



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

***“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
FORTIFICACIÓN EN OBRAS DE DESARROLLO Y
REBAJES, EN MINERA TIZAPA”***

I N F O R M E

E S C R I T O

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA

PRESENTA:

GONZALO GATICA JIMÉNEZ

AVAL:

M.I. JOSÉ ENRIQUE SANTOS JALLATH



MÉXICO, D.F.

ENERO DE 2015

AGRADECIMIENTOS:

A mi esposa Veronica:

Quien con su amor siempre me impulso a superarme y lograr mis metas,
gracias por estar conmigo. Te amo.

A Dulce María:

Quien siempre estuvo conmigo, me diste mi carrera, y siempre te estaré
agradecido. Te quiero.

A mis hermanos:

Quienes siempre fueron aspiración para terminar mi carrera.

A mis niños Gonzalo y Veronica:

Siempre han sido mi inspiración para lograr las metas, para poderles dar
siempre lo mejor

A Minera Tizapa:

Mi segunda casa, donde he aprendido a desarrollarme profesionalmente, y
aplicar todo lo aprendido en mi carrera

CONTENIDO

Índice:

I) Introducción	5
I.1) Objetivo	7
I.2) Alcance	7
II) Situación de Minera Tizapa	8
II.1) Situación geográfica	8
II.2) Vías de comunicación	9
II.3) Clima y vegetación	9
II.4) Actividad económica	9
II.5) Servicios e infraestructura	9
III) Operaciones de explotación	10
III.1) Sistema de explotación	10
III.2) Obras de preparación y exploración	11
III.2.1) Rampas principales	11
III.2.2) Accesos	14
III.2.3) Frentes y cruceros	14
III.3) Tumbe	16
III.4) Rezagado	18
III.5) Relleno	19
III.6) Ciclo de minado	19
IV) Sistema de fortificación implementado en Minera Tizapa	21
IV.1) Pilares	21
IV.1.1) Dimensiones en rebajes	21
IV.1.2) Estabilidad de pilares	23
IV.1.3) Actividades sistemáticas de carácter obligatorio para el control en la verticalidad de los pilares	24
IV.1.4) Beneficios esperados a partir de la verticalidad de los pilares	25
IV.2) Anclaje	26
IV.2.1) Anclas de varilla corrugada con argolla	26
IV.2.2) Estándares de sostenimiento con anclaje	28
IV.2.3) Extracción de anclas	30
IV.3) Concreto lanzado	31
IV.3.1) Especificaciones del concreto lanzado	32
IV.3.2) Estándares de soporte con concreto lanzado	32
IV.3.3) Restricciones en la aplicación del concreto lanzado	33
IV.4) Relleno como elemento de soporte	33
IV.5) Instrumentos de capacitación	34
V) Aplicación de soporte en rebaje 740 Centro	36
VI) Beneficios alcanzados con el sistema de fortificación	39
VII) Conclusiones	43
Referencias	45

Lista de figuras:

Figura No. II.1	Localización geográfica de Minera Tizapa	8
Figura No. III.1	Plantilla de barrenación en obras de desarrollos de sección 6 X 4.30m	11
Figura No. III.2	Plantilla de barrenación en obras de desarrollos de sección 5 X 4m	12
Figura No. III.3	Distribución de servicio en rampas principales	13
Figura No. III.4	Etapas para la formación de pilares, en método de explotación salones y pilares	15
Figura No. III.5	Barrenación horizontal en bancos de producción	16
Figura No. III.6	Plantilla de barrenación en bancos horizontales de producción de sección 7X4m	17
Figura No. III.7	Cargado de explosivo en voladura de banco de producción en sección 7X4m	18
Figura No. III.8	Ciclo de minado en Minera Tizapa	20
Figura No. IV.1	Dimensiones de pilares de mineral	22
Figura No. IV.2	Dimensiones de pilares en tepetate	22
Figura No. IV.3	Clasificación de estabilidad de pilares por sistema de semáforos	23
Figura No. IV.4	Marcaje de centro y nombre de pilar	24
Figura No. IV.5	Esquema de verticalidad de pilares	25
Figura No. IV.6	Esquema de anclaje en obras de desarrollo	27
Figura No. IV.7	Ancla de varilla corrugada colocada en rebaje	27
Figura No. IV.8	Cartucho de cemento	28
Figura No. IV.9	Colocación de anclas en obras con estratificación de 0 a 45°	28
Figura No. IV.10	Colocación de anclas en obras con estratificación de 46 a 90°	29
Figura No. IV.11	Plantilla de anclaje en sección de 1 X1 m, con barrenos de alivio	29
Figura No. IV.12	Pruebas de extracción de anclas	30
Figura No. IV.13	Celda de carga, para pruebas de extracción de anclas	30
Figura No. IV.14	Robot lanzadora de concreto Alpha 20	31
Figura No. IV.15	Aplicación de concreto lanzado con Robot Alpha 20	31
Figura No. IV.16	Tríptico de mecánica de rocas en Minera Tizapa; tipos de rocas	34
Figura No. IV.17	Tríptico de mecánica de rocas en Minera Tizapa; anclaje y pilares	35
Figura No. IV.18	Tríptico de mecánica de rocas en Minera Tizapa; concreto lanzado y servicios	35
Figura No. V.1	Cálculo de macizo rocoso en rebaje 740 centro	36
Figura No. V.2	Área de recuperación de pilares en rebaje 740 centro	37
Figura No. V.3	Cargado de tepetate al alto del rebaje 740 centro	38
Figura No. VI.1	Accidentes totales por caído de roca del 2003 al 2014	39

Lista de tablas:

