

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISION DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y MINAS

“MINA LA ENCANTADA FIRST MAJESTIC SILVER
CORP S.A. DE C.V.”

The seal of the University of Sonora is a circular emblem. It features a central shield with a lamp of knowledge, an open book, and a sun. The shield is flanked by two figures holding a banner. The text "UNIVERSIDAD DE SONORA" is written around the perimeter of the seal. The year "1942" is visible at the bottom of the seal.

**MEMORIA
DE PRÁCTICAS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MINERO

PRESENTA:

JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA ARMENDÁRIZ

HERMOSILLO, SONORA. FEBRERO DE 2018

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

26 de enero de 2018.

P.I.M. JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA ARMENDÁRIZ
Presente.-

Por este conducto le informo que después de presentar ante los miembros de la **ACADEMIA DE GEOMECÁNICA E INFRAESTRUCTURA MINERA**, su solicitud de aprobación del Tema: **MEMORIA DE PRACTICAS "MINA LA ENCANTADA FIRST MAJESTIC SILVER CORP, S.A. DE C.V."**, que usted propone para obtener el título de **INGENIERO MINERO**, me es grato hacer de su conocimiento que hemos acordado **APROBAR** la propuesta que nos ha enviado, a fin de brindarles la oportunidad de presentar su Examen Profesional según lo establecido por la normatividad vigente.

Asimismo, les informo que la Academia Revisora quedó integrada como sigue:

DIRECTOR:	DR. JUAN MANUEL RODRIGUEZ ZAVALA
ASESOR:	M.C. TOMAS FERNANDO VILLEGAS BARBA
ASESOR:	ING. NEMESIO FÉLIX FÉLIX

Aprovecho la oportunidad para desearle el mayor de los éxitos y solicitarle su mejor esfuerzo para el bien del trabajo académico de nuestra institución.

ATENTAMENTE,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Juan M. Rodriguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DE ACADEMIA

mjri



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

16 de febrero de 2018.

P.I.M. JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA ARMENDÁRIZ
Presente.-

Por medio de la presente, informo a usted que después de analizar su solicitud de aprobación del Tema: **MEMORIA DE PRÁCTICAS "MINA LA ENCANTADA FIRST MAJESTIC SILVER CORP, S.A. DE C.V."**, hemos tenido a bien emitir un dictamen satisfactorio del contenido del mismo, después de revisar cuidadosamente el trabajo desarrollado y verificar que los objetivos propuestos se hayan alcanzado, según lo establecido con anterioridad.

Por tal motivo, la Comisión extiende su autorización para proceder a la edición e impresión final del documento y, posteriormente, presentar el examen profesional en la fecha que de común acuerdo se convenga.

A T E N T A M E N T E,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Juan M. Rodríguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DE ACADEMIA

Juan M. Rodríguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DEL JURADO
(DIRECTOR)

Tomás F. Villegas Barba
M.C. TOMÁS FERNANDO VILLEGAS BARBA
SECRETARIO DEL JURADO
(ASESOR)

Nemesio Félix Félix
ING. NEMESIO FÉLIX FÉLIX
VOCAL DEL JURADO
(ASESOR)

'mjri

INDICE

1. INTRODUCCION.....	3
1.1. First Majestic Silver Corp.....	4
1.2. Ubicación.....	4
1.3. Proceso de inducción para ingresar a la unidad	5
1.4. Glosario y conceptos mineros	8
2. EXPLORACION	10
3. GEOLOGIA.....	11
3.1. Levantamiento geológico.....	11
3.2. Muestreo	11
3.3. Geología local	13
3.3.1 Geología estructural	13
3.3.2 Estratigrafía.....	13
3.3.3 Zona mineralizada.....	13
3.3.4 Mineralogía	14
3.3.5 Cuerpos mineralizados.....	14
4. OPERACIÓN MINA Y PRODUCCION	16
4.1. Criterios de selección de maquinaria y equipos.....	17
4.2. Método de explotación	22
4.2.1 Mecánica de rocas	27
4.2.2 Comportamientos de una excavación.....	28
4.2.3 Explosivos y plantillas de barrenación.....	29
4.2.4 Servicios en interior mina	31
4.3 Ciclos y tiempos de producción	32
5. SEGURIDAD MINERA.....	34
6. ANEXOS.....	36
6.1 Rol de un supervisor de mina	36
7. CONCLUSIONES.....	39
8. REFERENCIAS	40

1. INTRODUCCION

El siguiente trabajo consta de una recopilación de información y datos técnicos obtenidos durante la realización de prácticas profesionales, en este caso una residencia de tres meses en condiciones del contrato firmado en la compañía minera First Majestic Silver Corp en "Minera la Encantada".

A manera de reporte se presentan datos de interés sobre equipos, rendimientos, e información sobre los ciclos y métodos de minado que se utilizan en mina. De igual manera se reportan los distintos factores que disminuyen la eficiencia y productividad de los trabajos en la operación mina.

El objetivo principal del siguiente reporte es que el mismo pueda ser utilizado como guía de apoyo para alumnos que sienten incertidumbre al momento de realizar su primer práctica profesional, pues como complemento a lo teórico se plasmarán aspectos prácticos aplicados día a día en las operaciones realizadas en una mina subterránea.

En los primeros apartados se habla un poco sobre la historia y datos de interés sobre la compañía minera que si bien no son datos operativos, es importante conocer los datos generales y antecedentes de la organización.

1.1. First Majestic Silver Corp

Es una empresa minera enfocada en la producción de plata en México trabajando activamente en el desarrollo de sus activos de propiedades minerales existentes con el fin de expandir sus proyectos de producción.

Actualmente, la compañía posee y opera seis minas de plata: La Parrilla, San Martín, La Encantada, La Guitarra, Del Toro y Santa Elena.

Se prevé que la producción de estas seis minas oscilará entre 11,1 y 12,4 millones de onzas de plata pura o 16,6 a 18,5 millones de onzas de equivalentes de plata en 2017.

La mayor operación de First Majestic es la mina **La Encantada**. Esta propiedad ha sido ampliada varias veces desde el 2006 para alcanzar la capacidad actual de 4.000 tpd. Funcionando a plena capacidad, la producción en La Encantada es de aproximadamente 4,1 a 4.3 millones de onzas de plata, en forma de barras de doré de plata, anualmente.

La administración está decidida a ampliar la base de activos de First Majestic y por lo tanto continúa investigando otros proyectos de etapa avanzada de plata interesantes en México. Los accionistas están a punto de sacar provecho de la rápida evolución de First Majestic en un productor de plata de clase mundial.

1.2 Ubicación

La Unidad minera La Encantada se ubica en una de las provincias fisiográficas de México, la Sierra Madre Oriental, en el Estado de Coahuila; a 165 km por la carretera que va de Muzquiz a Boquillas del Carmen, en el mismo estado de Coahuila se encuentra un acceso de terracería por el que se llega a la unidad aproximadamente a 45 km, con un tiempo promedio de recorrido de 3.5 horas (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de la Unidad Minera La Encantada.

1.3 Proceso de inducción para ingresar a la unidad

Para el ingreso a la unidad, es necesario cumplir con un curso de inducción. Esto es necesario pues existen factores que es necesario que conocer para evitar cualquier incidente. La inducción se llevó a cabo durante dos días de cursos intensivos.

Temas a abordar en la inducción:

- a) Integración del personal a la unidad.
- b) Conciencia sobre medio ambiente.

a) Integración a la unidad

MISION: Asegurar el crecimiento aumentando el valor de nuestros activos y recursos minerales de manera sustentable.

VISION: Formar un grupo minero en México donde la producción en los proyectos cuente con potencial y rentabilidad para sus accionistas.

PRINCIPIOS DE SEGURIDAD:

1. Dar seguimiento a la seguridad y salud en el trabajo.
2. Todos los sitios de trabajo deben estar seguros y bien señalizados.
3. El personal debe ser concientizado y capacitado para realizar sus actividades de forma segura.
4. Cada individuo es responsable de la salud y seguridad en el trabajo.
5. A todo el personal se le debe proporcionar el equipo de protección personal.

ACTIVIDADES Y ELEMENTOS PARA ELIMINAR, MINIMIZAR Y CONTROLAR LOS PELIGROS.

1. Utilizar el equipo de protección personal.
2. Amacice del área de trabajo.
3. Utilizar el autorescatador.
4. Portar el detector de gases.
5. Guardas de seguridad y señalizaciones.
6. Uso adecuado de explosivos y residuos peligrosos.
7. Orden y limpieza.
8. Procedimientos seguros de trabajo.
9. Inspecciones de áreas y equipos.
10. Pláticas de seguridad.
11. Concientizar personal para evitar acciones no seguras.

DERECHOS Y OBLIGACIONES Regulados en base a los siguientes documentos.

1. Ley federal del trabajo.
2. Ley del seguro social.
3. Contrato colectivo de trabajo.
4. Contrato individual de trabajo.
5. Reglamento de seguridad e higiene.
6. Políticas y procedimientos seguros de trabajo de la empresa.

OBLIGACIONES PARA INGRESAR AL EQUIPO DE FIRST MAJESTIC

1. Pasar examen médico.
2. Tener conocimientos, habilidades y aptitudes para trabajar en la empresa, pasando una prueba de tiempo.

PRINCIPALES RESPONSABILIDADES DE LOS TRABAJADORES STPS 023

1. Seguir los procedimientos seguros de trabajo establecidos por el patrón.
2. Participar en los programas de capacitación y adiestramiento.
3. Usar el equipo de protección personal.
4. Utilizar los dispositivos de seguridad.
5. Los conductores y operadores deben contar con documento que avale que lo pueden realizar.
6. Ser responsable por su integridad y salud.
7. Avisar de inmediato a supervisor o personal de seguridad cualquier incidente.

CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD

FORTALEZAS: Las fortalezas de una empresa que le ayudan a hacer frente a la situación laboral.

1. Experiencia y capacidad técnica.
2. Reservas de mineral existentes.
3. Nuevos proyectos mineros en puerta.
4. Capacidad financiera.
5. Grupo diversificado y competente.

DEBILIDADES: Aquellas circunstancias que hacen vulnerable el sistema.

1. Rotación de personal.
2. Productividad del equipo de trabajo y eficiencia.
3. Trabajo en equipo y comunicación entre departamentos.
4. Falta de compromiso a la tarea solicitada y poco sentido de urgencia.

OPORTUNIDADES: Situación del mercado laboral y empresas a gran escala.

1. Mercado en crecimiento como importante factor de desarrollo.
2. Precio de los metales limita o abre camino al crecimiento de la empresa.

RESPONSABILIDAD DEL SUPERVISOR

1. Realizar inspecciones diarias de seguridad para corregir deficiencias.
2. Impartir pláticas de seguridad a sus subordinados.
3. Investigar los accidentes e incidentes.
4. Elaborar y revisar los procedimientos seguros de trabajo.
5. Exigir un uso adecuado de materiales explosivos y residuos peligrosos.
6. Detectar necesidades de capacitación de sus colaboradores.
7. Poner el ejemplo utilizando el equipo de protección personal.
8. Mantener orden y limpieza en el área.
9. Otorgar permisos para realizar maniobras o trabajos peligrosos.
10. Contribuir a dar inducción.
11. Elaboración de reportes y estadísticas de seguridad.
12. Mantener y salvaguardar herramientas, materiales y equipo en óptimas condiciones.

b) Medio ambiente

LGEEPA: Ley general de equilibrio ecológico y protección ambiental.

