + 0.77068 = 4.595 \text{ kg/m.}$

- Para el cálculo del volumen del bloque se tiene la siguiente fórmula:

$$V.B = H \times B \times S$$

$$V.B = 15 (2) (2.3) = 69 \text{ m}^3$$

- Para el cálculo de la producción total del bloque se tiene la siguiente fórmula:

Producción = ancho de veta (m) x longitud del subnivel (m) x altura de banco (m).

$$P = 7 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 10,500 \text{ m}^3$$

- Para calcular el número de barrenos totales se tiene la siguiente fórmula:

$$N.B = \frac{PRODUCCIÓN (m3)}{V.B (m3)}$$

$$N.B = \frac{10,500 m3}{69 m3} = 152 \text{ barrenos}$$

- Para calcular el consumo de explosivo se utiliza una relación de 90 % de consumo de anfo por el 10 % de consumo de alto explosivo.

ANFO = suma total de explosivo x 90 %

ANFO = 4.595 kg/m x 0.90 % = 4.136 kg/m.

EMULSIÓN = suma total del explosivo x 0.1 %

EMULSIÓN = 4.595 kg/m x 0.1 % = 0.459 kg/m.

- Para el cálculo del explosivo por metro lineal se tiene lo siguiente:

ANFO = 0.85(4.595) (4.136) = 16.154 kg/m.

EMULSIÓN = 1.2(4.595) (0.459) = 2.53 kg/m.

Usando la relación de 90:10 se requiere de un consumo total de explosivo de:

EXPLOSIVO TOTAL = ANFO + EMULSIÓN

E. T = 16.154 kg/m + 2.53 kg/m = 18.684 kg/m.

Se consideró una longitud de barreno de 15 metros, menos la longitud del taco de 2.5 m, quedando una longitud real de 12.5 metros lineales.

Longitud real = longitud total – taco.

L.R = 15 m – 2.5 m = 12.5 m.

La relación del explosivo se hizo de 90:10, se tiene el siguiente resultado:

Anfo = 12.5 (0.9) = 11.25 m.

Emulsión = 12.5 (.1) = 1.25 m.

La cantidad de explosivo a utilizar para el barreno de 15 metros es el siguiente:

Anfo = 11.25 m x 16.154 kg/m = 181.733 kg.

Emulsión = 1.25 m x 2.5 kg/m = 3.163 kg.

Explosivo total = 184.895 kg.

Nota: de acuerdo con las pruebas realizadas se determinó el uso de 125 kg de Mexamón, esta cantidad fue la óptima para tener una buena fragmentación de la roca sin causar daños estructurales en las tablas del alto y al bajo de la veta, reduciendo con ello costos en los insumos.

Anfo: 125 kg.

Emulsión: 3.125 kg.

Explosivo total: 128.125 kg.

Cálculo del volumen del barreno

$$V_b = \pi r^2 h$$

$$h = 12.5 \text{ m.}$$

$$r = 0.0381 \text{ m.}$$

$$V_b = \pi (0.0381)^2 (12.5) = 0.057 \text{ m}^3.$$

$$0.057 \text{ m}^3 \times 2,800 \text{ kg/m}^3 = 159.61.52 \text{ kg.}$$

- FACTOR DE CARGA

$$F.C = \frac{EXPLOSIVO}{TONELAJE}$$

$$F.C = \frac{128.125 \text{ kg}}{1,150 \text{ tn}} = 0.111 \text{ kg exp/ tn min}$$