Tabla No. III.1	Explosivo utilizado en voladura de desarrollo en sección 5X4m	12
Tabla No. III.2	Explosivo utilizado en voladura de banco de producción en sección 7X4m	13
Tabla No. VI.1	Estadística de accidentes de caído de roca por mes, del 2003 al 2014	39
Tabla No. VI.2	Estadística de clasificación de accidentes por caído de roca y por tipo de gravedad, del 2003 al 2014	40
Tabla No. VI.3	Descripción de tipos de accidentes	40
Tabla No. VI.4	Estadística de accidentes totales, contra accidentes por caído de roca, del 2003 al 2014	41
Tabla No. VI.5	Inventario de equipos de soporte, del 2003 al 2014	41
Tabla No. VI.6	Soporte instalado, del 2003 al 2014	42
Tabla No. VII.1	<i>Costos de operación y soporte instalado. Promedio por mes, del 2004 al 2014</i>	44

I) INTRODUCCIÓN

En 1991 el Consejo de Recursos Minerales somete a concurso la concesión del yacimiento Tizapa, el cual ganan en 1992 Minera Tizapa, S.A. de C.V, que es el resultado de la conversión entre México y Japón. Grupo Peñoles participa con el 51%, Dowa Mining Company con 39% y Sumitomo Corporation con 10%.

Minera Tizapa S.A. de C.V. se constituye el 14 de mayo de 1992 cuando se inician los trabajos de ingeniería básica y a detalle, así como la construcción de la unidad minera. Los trabajos previos de exploración arrojaron los siguientes resultados: se cubicaron 4.5 millones de toneladas con una ley promedio de 2.01g Au/ton, 314g Ag./ton, 1.72 % de Pb, 7.85 % de Zn, 0.68 % de Cu y 33.51 % de Fe.

El yacimiento Tizapa, consta de sulfuros masivos polimetálicos y está formado por tres cuerpos lenticulares: a) nivel inferior (L), b) medio (M) y, c) superior (U). El mineral más abundante es la pirita que comprende casi el 50% del total de los sulfuros, seguido de esfalerita, galena, calcopirita, y arsenopirita, minerales que están presentes en cantidades variables y constituyen el remanente principal de los sulfuros.

Los cuerpos mineralizados cuentan con echado de 30 a 40 grados y en algunos sitios, por fallamiento, se presentan en posición horizontal y/o en posición vertical. Sus dimensiones son de 600 m de largo aproximadamente y de 8 m de ancho promedio. Como roca encajonante se encuentra la filita gráficas al alto y esquistos al bajo.

Para llevar a cabo la explotación se desarrollan bloques de 50 ó 75 m de separación de nivel a nivel, utilizando el método de salones y pilares con relleno de tepetate; el arreglo de pilares es de 5 x 5 m. y las calles que quedan entre pilares son de 8 m de ancho; el relleno es traído de las obras de desarrollo del interior de la mina.

El mineral que se extrae de la mina es transportado por medio de camiones a la planta de beneficio que tiene una capacidad de 2500 toneladas al día. El proceso de beneficio consiste en la trituración y molienda del mineral, después una flotación selectiva, espesamiento, filtrado y finalmente la obtención de los concentrados de zinc, plomo y cobre. El concentrado de zinc es enviado a Japón, el concentrado de cobre se manda a Canadá y Bélgica y el concentrado de plomo se envía a MET-MEX Peñoles en Torreón, Coahuila.

Desde los inicios de las operaciones en la mina Tizapa una de las condiciones más delicadas en la explotación del mineral fue el sostenimiento de la roca. Los primeros intentos para soportar la roca se realizaban con anclaje empleando la máquina de pierna, lo cual implicaba colocar al personal debajo de las condiciones que se buscaba estabilizar e incrementando el riesgo de accidentes por caída de roca. Esta actividad además de producir el riesgo de golpes por caída de roca, sometía al personal a ruido extremo y desgaste físico. Los primeros anclajes que se realizaron fueron con anclas Split Set, Swellex, y malla ciclónica, lo cual demoraba mucho el avance de los trabajos, era muy laborioso y de alto riesgo para los operadores y ayudantes; aunado a esto, otro inconveniente era que la roca seguía trabajando y las mallas ciclónicas son útiles en obras de vida corta pero poco efectivas en obras permanentes; aunado a esto el interior de mina cuenta con la formación de agua ácida que atacaba las anclas y la malla (Gatica Jiménez y Santos Jallath, 2003).

Durante mucho tiempo no se contó con un programa para el sostenimiento de la roca, por lo cual había muchas obras que no contaban con soporte o el soporte no era el adecuado para la prevención de caída de roca; aunado a esto, Minera Tizapa se caracteriza por contar con un sulfuro masivo muy pesado y su roca encajonante es de mala calidad generando el desprendimiento de rocas y causando una incidencia muy grande de accidentes por desprendimiento de roca al personal, a los equipos y a las instalaciones.

Con el tiempo se requirió de la instalación de concreto lanzado para evitar el intemperismo de la roca, ya que a pesar de contar con áreas ancladas éstas seguían trabajando; en un principio el lanzado de concreto era por vía seca con máquinas lanzadoras de concreto tipo Aliva en las que la preparación del concreto se realizaba manualmente, ya que los materiales eran transportados desde superficie al interior de la mina y almacenados en las zonas de trabajo, sin contar con áreas debidamente establecidas para su almacenamiento y ocasionando la contaminación de los agregados. Otro inconveniente era que la elaboración y aplicación del concreto lanzado vía seca generaba muchos polvos lo que causaba daño en la salud de los trabajadores; además el rebote de concreto era muy elevado por lo que el costo se incrementaba por metro cúbico efectivo aplicado.