Ley general del desarrollo forestal sustentable:

- a) Prohibido cazar, coleccionar, comercializar o traficar con flora o con fauna silvestre.
- b) Prohibido alimentar a los osos.
- c) En caso de usar fuego será bajo responsabilidad del causante tomando las precauciones necesarias.
- d) Prohibido realizar reparaciones, lavado o cambio de aceite en maquinaria y equipo fuera del área designada para tal fin (taller).
- e) El suministro de combustible será mediante bombeo.
- f) Respetar la vegetación circundante.
- g) En el caso de encontrar animales avisar a departamento de medio ambiente.
- h) Respetar estrictamente límites de velocidad.
- i) Los campamentos deben construirse respetando la vegetación.

Ley General Para la Prevención y Gestión de los residuos peligrosos:

- a) Clasificación de los residuos (figura 2)



Figura 2. Clasificación de los residuos peligrosos

1. Estar separado de las áreas de producción, servicios, oficinas y de almacenamiento de materiales.
2. Contar con muros de contención, y fosas de retención para la captación de los residuos o de los lixiviados.
3. Pasillos amplios, que permitan el tránsito de los grupos de seguridad en casos de emergencia.
4. Dispositivos para la extinción de incendios.
5. Señalamientos y letreros alusivos a la peligrosidad de los residuos peligrosos almacenados.
6. No existen conexiones con drenajes en el piso, válvulas de drenaje o cualquier otro tipo de apertura que pudieran permitir que los líquidos fluyan fuera del área protegida.
7. Las paredes están construidas con materiales no inflamables.
8. Ventilación para evitar la acumulación de vapores peligrosos en el área de almacén.

1.4 Glosario y conceptos mineros

Actividades peligrosas: Son todas las tareas derivadas de los procesos de trabajo que generan condiciones inseguras y sobreexposición de los trabajadores a los agentes físicos, químicos o biológicos, capaces de provocar daño a su salud o al centro de trabajo.

Amacice manual: Operación de amacice realizada con una barra especial, acondicionada especialmente para esta operación.

Amacice: Es la técnica para detectar y desprender rocas y planchones que se encuentran sueltas, o con posibilidad de soltarse, evitando que estos caigan en forma imprevista y descontrolada.

Barreno de piso: Perforaciones efectuadas en la zona baja del diagrama de disparo, a altura del piso de labor.

Barrenos: Son las perforaciones donde se coloca la carga de explosivo para el arranque de material.

Barricada: Delimitación de área de trabajo para prohibir el paso de persona ajeno a él.

Bombillo (tovex): Es un alto explosivo el cual junto con el fulminante inician la voladura.

Cañuela: Cuerda flexible en cuyo interior contiene una sustancia por la que se propaga una flama de manera uniforme, desde un punto de ignición hasta un punto de uso, normalmente un fulminante (cordón o mecha con la que se inicia la explosión).

Caso de emergencia: Es la posible ocurrencia de incendios, explosiones, derrames, inundaciones, intoxicaciones y derrumbes.

Contratista: Persona de trabajo que labora temporalmente en éste, involucrado directa o indirectamente con el proceso, y que por el motivo de su trabajo agrega un riesgo.

Cordón detonante (primacord): Es un cordón flexible que contiene un núcleo de alto explosivo y se usa para iniciar otros explosivos.

Cuadrilla de voladuras: Son dos personas, operador y ayudante, encargadas de cargar y disparar el lugar ya barrenado.

Equipo de Protección Personal (EPP): Conjunto de elementos y dispositivos, diseñados específicamente para proteger al trabajador contra accidentes y enfermedades que pudieran ser causados por agentes o factores generados con motivo de sus actividades de trabajo y de la atención de emergencias. En caso de que en el análisis de riesgo se establezca la necesidad de utilizar ropa de trabajo con características de protección, ésta será considerada equipo de protección personal.

Fortificación: es el reforzamiento de techo, piso y paredes de una obra minera mediante cualquier sistema de soporte estructural.

Fulminante: Es una cápsula que contiene un iniciador o explosivo primario.

Nonel: Es un detonante no eléctrico el cual puede ser de dos tiempos de retardo.

Perforista: Es el trabajador capacitado y autorizado por el patrón para el uso de explosivos.

Personal ocupacionalmente expuesto (POE): Son los trabajadores que con motivo de sus actividades laborales se encuentran en un ambiente de trabajo en el que esté presente algún riesgo de mayor impacto o que desarrollen una actividad peligrosa.

Polvorín: Lugar destinado para almacenar el material explosivo que llega a la unidad minera hasta antes de ser utilizado.

Procedimiento: Es la forma específica de llevar a cabo una actividad. Se expresa en documentos que contienen el objeto y el campo de aplicación de la actividad; ¿qué debe hacerse y quién debe hacerlo?; ¿cuándo, cómo y dónde se debe llevar a cabo?; ¿qué materiales, equipos y documentos deben utilizarse?; y ¿cómo deben controlarse y registrarse?.

Residente: Persona asignada por el contratista como responsable de los trabajos que se realizan con la empresa.

Riesgo: Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso o exposición peligrosa y la severidad del daño o deterioro de la salud que puede causar el suceso o exposición.

SPSST: Servicios Preventivos de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Voladura extraordinaria: Es la acción de volar el frente de trabajo de la mina con explosivos fuera de los horarios establecidos y solo será permitida por condiciones de riesgo que no puedan ser eliminadas de ninguna otra forma.

Voladura: Es la acción de volar el frente de trabajo de la mina con explosivo.

2. EXPLORACIÓN

En la Unidad Minera La Encantada, existe un equipo responsable de la geología de exploración en interior mina, encargado de evaluar y definir la extensión y comportamiento del yacimiento, por medio de barrenación, logueo y análisis, así como de estimar las reservas y estudiar la viabilidad del desarrollo de la mina.

El método de exploración geológica por barrenación a diamante ayuda a determinar el comportamiento de un yacimiento mineral. Tiene como objetivo localizar la continuación de estructuras mineralizadas aún no exploradas, probando que se apeguen al modelo geológico inferido del yacimiento, localizando con barrenación nuevos cuerpos con valores de Ag que justifiquen la rentabilidad de la mina y el desarrollo de la misma.

Plazas de barrenación y máquinas utilizadas en la Unidad Minera La Encantada:

Existen en interior mina cuatro plazas de barrenación, consisten en un área en la que se instalan las máquinas de barrenación de manera que el trabajo se realice con seguridad y eficiencia con el fin de cortar estructuras mineralizadas.

Nivel 1621: se encuentra la máquina **Tec 600-2 de TECMIN**, explorando el cuerpo **Ojuelas**.

- Cuenta con Wire Line y el diámetro de barrenación es NQ. Barrena hasta 500 m horizontales y 800 a 900 m negativo.

Nivel 1850: se encuentra la máquina **Tec 600-1 de TECMIN**, explorando El cuerpo Bonanza.

- Cuenta con Wire Line y el diámetro de barrenación es NQ. Barrena hasta 500 m horizontales y 800 a 900 m negativo.

Nivel 1870: se encuentra la máquina **Diamec 262 de PRASE**, explorando el sistema de vetas 990-2.

-Cuenta con Wire Line y el diámetro de barrenación es NQ. Barrena de 250 a 300 m.

Nivel 1810: se encuentra la máquina **Sandy Jr. de First Majestic Silver Corp.** explorando el sistema de vetas Buenos Aires.

-Es una máquina convencional de barrenos cortos y el diámetro de barrenación es TT-46. Barrena alrededor de 120 m.

3. GEOLOGÍA

El departamento de geología es el encargado de la operación en mina, como muestreo de obras en producción, control de la ley, análisis estructural e interpretación geológica del yacimiento.

3.1 Levantamiento geológico

Método mediante el cual se obtienen datos geológicos en interior mina, en base a lo observado en las obras como es el cielo, tablas o frentes, describiendo así, de forma gráfica fallas, fracturas, cuerpos mineralizados, mineralización y alteraciones.

Se debe conocer la geología regional y local, geología estructural y litología. Tener noción del comportamiento de las estructuras como datos estructurales, mineralización, etc.

3.2 Muestreo

Tiene como objetivo generar la información de los cuerpos en producción a través de recolección de muestras representativas para un análisis de éstas y así obtener la ley promedio de cada frente (obra desarrollada a rumbo de estructura) o rebaje (obra preparada para un sistema de explotación) y un mejor control del mineral que se está procesando y sirva de guía para la explotación de los cuerpos a minar, así mismo, es vital para el cálculo de reservas que se tienen en la unidad.

Debe realizarse bajo la supervisión del ingeniero geólogo encargado del rebaje en producción, con el cabo de muestreos y personal de geología capacitado, quienes deben tener experiencia en trabajo en interior mina, muestreo, conocer la ubicación de las obras, conocer las distintas estructuras y litología.

Procedimiento del muestreo sistemático

Antes de iniciar el muestreo se necesita eliminar condiciones inseguras, ventilar las áreas de trabajo para evitar concentraciones de gases tóxicos, monitoreo de gases en cada obra (no más de 100 ppm), lavado de la obra, verificar que el área no tenga rocas que puedan desprenderse y verificar el uso correcto del EPP.

1. Se procede al marcaje de la línea de muestreo dependiendo las características geológicas del área, con el siguiente criterio: La línea debe ser perpendicular al rumbo de la estructura mineralizada y debe marcarse al ancho de la obra, no solo la estructura sino también la roca encajonante, debido que al extraer el mineral no se hará de forma selectiva por lo que se debe considerar el porcentaje de dilución que esta área tendrá al ser explotada (Figura3).
2. Se extiende la lona sobre el piso sobre la cual caerá la muestra de aproximadamente 4 kg extraída sobre la línea de marcaje. Ésta debe estar limpia al momento de utilizarla así como el resto del equipo, para evitar contaminación con la muestra anterior.
3. Una vez seleccionada la muestra se procede a triturar, homogeneizar y subdividirse en 4 partes seleccionando únicamente dos extremos opuestos, esto para obtener una muestra más representativa del lugar.
4. Se empacan en bolsas plásticas previamente marcadas con un número de folio consecutivo atendiendo al orden de extracción de la muestra. Es de suma importancia que los folios de muestreo contengan datos de fecha, mina, lugar, nivel, tipo de muestra, ancho, ubicación y elemento a ser analizados como Ag, Pb, Zn y Cu.
5. Se realizan los croquis de lugar muestreado en el cual se debe especificar los lugares donde se extrajeron las muestras con los números de folio. Por último se trasladan las muestras al laboratorio de ensaye para ser analizados y registrando datos en una tabla para su respectivo análisis (figura 3 y tabla 1).