En la actualidad Minera Tizapa ha retirado de operación las máquinas de pierna y el anclaje manual y se sustituyeron por el anclaje mecanizado por medio de jumbos ancladores electro-hidráulicos; el cemento en forma de lechada manual ha sido sustituido con cartuchos de cemento y corazón de malla de acero que instala con el jumbo anclador electrohidráulico, siendo de gran ayuda en la reducción de accidentes por caída de roca, en la fortificación oportuna de las áreas inestables y como el principal método de soporte en el interior de la mina, y se ha establecido que el anclaje se instale de manera sistemática en todas las obras desarrolladas en material estéril y cuando sea necesario, también en las áreas de mineral.

La aplicación del concreto lanzado vía seca se ha sustituido con el uso del concreto lanzado vía húmeda, lo cual mejoró notablemente el medio ambiente de los trabajadores al disminuir la presencia de polvos, así como la calidad de vida del trabajador. Esto se realizó con la instalación de una planta concretera de CEMEX quien suministra el concreto al interior de la mina hasta el lugar donde se requiere; las máquinas lanzadoras de concreto vía seca tipo Aliva fueron sustituidas por robots lanzadores de concreto vía húmeda que se operan a control remoto para seguridad del operador en su instalación.

Se implementó un programa de mecánica de rocas de manera permanente, dando seguimiento al cumplimiento de las dimensiones establecidas en el diseño de los rebajes como son alturas y claros; la evaluación en campo de los procedimientos de anclaje, barrenación, voladura y aplicación del concreto lanzado, así como la realización de pruebas de extracción de anclas para la comprobación de la capacidad de carga de las anclas instaladas.

El programa de fortificación implementado se apoyó también en la capacitación al personal de nuevo ingreso y en el reforzamiento y actualización de todo el personal para que conozcan y apliquen los lineamientos del soporte dentro Minera Tizapa, con el fin de que comprendan el compromiso que se tiene con la seguridad del personal como prioridad número uno ante las necesidades de producción; obteniendo como resultado una disminución de accidentes por caída de roca.

I.1) Objetivo

El objetivo del proyecto fue disminuir el riesgo de accidentes por desprendimiento de rocas, realizando una explotación segura y económica mediante el soporte adecuado y oportuno de la roca en las obras de desarrollo y producción.

I.2) Alcance

En Minera Tizapa todo el personal que se incorpore y/o labore en el interior de la mina, debe tomar un curso obligatorio de mecánica de rocas para conocer y aplicar todas las prácticas de operación y soporte del interior de la mina y con ello prevenir los accidentes por caída de roca. Las operaciones están supeditadas a la supervisión de las condiciones mecánicas de la roca en todas las obras del interior de la mina. La seguridad del personal que labora en la mina se ha convertido en la primera prioridad de la empresa.

II) SITUACIÓN DE MINERA TIZAPA

II.1) Situación geográfica

Minera Tizapa se encuentra en la porción sur-poniente del Estado de México, a 67 Km al SW en línea recta de la Ciudad de Toluca de Lerdo y a 4 Km al SW de San Juan Zacazonapan (Figura No. II.1); está localizada entre las coordenadas geográficas 100° 10'a 100° 15' de Longitud Oeste y 19° 00' a 19° 05' de Latitud Norte. La altura promedio en la mesa de Tizapa es de 1,360 m.s.n.m. y de 1,225 m.s.n.m. en el área del Socavón Zacazonapan.