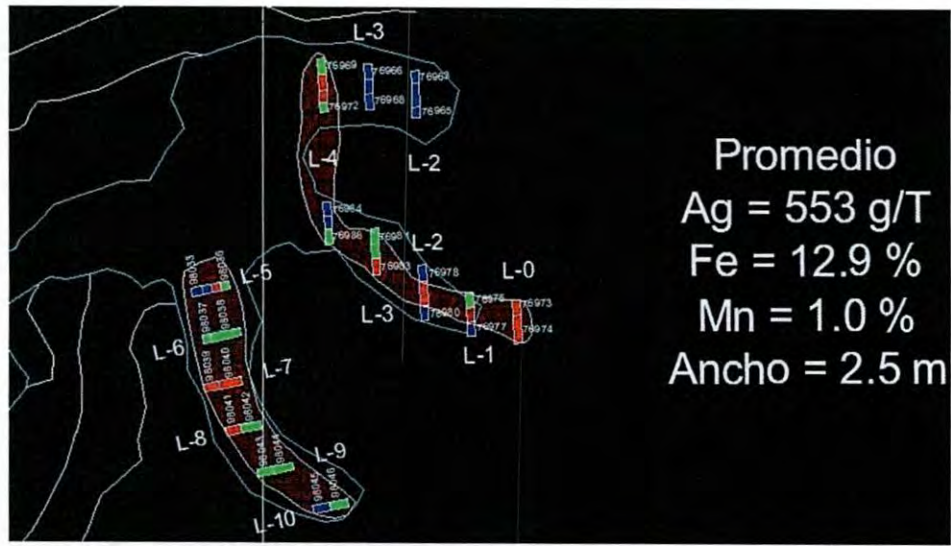


Figura 3. Líneas de muestreo sistemático en el Rebaje 310, Nivel 615 (Elaborado por el departamento de Geología Unidad Minera La Encantada, First Majestic Silver Corp, Julio 2014).

Tabla 1. Ensayes de muestreo sistemático del Rebaje 310, en el Nivel 1615.

LINEA	TICKET	ANCHO	Ag g/Ton	Pb (%)	Fe (%)	Zn (%)	Mn (%)	Cu (%)
L-2	76963	0.80	43	1.192	8.776	1.180	0.124	0.005
	76964	1.50	71	5.665	34.347	5.469	1.669	0.007
	76965	0.70	79	4.045	21.627	7.000	0.480	0.041
L-3	76966	1.00	46	2.373	12.612	7.045	0.420	0.011
	76967	0.90	79	1.480	12.954	13.145	1.297	0.024
	76968	1.00	46	1.815	17.718	14.161	1.427	0.069
	76969	1.00	152	5.665	36.617	9.498	1.693	0.008
L-5	76970	1.00	1070	7.000	34.690	10.418	0.473	0.007
	76971	0.80	766	4.950	17.695	8.362	0.783	0.011

Se presentó un claro ejemplo en el cual se muestra el papel que tiene el departamento de geología en la operación mina.

Se puede resumir en que el papel del geólogo es muestrear el área del rebaje, con el objetivo de determinar si el sitio es rentable o no para proceder con el tumbado del mineral, o el avance del proyecto.

3.3 Geología local

3.3.1 Geología estructural

El paquete sedimentario ha sido afectado por fuertes plegamientos formando anticlinales y sinclinales.

Existen dos sistemas principales de fallas el primero de orientación N30° – 40°W y el segundo NE-SW los cuales controlan la mineralización. Estos sistemas de fallamiento y fracturamiento son importantes ya que en algunos casos han servido como canales para la mineralización, por lo que dentro de la mina incluso se han determinado sus intersecciones con el propósito de detectar algún cuerpo semejante a bonanza que tuvo su origen a partir de la intersección de dos fallas (Industrias Peñoles, 1991).

3.3.2 Estratigrafía

De las rocas sedimentarias que se tienen aflorando y que se han visto en el interior de la mina, tenemos de las más antiguas a la más joven, las siguientes formaciones: **Cupido, Peña, Aurora y Cuesta del Cura.**

En general en el área se han detectado **algunos cuerpos intrusivos y diques** de composición félsica a intermedia que son de gran importancia, pues estos están íntimamente relacionados con la mineralización.

La edad que se asigna es Eoceno-Oligoceno (Industrias Peñoles, 1991).

3.3.3 Zona mineralizada

Consiste predominantemente en óxidos de Fe, carbonatos y sulfatos de Pb con altas concentraciones de Ag como resultado de un proceso de oxidación y enriquecimiento en un rango vertical conocido de más de 400 m. Por debajo de los 1,600m hay sulfuros de Pb- Ag- Zn en la parte SE (Addison *et al.*, 2009).

La forma de depósitos de la zona mineralizada son, vetas, mantos, brechas y diseminado, que alojan valores de Ag, Pb y Zn; así mismo, se observan diques mineralizados (Figura 4) con valores de Ag y Pb que se desprenden de un pórfido riolítico.

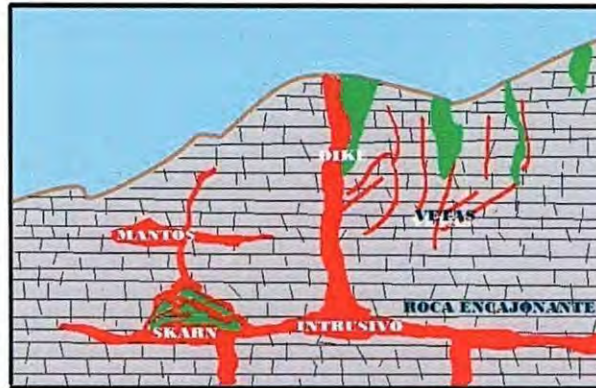


Figura 4. Diferentes tipos de estructuras geológicas mineralizadas presentes en la unidad (Ing. Fausto A.A.).

Vetas

Las vetas son estructuras que varían en composición, en general son angostas y pueden estar totalmente mineralizadas o bien tener, tanto en el alto como al bajo de algún dique hilos con óxidos de Fe o en ocasiones, atravesar algún estrato favorable, originar bolsas con leyes altas en Ag y Pb.

Mantos

Los mantos son estructuras que varían en espesor y al alternar con estratos de caliza estéril. Los cuerpos de contacto, están alojados en el contacto de calizas, su forma es lenticular y mineralogía similar a los demás cuerpos.

Roca encajonante

Roca encajonante es la formación donde se centran los estudios de mecánica de roca ya que es en ella donde se alojan los principales cuerpos de mineral. El espesor estimado es de 450 m (Industrias Peñoles, 1991).

3.3.4 Mineralogía

La mineralización de los cuerpos en el distrito se establece en dos etapas: una de minerales primarios principalmente sulfuros y otra cuando todos los elementos solubles de estos minerales mediante el proceso de oxidación que comienza cuando el fracturamiento drena agua meteórica apareciendo oxígeno libre, oxidando los minerales metálicos y desapareciendo los minerales solubles de su lugar mediante lixiviación, mientras que otros permanecen fijos o con poca movilidad, así se tiene que la pirita es desplazada en gran parte del CaCO_3 de la calcita y parte del azufre liberado de los sulfuros para formar cerusita y anglesita respectivamente, que permanecen en el mismo sitio; la esfalerita se disuelve y emigra en forma de ZnSO_4 .

Este proceso permitió la formación de concentración de minerales oxidados, con altos valores de plata y plomo que han hecho rentable su extracción.

3.3.5 Cuerpos mineralizados

En interior mina se aprecian una serie de estructuras geológicas (vetas-falla mineralizadas), estas con rumbo NE-SW 55° y un buzamiento promedio de 83 a 88° al SE, en ocasiones estos cuerpos cambian completamente la dirección de los echados que guían la mineralización, de las cuáles cerca del 80% del volumen de la producción en la Unidad Minera La Encantada provienen de estos cuerpos se muestra un plano meramente ilustrativo (figura 5).

Cuerpo 990-2

Este cuerpo se distingue por ser una estructura con clastos angulosos intercalados en la mineralización a lo que le podemos llamar brecha, es importante mencionar que no en toda la estructura es apreciable esta característica. Se ha desarrollado aproximadamente 400 m de longitud, teniendo zonas estrechas con bajos valores de Ag, y bolsadas mineralizadas (cavernas) generadas por choques de fallas NW-SE, con las vetas principales, en este caso NE-SW.

Cuerpo 990

La estructura 990 se empezó a explorar longitudinalmente y verticalmente, debido a una bolsada mineralizada, que se exploró en el nivel 1890, la cual fue generada por choques de fallas dirección NW-SE, esta caverna arrojó valores de Ag de 350 - 400 gr/ton. Debido a esta caverna y a la interpretación geológica se detectaron otras posibles cavernas a una distancia de 25 a 30 m. la cual se está explorando y minando en los niveles 1820, 1880 y 1900.

Cuerpo Azul y Oro

Al igual que los demás también presenta choques de fallas generando bolsadas, caracterizado por los altos valores de Ag. Azul y Oro es muy importante ya que es la única estructura que se ha desarrollado hacia la parte NE de la mina, después del Dique la Esperanza.

Cuerpo El regalo

La veta tuvo su inicio de exploración con obra en el nivel 1800 hacia el SW, cabe mencionar que es una veta con un ancho promedio de 1 m con valores que se mantiene en los 300 g de Ag. Durante el desarrollo hubo choque con fallas NW, que originó la Bx (brecha) El Regalo, la cual también ha sido uno de los lugares de producción importante para la mina.

Cuerpo Bueno Aires

Es uno de los cuerpos que empezó a dar volumen y ley a inicios de extracción de la Unidad Minera La Encantada, debido a que es la caverna más grande hasta el momento, por lo cual se decidió iniciar exploración con barrenación hacia el NE del cuerpo, los barrenos fueron positivos y debido a esto se tomó la decisión de explorar con obra directa este cuerpo, presentándose una veta-falla con altos valores de Ag.



Figura 5. Imagen donde se muestra cada una de las estructuras principales, 990-2, 990, Azul y Oro y El Regalo (Elaborado por el departamento de Geología Unidad Minera La Encantada, First Majestic Silver Corp).

4. OPERACIÓN MINA Y PRODUCCION

Se entiende como operación mina a todos los trabajos necesarios día a día desde la barrenación hasta la extracción del material, con el fin de producir mineral y obtener ganancias.

Consideremos dos conceptos importantes: Extracción de mineral y Producción de mineral.

Aun que son conceptos similares, la diferencia está en que la extracción de mineral se refiere a la cantidad de mineral que se extrae de un cuerpo mineralizado. Mientras que la producción se refiere a la cantidad de mineral que sale de la mina para ser procesado y beneficiado.

La mina es un sistema, el cual se compone de varios departamentos. Por citar algunos se pueden mencionar "Geología de exploración, Geología de muestreo, Topografía, Planeación, Geo mecánica, Mantenimiento, Planta, Departamentos Administrativos, entre otros". Entonces, para lograr la producción es de vital importancia la comunicación eficiente entre todos los elementos del sistema.

Durante la estancia como practicante en la mina, se pudo observar que los elementos del sistema no están eficientemente ciclados. Para ejemplificar y mencionar elementos del sistema los de mayor dependencia son los departamentos de Mina, Topografía, Planeación y Geología. En los cuales se presentan muchos problemas en cuanto al ciclo de actividades y manejo de información sobre nomenclatura y proyectos de la mina.

Puntos que pudieran solucionar o mejorar la situación en la unidad

Topografía:

Realizar un re-levantamiento topográfico de toda la unidad unificando el sistema de coordenadas. Esto es porque actualmente se cuentan con levantamientos de toda la unidad pero anteriormente se utilizaba otro sistema de coordenadas, lo cual ocasiona un desfase al momento de comparar planos. Se ve la clara necesidad de contratar otro topógrafo debido a que son un gran número de obras que día a día se avanzan. Por esta razón el tiempo no es suficiente para hacer levantamientos efectivos.

Geología:

Se ve la necesidad de actualizar o mejorar las condiciones del laboratorio de muestreo pues es fácil observar que en este no se cumple con la capacidad necesaria para satisfacer el número de muestras requeridas. Se puede pensar que durante el proceso de laboratorio, las muestras se contaminan o se confunden pues no hay un control eficiente.

Es necesario cumplir con el procedimiento seguro de trabajo para muestreo. Esto porque se ha observado que el personal de muestreo recorre a solas las áreas de trabajo recolectando muestras, mientras que en el procedimiento menciona que debe realizarse en compañía de un supervisor o ingeniero geólogo.

Planeación:

Mejorar y unificar el método de nomenclatura para los proyectos en interior mina, esto con el fin de tener una comunicación eficiente entre todos los departamentos. No se cuenta con la información detallada y ordenada, y mucho menos el fácil acceso a ella por parte del personal de mina. Trabajar en proyectos tales como contrapozos u obras de ventilación, o el diagrama unifilar de flujo de servicios.

Mina:

Mejorar el trabajo en equipo dentro de los turnos de trabajo, y cumplir eficientemente con el procedimiento seguro de trabajo para el pueblo.

Manejar la información real acerca de lo sucedido y resultados en el turno para comunicarlo al supervisor del siguiente turno.

Coordinar eficientemente al personal, con el fin de cumplir las metas planeadas.

Tener un panorama general de todo el proyecto en la unidad, no solo de sus respectivos rebajes. Mejorar el manejo de información. Implementar tecnologías para este fin. Por ejemplo tablas dinámicas, bases de datos, entre otras posibilidades.

Los puntos anteriores son posibilidades de mejoras para la unidad, pero es conocido que no se logra de la noche a la mañana. Esto debe seguir un proceso, el cual debe ser tomado en cuenta y no dejarlo como segundo plano en prioridades.

4.1 Criterios de selección de maquinaria y equipos

En la operación es fundamental tener un buen criterio en la elección de los equipos más adecuados a la obra, para poder lograr la mayor productividad en el turno. Es importante conocer la disponibilidad de equipos para poder coordinarlos de manera que todo fluya sin contratiempos.

En este punto de la operación es fundamental contar con un departamento de mantenimiento y talleres exclusivos para reparar equipos detrabajo.

Los equipos más usuales a considerar son los equipos de:

- a) Equipos de perforación.
- b) Equipos de rezagado.
- c) Equipos de acarreo.

a) Equipos de perforación:

La selección entre la perforadora de pierna y el jumbo es de acuerdo al yacimiento y las obras contempladas, además de la disponibilidad de servicios. Otro factor importante para elegir entre jumbo o máquina de pierna es la necesidad del avance o el volumen de material requerido, así como, las condiciones de estabilidad del terreno.

La finalidad del Jumbo y de la perforadora de pierna es básicamente la misma: ayudarnos a dar los barrenos o perforaciones en la roca, mismos que usaremos en el fragmentado mediante explosivos.

Máquina de pierna:

Aunque hay diferencias entre marcas de fabricantes, en la mina "La Encantada" se utilizan las "jackleg" o perforadoras de pierna articuladas, que se utilizan en la barrenación en general, sobre todo cuando es horizontal o inclinada (Figura 6).

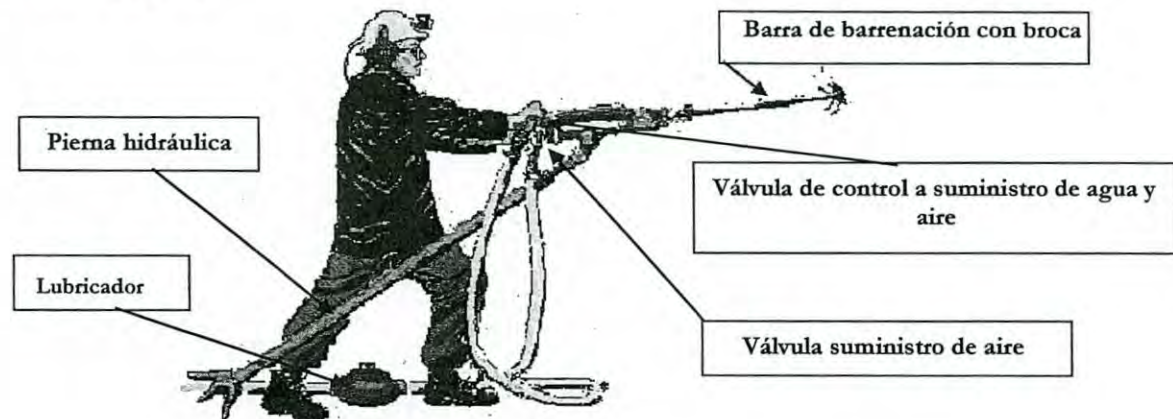


Figura 6. Se muestran los principales componentes en el sistema de la máquina neumática de pierna.

Perforadora jumbo:

Los jumbos mineros están compuestos por un conjunto de martillos perforadores montados sobre brazos articulados de accionamiento hidráulico para la ejecución de los trabajos de perforación por el frente.

La función principal de estos equipos es la perforación de avance o desarrollos horizontales, así como también la excavación vertical o radial para fortificación del túnel.

En la mina se cuenta con tres perforadoras jumbo, de las cuales dos son autónomas y una es eléctrica (Figuras 7 y 8).

El Sandvik es un jumbo de avance compacto y versátil para aplicaciones de perforación frontal, transversal y de barrenos para empernado en minería subterránea. Esta está diseñada para galerías de 3 x 3 metros.

Sistemas del jumbo:

Sistema hidráulico: para percusión, rotación, avance y posicionamiento. Sistema de agua: Para el barrido de la broca y enfriamiento del aceite hidráulico. Sistema de aire: Para lubricación y presurización del cabezal de la perforadora. Sistema eléctrico: Para la operación y control de los motores eléctricos.

Ventajas del jumbo autónomo:

Aumento en la productividad de perforación por el aumento de la velocidad de penetración y el uso de brocas de mayor diámetro, se incrementa la productividad.



Figura 7. Jumbo autónomo, funciona por combustión a diesel.



Figura 8. Jumbo eléctrico, funciona por medio un suministro de energía eléctrica.

b) Equipos de rezagado:

Después de que el mineral es arrancado de su estado natural con ayuda de la voladura, este queda fragmentado con tamaño de partículas que dependen del diseño de la voladura en cuestión. Debido a que se habla de toneladas, es necesario utilizar maquinaria pesada para ayudarnos a acelerar el proceso de rezagado (Figura 9).

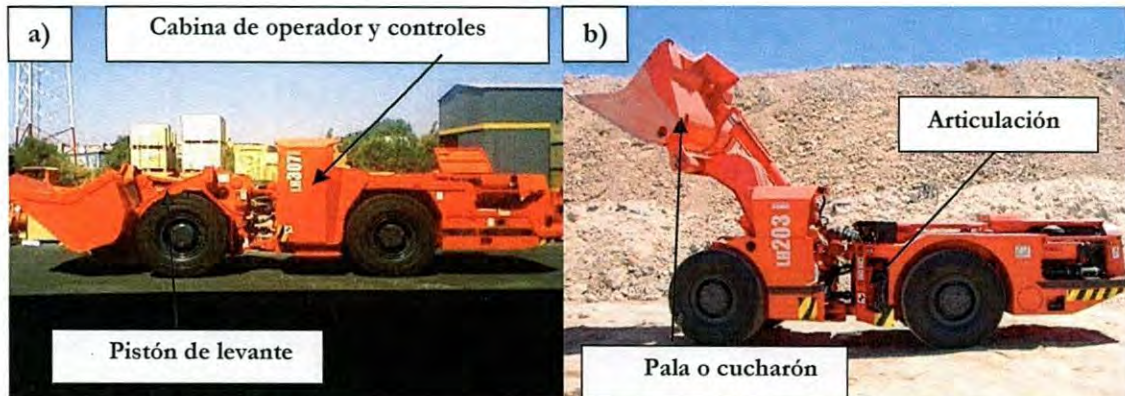


Figura 9. Se muestra los equipos de rezagado de bajo perfil utilizados en interior mina de acuerdo a su capacidad.

En este caso el criterio para seleccionar el equipo de rezagado más adecuado es muy sencillo, y se basa en el tamaño de la sección de la obra o en el tiempo requerido para rezagar dicho material.

En la mina se utilizan dos principales equipos de la proveedora SANDVIK: ScoopTram LH203 y ScoopTram LH307.

ScoopTram LH 203: En su nombre lo indica, el 2 significa que trabaja o cabe en secciones de 2x2, y el 03 indica su capacidad del cucharón de 3 tons (figura 9 (b)).

ScoopTram LH 307: En su nombre lo indica, el 3 significa que trabaja o cabe en secciones de 3x3, y el 07 indica su capacidad del cucharón de 7 ton (figura 9 (a)).

Por lógica sabemos que el de mayor capacidad es más eficiente para el rezagado, entonces aquí se encuentra el criterio del supervisor para la elección del equipo a utilizar.

Es muy importante contar con un equipo de mecánicos diesel especializados, para mantener en buen estado y constante disponibilidad los equipos de rezagado ya que estos participan en una etapa muy importante del proceso de producción la cual es el manto de mineral. Tiene mucho que ver que el operador esté bien capacitado en cuanto a las necesidades de su equipo, para que este sea tratado adecuadamente y preservar la integridad tanto de la máquina como la del operador mismo.

En ocasiones se tienen tiempos muertos en la producción debido a que no hay disponibilidad de equipos, pues a consecuencia de que estos operan en turnos consecutivos son susceptibles a fallas mecánicas o requieren su respectivo servicio y mantenimiento. Lo cual genera que el personal de mantenimiento diesel no pueda ocuparse a solucionar los detalles de cada equipo y aún más problemático en ocasiones que el equipo falla lejos del taller y no alcanza a ser transportado a este.

c) Equipos de acarreo:

Los camiones de acarreo son máquinas diseñadas y construidas para ejecutar el transporte de materiales entre diferentes sitios de la zona del proyecto.