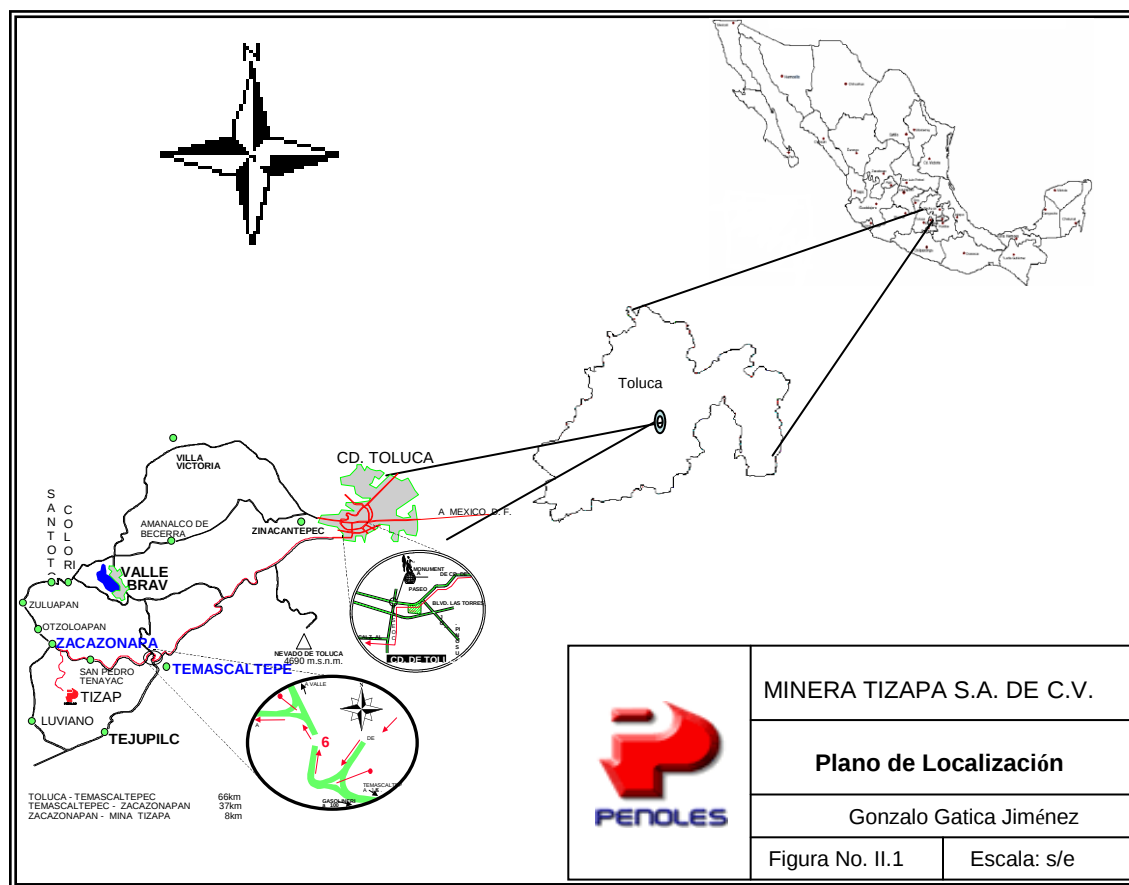


Figura No. II.1. Localización geográfica de Minera Tizapa

II.2) Vías de Comunicación

Zacazonapan está comunicado por carreteras pavimentadas. El acceso se realiza desde la Ciudad de Toluca por dos caminos, el primero es por la carretera que pasa por Temascaltepec y San Pedro Tenayac, con una longitud de 111 Km; la segunda vía de acceso es la carretera que pasa por Valle de Bravo, Colorines, Santo Tomás de los Plátanos, Zuluapan y San Martín Oztoloapan, con una longitud de 147 Km.

El acceso a Tizapa se realiza desde Zacazonapan por medio de carretera pavimentada con una longitud de 8 Km (Figura No. II.1).

El servicio de aeropuerto y ferrocarril se localizan en la Ciudad de Toluca de Lerdo.

II.3) Clima y vegetación

Tizapa se encuentra ubicada en las proximidades de los 19° latitud norte y pertenece a la zona tropical. El clima que predomina es de templado a cálido y se divide típicamente en la época de lluvias en verano y la época de secas en invierno, siendo los meses de julio, agosto y septiembre los más lluviosos del año. La temperatura de verano sobrepasa los 30° C y la precipitación anual media es de 1,500 mm. La temperatura de invierno oscila entre 10 y 16° C.

La vegetación está constituida por ceibas, parotas, huizaches, arbustos y pastos.

II.4) Actividad económica

Zacazonapan tiene una población de 5,000 habitantes. En la región las principales actividades económicas son la agricultura tradicional y la ganadería extensiva, además del comercio en pequeña escala. Zacazonapan no había tenido actividad minera por lo que fue necesario recurrir a personal con experiencia en las labores mineras y capacitar al personal de la región.

II.5) Servicios e infraestructura

Zacazonapan cuenta con jardín de niños, escuela primaria, escuela secundaria, preparatoria, teléfono, correos, biblioteca pública, casa de la cultura y carreteras pavimentadas. El acceso a la mina es, como se mencionó anteriormente, por un camino pavimentado. La energía eléctrica que alimenta a la población es suministrada por Comisión Federal de Electricidad (CFE) a 13,200 Volts., desde la subestación Santa Bárbara que se encuentra en la carretera Colorines-Zacazonapan y la cual pertenece al Consejo Hidroeléctrico Miguel Alemán. Minera Tizapa cuenta con dos líneas suministradas también por CFE. La primera es la misma que se mencionó para el poblado de Zacazonapan (13,200 Volts) y la segunda es la suministrada desde la subestación de Tejupilco a 115,000 Volts, siendo esta última utilizada para la operación efectiva de la unidad.

III) OPERACIONES DE EXPLOTACIÓN

III.1) Sistema de explotación

Minera Tizapa se caracteriza por contar con rocas encajonantes de regular a muy mala calidad; por esta razón, todas las obras de desarrollo sean de exploración o preparación deben contar con una fortificación de manera sistemática como el anclaje y la aplicación del concreto lanzado en todo el contorno de las obras. Esto debido a que son obras que permiten alargar el tiempo de vida de la mina y su vez son las que comunican a los nuevos rebajes.

Para poder determinar el sistema de explotación de la mina es necesario realizar los trabajos en función de las siguientes características:

- El conocimiento real de las trazas con barrenación de diamante
- El tipo de cuerpo y de estructuras mineralizadas
- El echado que presenta el cuerpo
- Las dimensiones del cuerpo, así como su potencia
- La profundidad del cuerpo con respecto al nivel de superficie
- Las características mineralógicas, así como sus leyes
- El tipo de roca encajonante
- La geohidrología del yacimiento
- La caracterización del macizo rocoso

Minera Tizapa cuenta con un grupo de yacimientos de sulfuros masivos polimetálicos en forma de cuerpos lenticulares de origen vulcanogénico. La mineralización consiste en pirita de grano fino con bandas y diseminaciones de esfalerita, galena, arsenopirita y calcopirita (Monroy Fernández y Aragón Piña, 1994). Los cuerpos mineralizados se encuentran con echados de 30 a 40 grados y en algunos sitios, por fallamiento, se presentan en posición horizontal o vertical. La longitud promedio se extiende dentro de un área de aproximadamente 600 m, de este a oeste y aproximadamente 400 m de norte a sur y tiene un espesor promedio de 8 m, sus longitudes son variables debido al comportamiento lenticular de los cuerpos, la densidad del sulfuro masivo es en promedio 4.16 g/cm³ y la roca encajonante al alto es filita gráfita de 2.66 g/cm³ de densidad, que se altera rápidamente a los cambios de temperatura y humedad comunes en el interior de la mina, este material al absorber la humedad se expande y genera caídos de roca, por lo que es importante mantener la temperatura en las obras (Neri Acuña, M., 1998). Al bajo tenemos una tenue capa de esquistos de sericita deleznable al tacto y un gran paquete de esquistos de clorita (Parga-Pérez y Rodríguez Salinas, 1983), este contacto presenta en su mayoría escurrimientos de agua.