El tamaño y la capacidad de los camiones de acarreo son sumamente variables. En el caso de la mina "La encantada", para el transporte de mineral o tepetate del rebaje hacia el contrapozo o stock se utilizan los camiones de bajo perfil, y para el transporte o acarreo del mineral del cargadero a la tolva o patios se utilizan los camiones dobles o simples.

Las principales partes componentes de un camión de acarreo son las siguientes:

Cabina o Tractor. Es el vehículo sobre el cual se instalan las partes componentes de la herramienta de trabajo. Su configuración es muy variable dependiendo del tipo de camión y del fabricante del mismo.

Caja. Es el recipiente en el cual se colocan los materiales que van a ser transportados. Su configuración también varía según el tipo de camión y del fabricante del mismo. La caja va articulada al bastidor del camión por medio de una bisagra ubicada en la parte trasera del camión.

Sistema hidráulico para descarga. Como todo sistema hidráulico está conformado por un tanque hidráulico, mangueras, válvulas y cilindros hidráulicos que tienen la función de controlar los movimientos de la caja en las operaciones de descarga. Los cilindros hidráulicos pueden ir instalados debajo de la caja o en las partes laterales de la misma.

Camión de bajo perfil:

Utilizado principalmente para el acarreo de material desde el rebaje al contra pozo o stock. Este es cargado con la ayuda de un ScoopTram a nivel del piso, no es necesario utilizar un cargadero. Con capacidad aproximada de 10 toneladas. En la unidad se cuenta con 4 camiones de bajo perfil propiedad de First Majestic Silver Corp (Figura 10).

En ocasiones se utiliza para mover o transportar equipos, materiales, o cualquier objeto.

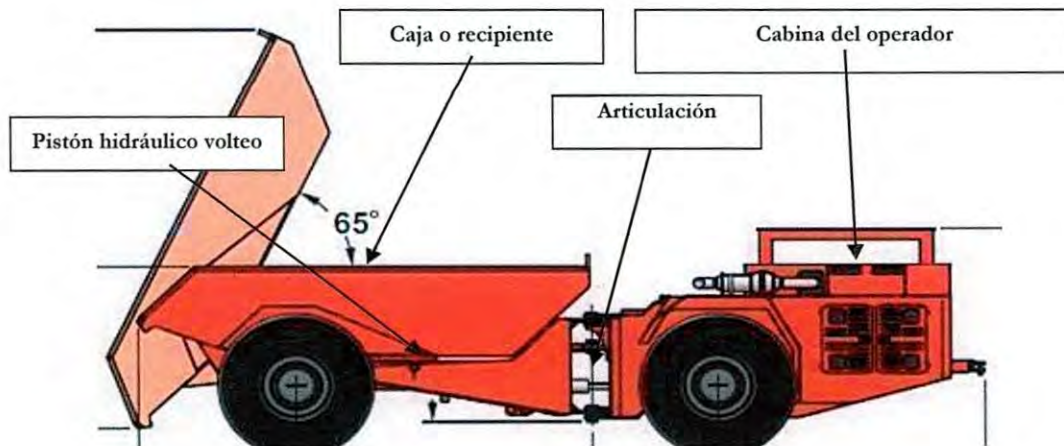


Figura 10. En esta imagen se muestra la configuración de un camión de volteo.

Camión de doble eje y camión de un eje:

Los camiones de volteo en la unidad se utilizan exclusivamente para el acarreo del mineral del cargadero a la tolva o patios, por su capacidad de aproximadamente 10 y 15 toneladas (figura 11 y 12 respectivamente).

En la unidad se cuenta con 8 camiones doble eje de acarreo de mineral propiedad del contratista JEMA del ing. Jesús Macías y un camión de un eje propiedad del contratista SUMINISTROS ROUS del Ing. Aurora García.



Figura 11. Camión de volteo de un eje, capacidad aprox. de 10 toneladas.



Figura 12. Camión de volteo dos ejes, capacidad de 15 toneladas.

4.2 Método de explotación

Corte y relleno

Para la extracción de mineral se implementa el método de minado conocido como “Corte y relleno” el cual se va adecuando de acuerdo a las necesidades del rebaje, tomando en cuenta el comportamiento del cuerpo mineralizado. Una manera resumida y general de describir el procedimiento a seguir:

1. Se crea un acceso sobre la roca encajonante el cual permita acercarse al grupo de estructuras y vetas del mineral de interés (boca mina).
2. Por medio de una rampa que este cerca del cuerpo mineralizado conocida como “rampa de servicio” se crea el primer acceso para cortar el cuerpo de mineral. El acceso deberá tener una pendiente negativa al 15% hasta llegar al contacto con el cuerpo de mineral. Después del contacto con el cuerpo, se crea una frente horizontal sobre el mineral, de esta manera comenzando la extracción.
3. Al llegar al tope del cuerpo, se procede a tumbar el mineral en retirada (del tope al acceso). Pero si se encuentra el tope rodeado de zona mineralizada, dependiendo de la potencia o el ancho del cuerpo mineralizado podemos considerar crear calles dejando pilares de sostenimiento para la mayor extracción posible del mineral a ese nivel (Las secciones de las calles, y los anchos de pilar lo determina el departamento de mecánica de rocas).
4. Al llegar al acceso después de tumbar en retirada, se procederá a rellenar la frente con el fin de obtener la altura necesaria para poder continuar con el tumbado. De la misma manera que lo hicimos anteriormente. Los trabajos de pivoteo y rellenos necesarios para ir nivelando el rebaje causaran que nuestra rampa de acceso pierda pendiente por lo que habrá un momento en que esta sea horizontal y con el tiempo su pendiente negativa se convierta en positiva.

Procuraremos que nuestra rampa de acceso no rebase una pendiente mayor al 15 %. Cuando esto suceda, significará que necesitamos hacer otro acceso para un nuevo rebaje.

5. Será necesario optimizar los tiempos de obras, para evitar tener tiempos muertos de producción. Cuando notemos que el tiempo de vida de un rebaje se está acabando, habrá que ir preparando el acceso al siguiente nivel para evitar pérdida de producción.

Barrenación horizontal para obra de desarrollo o sobre mineral

Después de contar con la rampa de servicios, se procede a generar una obra de desarrollo la cual tiene como objetivo llegar a cortar el cuerpo mineralizado para su extracción. Se considera que un acceso debe llegar al cuerpo mineralizado con una pendiente negativa del 15%, esto con el objetivo de minar ascendentemente la mayor cantidad de mineral posible al mismo tiempo que con esa pendiente los equipos aun trabajan sin sobre esforzarse (figura 13).



Figura 13. Barrenación horizontal utilizada para avances sobre mineral o tepetate.

Barrenación semi vertical para tumba de mineral

Al momento que nuestro acceso corta mineral, se procede a minar horizontalmente hasta llegar al tope de la veta o cuerpo de mineral. Cuando esto ha ocurrido, se inicia la actividad conocida como tumba de mineral que consiste en barrenar el cielo del rebaje para arrancar el mineral que ahí se encuentra. Considerando como una altura adecuada para barrenar 3 mts. Desde el piso hasta el cielo.

Esta actividad debe realizarse por un oficial perforista y su ayudante de perforista, resaltando el papel del ayudante por ser el que deberá encargarse de revisar en todo momento el cielo durante la barrenación para identificar y prevenir desprendimientos de roca sobre el perforista. Es importante marcar los pisos del rebaje actual antes de la voladura con una horizontal paralela a nuestro piso, con el objetivo de que el operador sepa sus límites al momento de rezagar el mineral tumbado, así evitando la dilución con tepetate (figura 14).

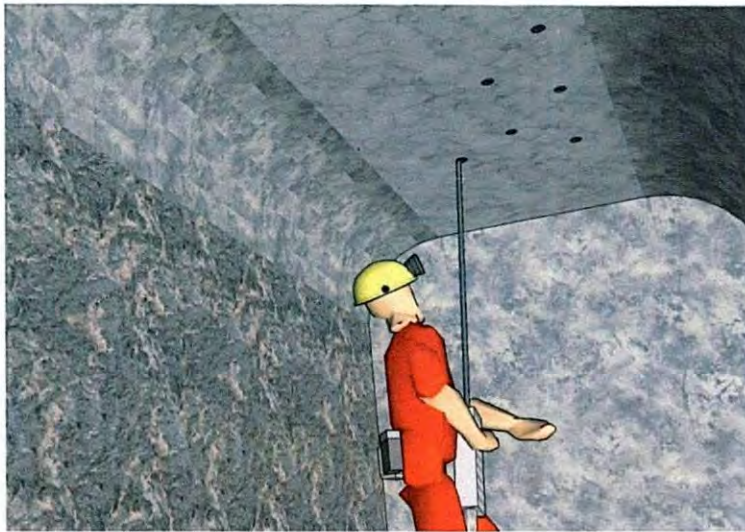


Figura 14. Barrenación a 85° utilizada para tumbar mineral, es la actividad que genera mayor volumen de arranque.

Rezagado de mineral

Después de la voladura de tumba y antes de rezagar el mineral, es muy importante ventilar el área y con ayuda de un detector de gases asegurar que la concentración de CO está por debajo de las 100 ppm. El siguiente paso no puede dejarse pasar pues asegura la integridad del personal que se encuentre en labores en el área, hablamos del amacice (Figura 15).

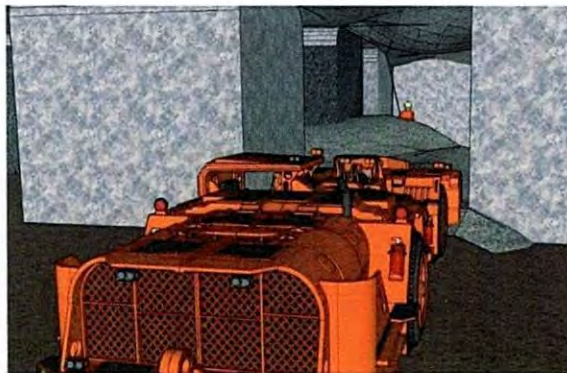


Figura 15. Se muestra como la pala mecánica ataca levantando parte del mineral tumbado.

Amacice

Labor mediante la cual se tumban intencionalmente rocas o planchas que se desprendieron pero no llegaron a caer después de la voladura. Para este procedimiento se recomienda llevarse a cabo con barras de metal lo suficientemente largas para no comprometer al trabajador que realiza el amacice (figura 16).

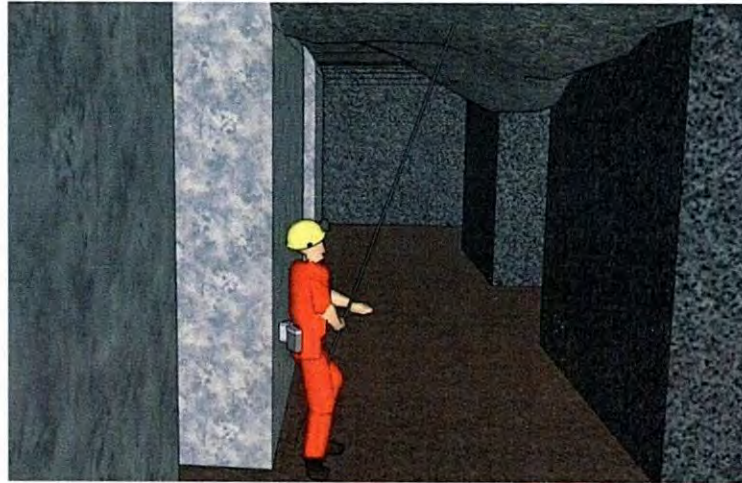


Figura 16. Se muestra como el perforista con ayuda de una barra tumba la roca suelta para asegurar el sitio.

Después del amacice es necesario revisar en caso de barrenos cebados, para proceder a eliminarlos ya sea con agua o quemándolos en la siguiente voladura.

Se procede a revisar la calidad de la voladura y en caso de que quedaran “bolas de mineral” considerables en el cielo se deberá realizar un **tumbe sobre carga** el cual consiste en una segunda barrenación para una voladura secundaria con el objetivo de emparejar el cielo del rebaje.

Pivoteo en acceso para nivelar con rebaje

Después de haber tumbado el mineral siguiendo los procedimientos seguros de trabajo, de haber rezagado y extraído a chorreaderos, y metido alguna cantidad de tepetate como relleno es notable que el cielo de nuestro acceso principal se encuentre a un nivel más bajo que el cielo de nuestro rebaje. Por lo que es necesario **PIVOTEAR** nuestro acceso, que consiste en un tumbe pero de material estéril el cual utilizaremos como relleno después de eliminar el exceso que se causa por el **PORCENTAJE DE ABUNDAMIENTO** de la roca fragmentada en la voladura (figura 17).

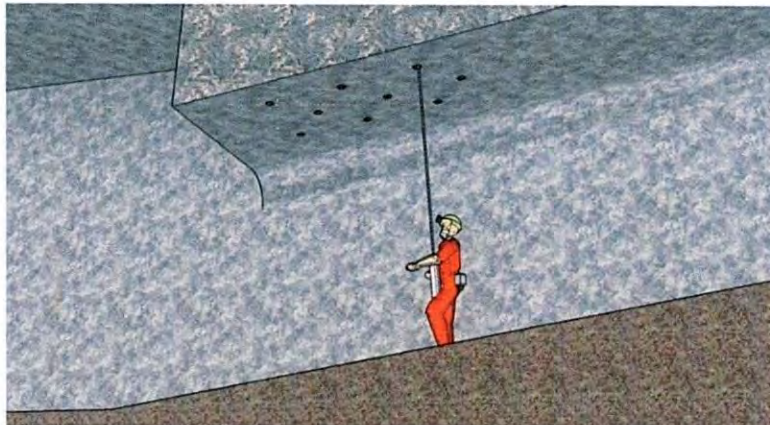


Figura 17. El perforista procede a barrenar el acceso con el fin de nivelar el cielo del acceso con el del rebaje.

Porcentaje de abundamiento

El porcentaje de abundamiento se refiere al volumen final que se genera después de la fragmentación del material arrancado, el volumen generado después de la voladura siempre será mayor al volumen inicial del material en su estado natural. Este se puede determinar dividiendo el volumen abundado entre el volumen inicial del material, y se expresa por un factor decimal (ej. 1.30, 1.35).

Relleno de rebaje para preparar siguiente tumbé

Después del rezagado total del mineral es notable que el cielo de nuestro rebaje se encuentra a 5 mts. aprox. desde el piso, por lo cual no es posible barrenar para el siguiente tumbé de mineral. Entonces es necesario rellenar el sitio con material estéril o tepetate el cual obtenemos de obras de desarrollo cercanas o en un caso de escasez desde la superficie, esto por medio de chorreaderos de tepetate que conecten la superficie a un lugar cercano del rebaje (figura 18).

Es necesario marcar una línea de relleno para que el operador conozca sus límites y deje el espacio suficiente para permitir la siguiente barrenación. Se considera que tres metros es la altura ideal para una buena barrenación a 85° utilizando las **ESCALAS**.

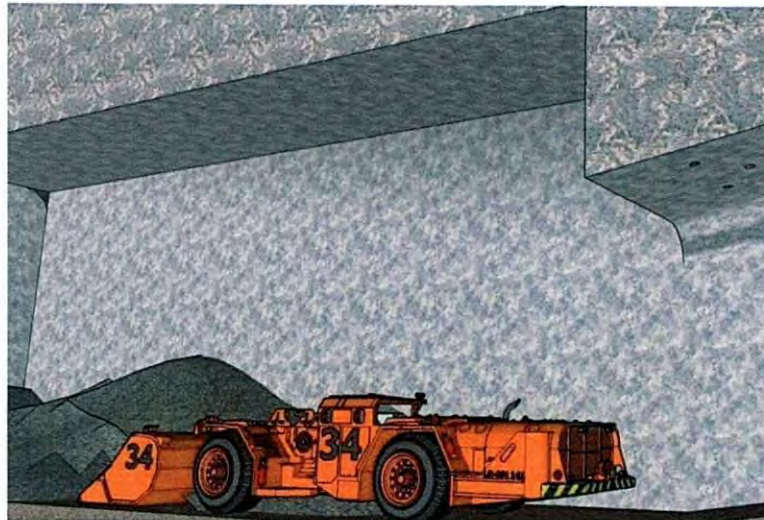


Figura 18. Con ayuda de la pala mecánica se rellena el rebaje para dar la altura necesaria para realizar otro tumbé de mineral.

Escalas para barrenar

Se le llama escalas o guías a las barras o barrenas de menor tamaño las cuales sirven para ir barrenando a una inclinación correcta, utilizando primero la de 4 ft, 6 ft y 8 ft respectivamente (figura 19).



Figura 19. Se muestran dos tipos de barra definidas por su tamaño, 4 y 6 pies.

Clinómetro

Instrumento de medición que nos sirve para medir la inclinación de la barrena (figura 20).



Figura 20. Clinómetro utilizado como guía en la comprobación del ángulo de barrenación, el cual deberá ser 85°.

Observaciones

De acuerdo a lo observado durante la estancia en la unidad, es necesario cuidar y asegurar los siguientes puntos en cuanto a producción y seguridad:

1. Cada rebaje o nivel deberá contar con un contra pozo de ventilación y otro para el chorreado del material ya sea mineral o tepetate.
2. Es necesario contar con las tuberías y servicios necesarios de aire y agua a distancias adecuadas de los topes.
3. Seguir las indicaciones en cuanto a plantillas y cuñas de barrenación para lograr el tonelaje requerido por la empresa.
4. Marcar adecuadamente los pisos en tablas para evitar la dilución durante el rezagado de mineral.
5. Cuidar las leyes de mineral en labores, para mantener el porcentaje requerido en plantado beneficiado.
6. Realizar amacice hasta asegurar el bienestar del perforista y su ayudante.
7. Es muy importante contar con ventiladores y mangas para los rebajes debido a que se concentra una importante cantidad de gas y humo después de cada voladura sumado al humo desprendido de la combustión de los equipos.
8. Es indispensable contar con un tablero de seguridad en el área donde se muestre mínimamente un croquis del rebaje o área de dicho nivel.
9. Asignar un sitio adecuado para la descarga y almacenamiento temporal de explosivos. Es recomendable utilizar cajones de madera bien señalados y con división para los diferentes tipos de explosivos.
10. El transporte del explosivo debe ser en vehículos debidamente blindados y señalizados.
11. Utilizar el total de explosivo solicitado en el polvorín para evitar almacenar sobrantes en las áreas de trabajo.
12. El personal deberá siempre trabajar en cuadrillas de dos personas.
13. El orden y la limpieza del área de trabajo es esencial para evitar accidentes y preservar los equipos que ahí trabajan.
14. Cuidar las pendientes tanto positivas como negativas pues estas afectan en la eficiencia y el tiempo de vida de los equipos.
15. Cuidar el radio de curvatura en las rampas o accesos debido a que los equipos sufren golpes que resultan muy caros.
16. Poner atención en los ciclos de minado, e intentar optimizar para siempre cumplir con la producción y que el molino no pare.
17. Es importante contar con un área en superficie, asignada como banco de tepetate. Esta proveerá el tepetate necesario para rellenar nuestros rebajes pues no siempre existe en interior mina la cantidad de tepetate necesaria para nuestro relleno.
18. Por lo anterior se puede asumir que debe existir un contrapozo tepetatero el cual nos proveerá de tepetate a interior mina para rellenar nuestros rebajes.

4.21 Mecánica de rocas

La mecánica de rocas se encarga del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

Objetivos prácticos de la mecánica de rocas

Dar a conocer a operación mina las recomendaciones sobre el dimensionamiento de las excavaciones en labores para que estas trabajen de manera controlada y segura, y nos da indicaciones de soporte en caso de ser necesario ya sea en cielo o tablas pues dependiendo las características de la roca en la obra se determina el tipo de soporte necesario para el lugar de manera muy puntual.

La finalidad de la mecánica de rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

Software de apoyo utilizado, para el estudio de Geo mecánica:

Dips, Undwedge, Rock lab, Examine, autocad y Excel.

Métodos utilizados para conocer las características del macizo rocoso:

Para determinar las características del macizo rocoso se emplean los métodos de Q de Barton, RMR, GSI. No existe un método que sea mejor que otro, de tal manera que se sabe que estos en complemento generan el mejor estudio posible. Ya que estos varían en los parámetros a considerar.

Q de Barton.

Considera parámetros como el tamaño de las partículas de rocas formados por fracturamiento, rugosidad de la roca, presencia de arcilla y presencia de agua. Clasifica la roca de "muy pobre-pobre-regular-buena- excelente".

RMR.

Considera parámetros como la resistencia a la compresión de la roca.

4.2.2 Comportamientos en una excavación

Efecto cuña: En roca masiva o levemente fracturada y en rocas fracturadas, el papel principal de las anclas de roca es el control de la estabilidad de los bloques y cuñas rocosas potencialmente inestables. Esto es lo que se llama "EFECTO CUÑA" (figura 21).

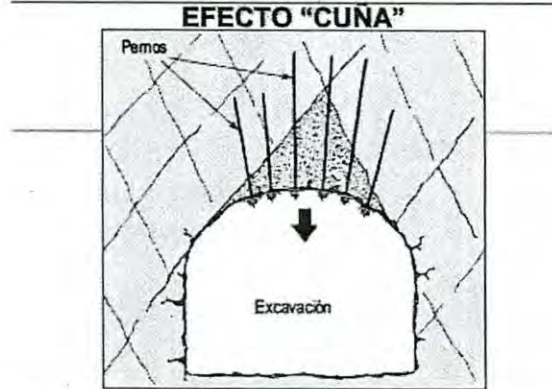


Figura 21. Se puede observar como la familia de fallas forman el triángulo denominado cuña.