El sistema de explotación utilizado en Minera Tizapa es el de cuartos y pilares con relleno ahogado y seco para rebajes grandes y en los rebajes delgados se utiliza el corte y relleno con cargado al alto y anclaje sistemático.

III.2.1) Rampas Principales

PLANTILLA DE BARRENACIÓN

SECCIÓN DE 6.0 X 4.3

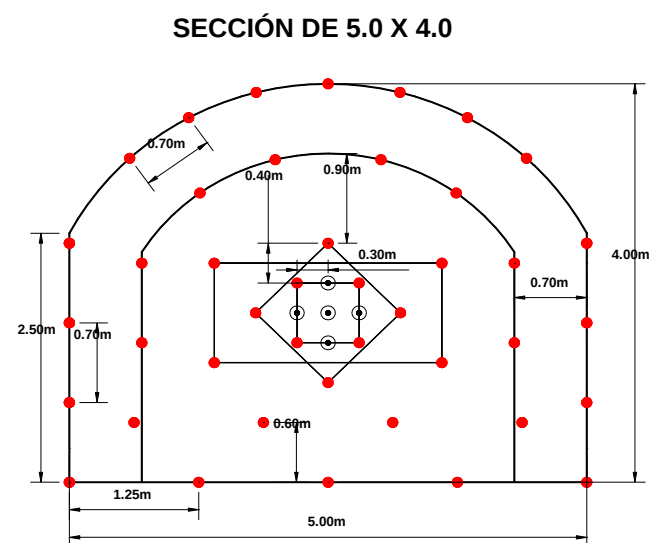
Diagrama de la plantilla de barrenación para una sección de 6.0 x 4.3 metros. El diagrama muestra la distribución de los barrenos (puntos rojos) en la sección transversal del túnel. Se indican las dimensiones y distancias clave:

- Dimensiones totales: 6.00m (anchura) y 4.30m (altura).
- Distancia desde el borde izquierdo hasta el primer barren: 1.20m.
- Distancia desde el borde derecho hasta el primer barren: 0.70m.
- Distancia entre barrenos en la parte superior: 0.70m.
- Distancia entre barrenos en la parte inferior: 0.60m.
- Distancia entre los niveles de barrenos: 1.10m.
- Distancia entre los barrenos en el nivel central: 0.40m.
- Distancia entre los barrenos en el nivel superior: 0.30m.

Total de barrenos: 65
Barrenos cargados: 60
Barrenos de salida: 5

~ 11 ~

PLANTILLA DE BARRENACIÓN



Total de barrenos: 52
Barrenos cargados: 47
Barrenos de salida: 5

Figura No. III.2. Plantilla de barrenación en obras de desarrollos de sección 5 X 4m

El cargado de la voladura se lleva a cabo consumiendo explosivo de la siguiente manera (Tabla No. III.1):

NONELES		ALTO EXPLOSIVO	
RETARDOS	CANTIDAD	EXPLOSIVO	CANTIDAD
1	1	Tovex 1" X 8"	38 PIEZAS
2	1	Emulsión 1 1/4" X 39"	24 PIEZAS
3	1	Tovex T-1	64 PIEZAS
4	1	Mexamón	175 KG
5	2	Cordón detonante	20 METROS
6	2	Cañuelas	2 PIEZAS
7	4		
8	4		
9	4		
10	5		
11	5		
12	5		
13	10		
14	10		
15	8		
TOTAL	63 NONEL LP		

Tabla No. III.1. Explosivo utilizado en voladura de desarrollo en sección 5X4m

Las rampas principales cuentan con loza de concreto de 30 cm de espesor con resistencia a la compresión simple de 350 kg/cm^2 de acuerdo con el diseño. Se cuenta con una cuneta o acequia revestida de concreto en forma de V a un costado de la loza y cuentan con concreto lanzado con espesor promedio de 2 a 3 in en techo y tablas (Figura No. III.3).

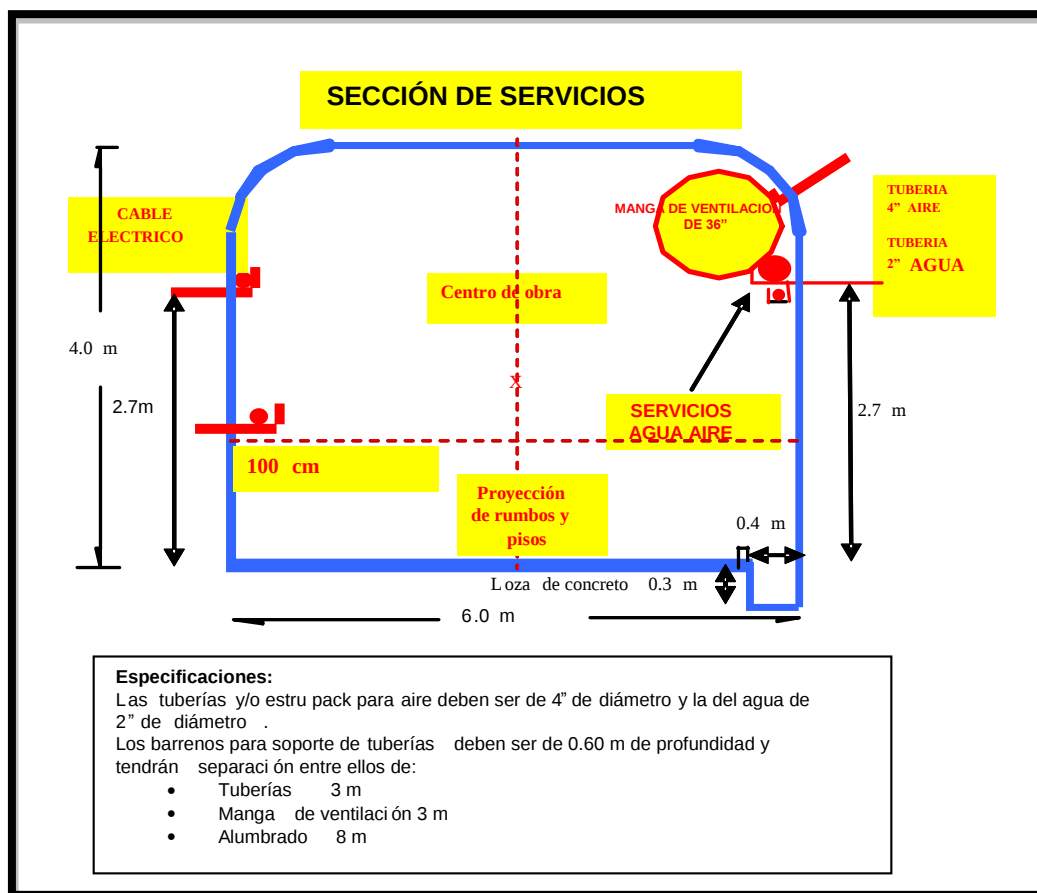


Figura No. III.3. Distribución de servicio en rampas principales

III.2.2) Accesos

Los accesos se desarrollan a partir de la rampa principal; el rompimiento de estas obras debe ser con base en el levantamiento geológico estructural en donde se detecten las mejores condiciones geomecánicas, y estos deben cortar perpendicularmente al cuerpo. Las dimensiones de los accesos son de 5.00 x 4.00 m, iniciando con una pendiente de -12%, realizando pivotes hasta alcanzar +12% (quedando el acceso en primer lugar negativo, posteriormente horizontal y finalmente positivo). Se utiliza una plantilla de barrenación con un diámetro de perforación de 1 7/8" y una longitud de 16 ft. Todos los accesos por lo general se encuentran al bajo del mineral, en los esquistos y el soporte que se utiliza en estas obras es el anclaje sistemático; con una barrenación de 1 1/2 in de diámetro con longitud de 2.4 m, con anclas encementadas de varilla corrugada de 3/4 in de diámetro y 2.40m de longitud; con una plantilla al tres bolillo y un espaciamiento de 1.00m; toda la sección va recubierta con concreto lanzado de 1 in de espesor para evitar el intemperismo.

III.2.3) Frentes y cruceros

Estas obras se realizan cruzando el cuerpo de mineral de manera perpendicular del bajo hasta llegar al alto y después se seguirá longitudinalmente hacia ambos extremos del cuerpo, con obras de dimensiones de 5.00 x 4.00 m, hasta delimitar el cuerpo del mineral. En el caso que el cuerpo de mineral tenga una potencia mayor a 8 metros, se procederá con el método de explotación de cuartos y pilares (Figura No. III.4) donde se abrirán las calles y contracalles de 8 metros y los pilares serán de 5.00 X 5.00 m con base en la plantilla de pilares ya diseñada.

En los rebajes donde el cuerpo de mineral tenga un espesor menor de 8 m, la frente se llevará a cabo siguiendo la estructura del mineral en toda su longitud, con una sección de 5.00 x 4.00 m, y en áreas donde el espesor del mineral sea menor a la sección de la obra, el control se llevará en el alto, el cual puede ser filita gráfita o esquistos de clorita, que pueden generar un desprendimiento de roca, debido a que el mineral es mucho más pesado que las rocas encajonantes. En estos casos se soportará el alto de la obra con anclaje sistemático, con anclas encementadas de varilla corrugada de 3/4 in de diámetro y 2.40m de longitud; con una plantilla al tres bolillo y un espaciamiento de 1.00m; y siempre se llevará el recargado de tepetate en el alto de la obra.