Efecto viga: En roca estratificada sub-horizontal y roca no estratificada con un sistema de fracturas dominantes sub-horizontales, las anclas ayudan a minimizar la deflexión del techo (pandeo). Esto es lo que se llama también como "EFECTO VIGA" (figura 22).

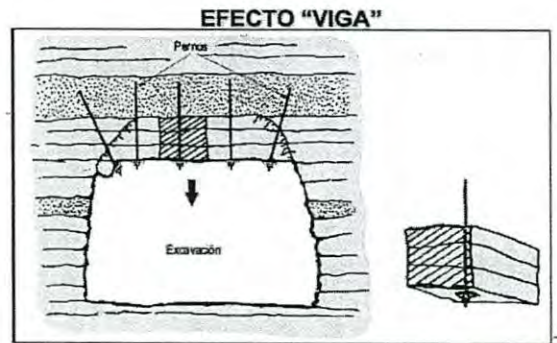


Figura 22. Se muestra como la familia de fallas horizontales forman estratos horizontales en el cielo del túnel.

Efecto columna: El concepto del EFECTO VIGA puede ser extendido al caso de paredes paralelas a estratos o discontinuidades sub-verticales (fracturas paralelas a la tabla), generando el denominado EFECTO COLUMNA. Las anclas son utilizadas para minimizar el pandeo de los bloques tabulares (figura 23).



Figura 23. Estratos verticales se comportan como columnas en tablas de labores susceptibles a desprenderse.

4.23 Explosivos y plantillas de barrenación

Un explosivo es aquella sustancia que por alguna causa externa (fricción, calor, percusión, etc.) se transforma en gases liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve.

Hay muchos tipos de explosivos según su composición química.

En la minería se utilizan estos con el único fin de arrancar el material o mineral del lugar donde se encuentra, dando como resultado el mineral fragmentado. Lo cual permite su posterior extracción del rebaje para ser beneficiado.

Sustancias explosivas utilizadas:

Iniciador: Material energético, con una energía de activación relativamente baja, utilizado para iniciar un explosivo secundario. Suelen ser explosivos de alta sensibilidad (primarios) en combinación, de acuerdo al impulso requerido: impacto, eléctrico o térmico. Suelen ser llamados detonadores al estar encartuchados comercialmente.

Carga: Es la masa base que explotará y es objeto del diseño de la voladura. El iniciador es el responsable de iniciar la carga. Algunas sustancias pueden no requerir iniciador: pólvora, nitroglicerina o pentrita se inflaman con relativa facilidad bajo la llama.

Multiplificador: En ciertas ocasiones la carga no detona con el iniciador, por lo que se requiere un explosivo intermedio que sea sensible al iniciador y a la vez inicie a la carga. Muy frecuentemente los ANFO requieren de este tipo de carga.

ANFO: El ANFO, es un explosivo de alto orden. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo, desde gasolinas a aceites de motor. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras y de demolición, debido a que son muy seguras, baratas y sus componentes se pueden adquirir con mucha facilidad. Los porcentajes van del 90% al 97% de nitrato de amonio y del 3% al 10% de combustible, por ejemplo: 95% de nitrato de amonio y 5% de queroseno.

El uso de un combustible insoluble en agua acaba con el principal problema del nitrato de amonio su tendencia a absorber el agua. Si además se le añade polvo de aluminio el ANFO se convierte en una variedad aún más potente llamada ALANFO. Es necesario cebar fuertemente el barreno con detonador y cartucho de goma a fondo, para producir su correcto funcionamiento, además su uso está contraindicado en barrenos con presencia de agua, a no ser que se use encartuchado (figura 24).



Figura 24. Se puede observar el polvo de ANFO presentado en bultos de 25 kg.

Hidrogeles: Los hidrogeles son agentes explosivos constituidos por soluciones acuosas saturadas de Na (Sodio), a menudo con otros oxidantes como el nitrato de sodio y/o el de calcio, en las que se encuentran dispersos los combustibles, sensibilizantes, agentes espesantes y gelatinizantes que evitan la segregación de los productos sólidos (figura 25).



Figura 25. Se muestran las salchichas de hidrogel explosivo.

Cuñas de apoyo en la voladura:

Cuando el alto explosivo se inicia, este genera una onda expansiva y de choque lo cual permite el fracturamiento de la roca. Pero para que esto suceda debe existir un espacio o cara libre para que los fragmentos de roca choquen entre si y se permita el fracturamiento y desprendimiento.

Si imaginamos un poco, el barreno entra a la roca a una profundidad considerable. Entonces al momento de meter la carga explosiva esa queda confinada en el fondo, si esta iniciara en estas condiciones la onda expansiva buscaría la boca del barreno para liberar su energía, así perdiendo la mayor parte de la energía y apagando la onda de choque. Por lo anterior es necesario utilizar las “cuñas”, estas básicamente son barrenos de aire (no se cargan) los cuales nos darán la cara libre y el espacio necesario para que la roca se fragmente debidamente.

En la siguiente figura 26 se muestran ejemplos de cuñas:

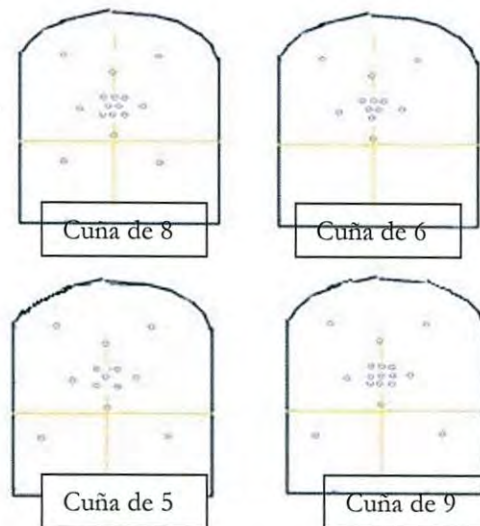


Figura 26. 4 tipos de plantillas de barrenación horizontal donde la cuña es colocada al centro de la labor.

4.2.4 Servicios en interior mina

A lo largo de la estancia en la unidad, se puede observar y concluir que los servicios en la mina son la principal causa de la pérdida de productividad en las labores mineras.

Al momento de hablar de costos, el recorte de personal no es la mejor manera de solucionar el problema de las pérdidas monetarias de la compañía. Aumentar la productividad de la mina es la mejor forma de mejorar las ganancias y reducir las pérdidas.

¿Cómo lograr lo anterior?

Enfocarse en mantener y asegurar buenos servicios en la mina. Tanto la maquinaria como el factor humano necesita de buenos servicios para trabajar óptimamente, existen normas que regulan la cantidad de aire requeridas para lograrlo.

Proveer los servicios (figura 27 y 28) de aire, agua y una buena ventilación significa costos de inversión para la empresa pero a largo plazo este costo se paga con el aumento de productividad en la operación minera.



Figura 27. Manguera de alta presión para aire y agua en interior mina.



Figura 28. Ventiladores en interior mina.

4.3 Ciclos y tiempos de producción

A continuación se describirá con un ejemplo la manera de trabajar las obras tanto de desarrollo como de producción en la unidad. En el siguiente caso trata de las actividades que realiza el turno entrante al haber recibido un tope pegado con las siguientes características: Sección de 3.0 m x 3.5 m, barrenos dados 34, Profundidad del barreno 6 pies o 1.8 m, avance efectivo 1.6 m y densidad de la roca 2.7 Ton/m.

Tabla.2 Tiempos y movimientos durante el ciclo de una obra en tope con 34 barrenos pegados

Concepto	Duración en hr:min:ss	Descripción
Rezagado con scoop tram		
Ventilación del área después de voladura	00:10:00	El supervisor deberá confirmar ppm con ayuda del detector de (concentración menor a 100 ppm).
Regado de cielos y tablas	00:05:00	Es necesario regar para identificar fácilmente roca suelta y la zona mineralizada
Amacice de cielo y tablas	00:30:00	Actividad necesaria para asegurar el área de trabajo por desprendimientos (repetir actividad. Cada 8 min).
Rezagado de mineral a contrapozo	00:30:00	Se realiza después de que geología identifique y marcó ley rentable, respetar línea de rezagado.
	01:15:00	
Trazo de tope con ayuda de topografía		
Identificación y proyección del rumbo	00:05:00	El supervisor identifica en el cielo dos puntos colineales donde coloca hilos plomeados para proyectar el centro de tope.
Identificación y proyección de nivel de pisos	00:05:00	En las tablas deberán encontrarse 2 puntos por tabla, con ayuda de hilos se proyectará en las tablas adyacentes al tope.
Marcaje de dimensión del tope y plantilla	00:02:00	Después de contar con el centro y los pisos, se procede a marcar las líneas de apoyo según las dimensiones del túnel.
	00:12:00	
Barenación con máquina de pierna (6ft)		
Habilitado de servicios de agua y aire	00:20:00	En caso de que los servicios se encuentren alejados del tope habrá que acercarlos al área y conectar el equipo a usar.
Barenación con máquina de pierna (6 ft)	01:50:00	Tomando el tiempo de barenación por cada barreno se obtuvo que un barreno se tarda 3:15 min. aprox. cada barreno.
	02:10:00	
Carga, amarre, y voladura de tope		
Sopleteo de barrenos con manguera y aire	00:05:00	Para facilitar el cargado y mejorar la eficiencia de la voladura se sopletean los barrenos y asegura herramienta utilizada.
Acarreo de explosivo de cajones a tope	00:03:00	El explosivo es dejado en los cajones separados por tipo, debe ser acarreado al sitio solo si se utilizará.
Cebado de salchichas con cañuelas	00:05:00	Debe perforarse cada salchicha con un material no metálico para poder insertar el cebo de la cañuela.
Insertar salchichas en barrenos	00:05:00	Con ayuda de un faynero de madera deberá introducirse el Tovex o salchicha de hidrogel al fondo.
Cargado con el polvo de ANFO	00:10:00	Con ayuda de un dispositivo de carga y el aire comprimido se procede a cargar cada barreno con el polvo ANFO.
Union de cañuelas con cordón detonante o nonei	00:10	Se procede a amarrar en orden las puntas de las cañuelas al cordón detonante con ayuda de la termalita.
Iniciación con flama y retardo para voladura	00:02:00	Con ayuda de un encendedor se inicia la cañuela y se procede a retirarse del área de voladura a un lugar seguro.
	00:40:00	
Tiempo total aproximado del ciclo	04:17:00	

A continuación de muestra una tabla donde se recopilaron los tiempos en las actividades durante el ciclo de tumbe en un rebaje, esto con el objetivo de obtener rendimientos en cuanto a las actividades.