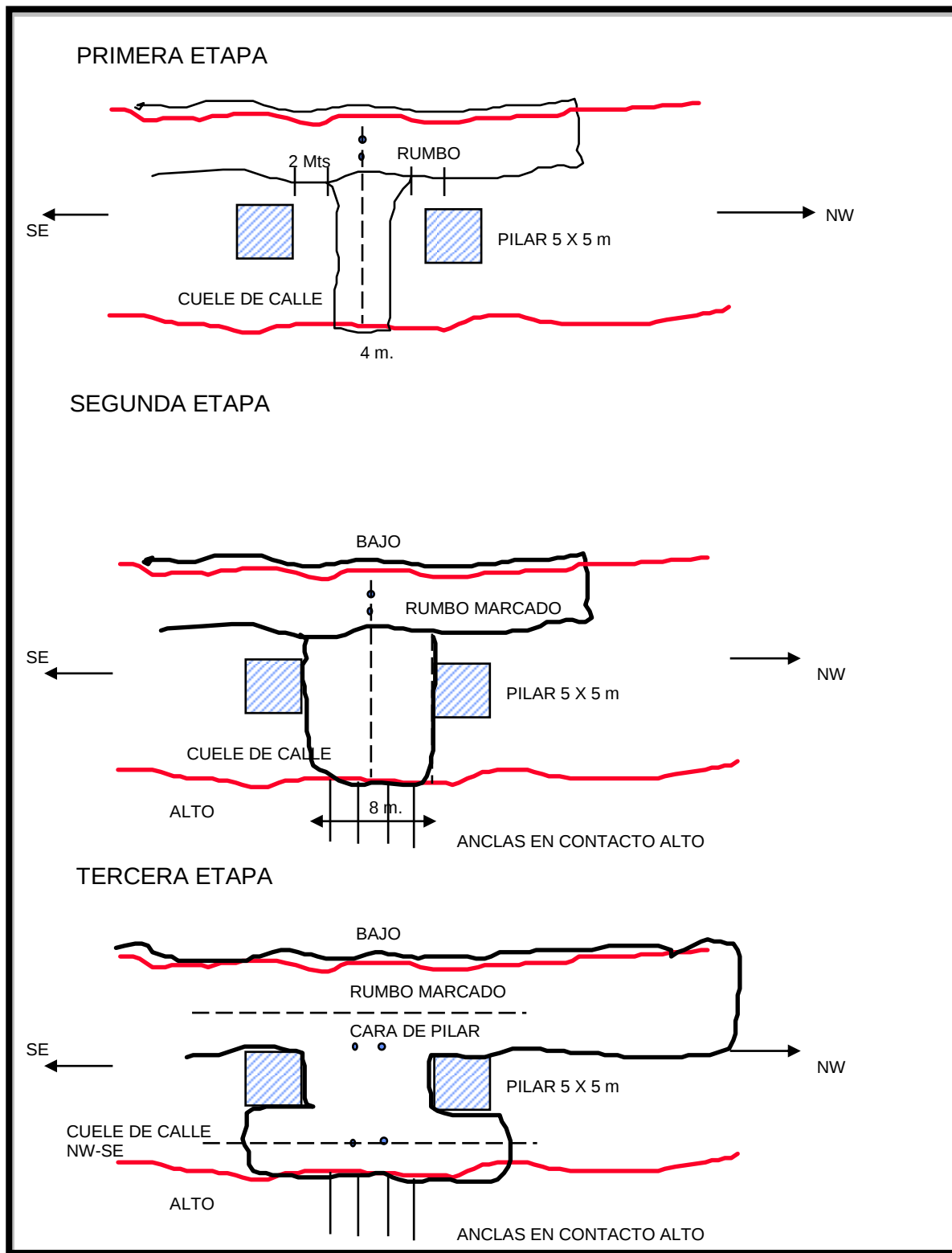


Figura No. III.4. Etapas para la formación de pilares en el método de salones y pilares

III.3) Tumbes

El sistema de explotación es conocido como cuartos y pilares con relleno ahogado, el cual se inicia una vez que se ha delimitado todo el rebaje y se procede a la delimitar los pilares, desbordando la frentes y cruceros en mineral hasta obtener un ancho máximo de pilares de 5.00 x 5.00 m y calles y contracalles de 8.00 m. La distribución de pilares se basa en un diseño ya establecido donde los pilares de un rebaje deben coincidir con los pilares de los niveles superiores ya explotados; la altura máxima de los lugares de trabajo no debe ser mayor a 4.50 m cuidando con ello la estabilidad del cielo de la obra.

La barrenación en el tumbes, se realiza en forma horizontal (Figura No. III.5), con jumbos electro - hidráulicos, con broca de diámetro de 1 7/8 in y longitud de 16 ft, generando un factor de carga por barreno de 8 a 10 ton/barreno y la plantilla de barrenación utilizada para los bancos es de 7.00 x 4.00 m (Figura No. III.6). Al finalizar la barrenación, se prepara la voladura que consiste en el soplado de barrenos, cargado y conexión. Para el cargado se utiliza cañuela como línea de encendido y cordón detonante como línea de iniciación, noneles MS como detonante, hidrogel o emulsión como carga de fondo y Mexamón como carga de columna; todo el contorno, tablas y cielo se carga con T-1, para no debilitar la roca.