Tabla. 3 Tiempos y movimientos durante el ciclo de una obra de tumbe para 70 barrenos

Concepto	Duración	Descripción
Rezagado selectivo con scooptram		
Ventilación del área después del tumbe	00:10:00	El supervisor deberá confirmar ppm con ayuda del detector de gases (concentración menor a 100 ppm).
Regado de cielos y tablas	00:15:00	Es necesario regar para identificar fácilmente roca suelta y la zona mineralizada.
Amacice de cielo y tablas	01:30:00	Actividad necesaria para asegurar el área de trabajo por desprendimientos de roca.
Rezagado de mineral a contrapozo	00:45:00	Se realiza después de que geología identifico y marcó áreas de ley rentables, respetando la línea de rezagado.
Rezagado de tepetate	00:40:00	Se realiza al final pues este tepetate servirá como relleno para el siguiente tumbe.
	03:20:00	
Relleno de rebaje con tepetate		
Marcación de línea de relleno para nivelar rebaje	00:05:00	El supervisor con apoyo de su cinta métrica deberá determinar la línea de relleno que permita el siguiente tumbe
Traspaleo de tepetate a rebaje para relleno	01:30:00	Desde un stock de tepetate deberá acercarse el material de relleno al rebaje en retroceso (Del fondo al acceso)
Nivelación y afine	00:30:00	Ya relleno se procede a afinar con ayuda de la pala del scoop tram para dejar un piso bien definido y compacto
	02:05:00	
Tiempo total para rezagado y relleno del rebaje	05:25:00	Dependiendo de las cualidades del operador el tiempo puede mejorar al igual que la calidad del trabajo

5. SEGURIDAD MINERA

El departamento de seguridad de la mina se encarga de hacer cumplir al personal de mina con todos los procedimientos seguros de trabajo así como regular las actividades cotidianas tanto en operación mina como en la planta de beneficio.

Se hacen formatos novedosos con el fin de mejorar la seguridad en las operaciones diarias, como ejemplo la tarjeta de turno seguro la cual se diseñó con el fin de concientizar y recordar al personal las recomendaciones más básicas de seguridad. Así mismo, se encarga de realizar las capacitaciones necesarias al personal respecto a las normas oficiales mexicanas.

Semanalmente cada departamento deberá presentar algún ejemplo sobre incidentes ocurridos en la semana, así como, las acciones y evidencias de la manera en que este fue solucionado. A continuación se muestra un ejemplo sobre una de las presentaciones.

Presentación de seguridad para la junta quincenal de seguridad:

Incidente:

Chofer poco concentrado y a velocidad inadecuada se acerca más de lo indicado a la tabla donde se encuentran suspendidos los servicios de aire y agua, lo que ocasiona el choque con las manguera de aire, así tumbándola y causando una ruptura en ella. Lo que a su vez ocasiona la pérdida de presión en las obras cercanas así deteniendo la producción. Por lo que es necesario llamar a la cuadrilla de servicios para que esta actúe y con ayuda de termofusión repare esta (figura 31).



Figura 31. Se muestra la máquina de termofusión para empare de manguera de alta presión

Accidente:

El camión de acarreo alcanzó y tumbó tubería de aire comprimido, la cual abastece a la mina, así deteniendo la producción en las labores.



Figura 32. Con trabajo en equipo se muestra como levantan la manguera para hacerla llegar a la máquina de termofusión.

Acciones:

1. La primera persona en observar el accidente, reportó inmediatamente a un supervisor.
2. Inmediatamente se llevó la máquina de termofusión para soldar manguera strupak.
3. Se necesitó la ayuda de personal de mina para estirar y levantar la tubería para poder acoplarla y soldarla (figura 32 y 33).

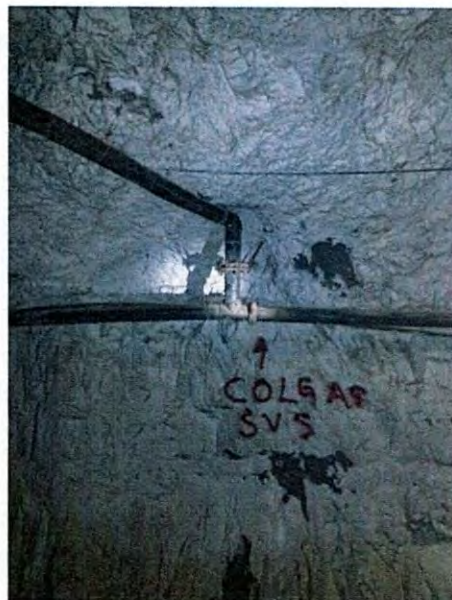


Figura 33. Se muestra el servicio levantado y reparado.

6.0 ANEXOS

6.1 Rol de un supervisor de mina

Se realizó una recopilación de actividades realizadas por un supervisor de mina, con el objetivo de ejemplificar el papel que juega en un día ordinario el supervisor de la operación mina. Se presenta en forma de tabla cronológica lo realizado ese día. Cabe mencionar que las actividades realizadas son variables día con día dependiendo el tipo de situaciones e inconvenientes que se presenten en la operación mina (Tabla 7 y 8).

Tabla 7. Desglose de actividades en un día del supervisor en turno.

Hr. Inicio	Actividad
6:00:00	Junta de pueblo general
6:50:00	Retroalimentación, dudas e información con otros dptos.
7:00:00	Entrega de pueblo a personal y solución de situaciones
7:50:00	Ingreso a interior mina
8:04:00	Llegada a "Brecha San Javier"
8:11:00	Rebaje "La Roca"
8:30:00	Llegada a "Dique San Francisco"
8:50:00	Llegada a "Rebaje Farallón"
9:15:00	Hora de la firma de explosivos
10:00:00	Llegada a "Rampa 518"
10:14:00	Reunión con Jefe de Mina (Tratan asuntos operativos)
11:03:00	Recorrido con Jefe de Mina "Rebaje 928"
11:28:00	Recorrido con Jefe de Mina "Rebaje 950"
11:40:00	Camino a "Rampa 537"
12:20:00	Horario de comida "Comedor 2 N1790"
13:10:00	Firma de explosivos N 1870
14:00:00	Llegada a "Rebaje 516"
15:10:00	Rampa 935 y Rebaje 935
15:15:00	Llegada a "Rebaje 832"
16:00:00	Junta con supervisores para pronóstico y autorizar pueblos
17:10:00	Salida a exterior mina
17:30:00	Llegada a "departamento de mina"
18:00:00	Recepción de pueblos con actividades realizadas
18:20:00	Realización de reportes diarios y pueblos para sig. Turno

Tabla 8. Explicación sobre la función de cada actividad.

Actividad	Descripción
Junta de pueblo general	Todos los departamentos exponen necesidades para el turno a iniciar.
Retroalimentación, dudas e información con otros dptos.	Asuntos puntuales sobre actividades a realizar en el día.
Entrega de pueblo a personal y solución de situaciones	Explicación e indicaciones a personal
Hora de la firma de explosivos	Contratistas solicitan explosivo p/ obras
Llegada a obras de desarrollo y rebajes	Supervisión de obra e inspección de seguridad
Reunión con Jefe de Mina	Tratar temas operativos y analizar condiciones
Junta con supervisores para pronóstico y autorizar pueblos	Requerimiento de toneladas y autorización de obras
Recepción de pueblos con actividades realizadas	Preguntas sobre avances y resultados
Realización de reportes diarios y pueblos para sig. turno	Planeación y coordinación de actividades turno entrante

Durante la supervisión de obras, se consideran aspectos tanto técnicos como administrativos. El supervisor se encarga de tener una visión general del total de proyectos con el fin de organizar y ciclar las actividades realizadas día con día. El principal objetivo de un supervisor de mina es lograr la producción planeada y requerida por la empresa, lo anterior siempre cuidando los importantes aspectos sobre seguridad y sobre todo la ley de mineral.

Toda actividad dentro la mina cuenta con un “procedimiento seguro de trabajo” el cual se realizó y diseño con el fin de mejorar el rendimiento, eficiencia y seguridad de cada trabajo a desempeñar. El supervisor también deberá encargarse de revisar que se cumplan con los procedimientos correctamente.

Con lo anterior podemos concluir que la producción, la ley y la seguridad son aspectos dependientes uno del otro. Dentro de las actividades y recorridos de la supervisión, lo más importante se puede indicar en el aspecto del manejo de personal y toma de decisiones.

Para mencionar algunas decisiones y actividades se enumeran las siguientes:

1. Llegar al área de la obra.
2. Revisar condiciones de seguridad tales como:
 - a) Ventilación.
 - b) Amacice.
 - c) Orden y limpieza.
 - d) Condiciones de herramientas y equipos.
 - e) Uso del equipo de protección personal adecuado para la actividad, de parte de las cuadrillas.
 - f) Colocación de barricadas y semáforos.
 - g) Asegurar que el obrero tiene claras las instrucciones de trabajo.
3. Hacer una observación sobre:
 - a) Avance de la voladura anterior.

- b) Marcación de pisos y rumbos.
 - c) Identificar necesidades del rebaje (relleno, rezagado, tumbe o pivoteo, cueles, ventilación, etc.).
 - d) Perfilado del cuele (desbordes).
 - e) Estructuras, mineralización, etc. (comportamiento de la obra en ese momento).
-
- 4. Marcar pisos y rumbos.
 - 5. Firmar tarjeta de turno seguro y dar retro alimentación a obreros.
 - 6. Conversar con el supervisor de contratista sobre temas de interés en la obra.
 - 7. Tomar decisiones.

7. Conclusiones

De acuerdo a lo observado durante la estancia en la mina "La Encantada", después del precio de los metales y la ley del mineral se pueden determinar algunos conceptos que son básicos para que todo el proceso fluya adecuadamente y se cumplan las metas. "Servicios de agua y aire en interior mina" son fundamentales para hacer funcionar la maquinaria necesaria para la barrenación, el "departamento de mantenimiento diésel" deberá ser competente y suficiente para poder cubrir la necesidad de maquinaria habilitada y funcional, "el polvorín" debe siempre contar con el explosivo suficiente para cubrir la necesidad de la operación, "equipos de acarreo" suficiente y disponible para poder extraer el tonelaje desprendido durante el turno anterior.

El trabajo en equipo y el flujo de información dentro de la operación mina son claves fundamentales para el cumplimiento de las metas establecidas y requeridas. En interior mina es complicado resolver situaciones debido a que no se cuenta con un sistema de comunicación a distancia, en consecuencia para cada movimiento es necesario recorrer distancias largas para informar sucesos o necesidades que nacen dentro del turno. Pero con una buena planeación y coordinación de actividades antes de iniciar el turno se pueden evitar cientos de problemas que pudieran causar la pérdida de productividad.

De acuerdo a la estancia en la unidad durante este periodo, se pudieron observar distintos puntos muy específicos que dificultaban el cumplimiento de las metas establecidas durante la junta general del pueblo o en las juntas semanales. Es importante mencionar que en hay limitantes que obstaculizan muchas veces resolver ciertas situaciones pero es lo interesante de la ingeniería pues hay que aprovechar los recursos disponibles para resolver estas complicaciones.

8. Referencias

Industrias Peñoles, 1991 Cia. La Encantada S.A. de C.V. Unidad David Contreras.

Reporte de prácticas profesionales depto. Geología por Gerardo Treviño (2014) Unidad minera "La encantada" First Majestic Silver Corp.

González-Sánchez et al., 2007 <http://www.docentes.unal.edu.co/eazapata/docs/MAQ-CLASE%202022.pdf>