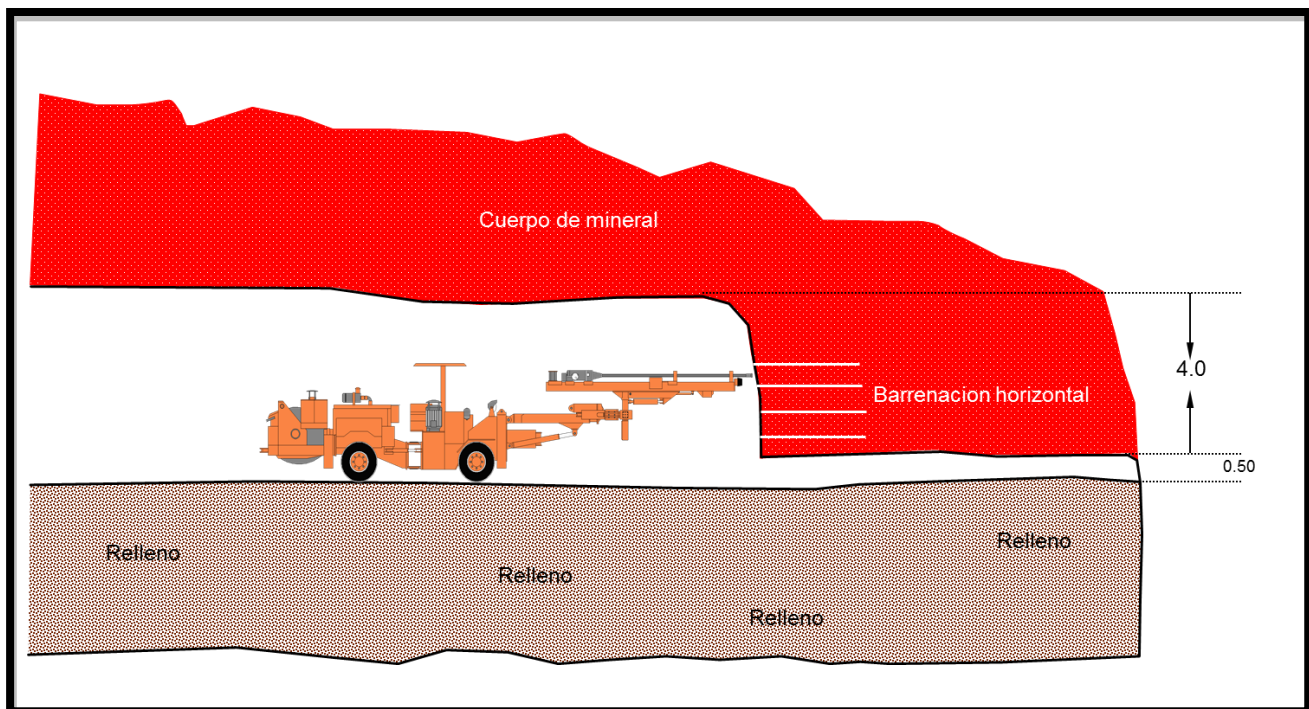


Figura No. III.5. Barrenación horizontal en bancos de producción

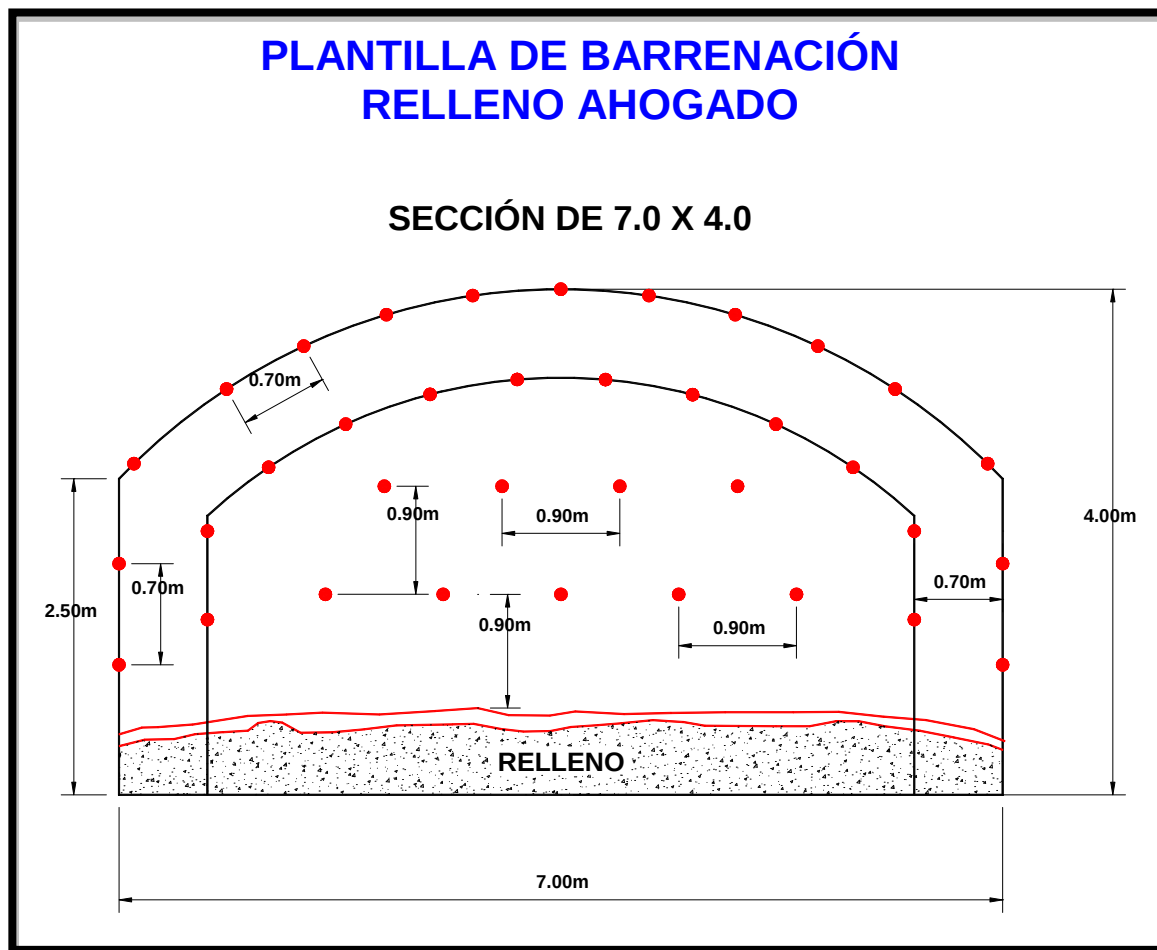


Figura No.III.6. Plantilla de barrenación en bancos horizontales de producción de sección 7 X 4m

El cargado de la voladura se lleva a cabo consumiendo explosivo de la siguiente manera (Tabla No. III.2 y Figura No. III.7):

NONELES		ALTO EXPLOSIVO	
RETARDOS	CANTIDAD	EXPLOSIVO	CANTIDAD
1	1	Tovex 1" X 8"	21 PIEZS
3	4	Tovex T-1	45 PIEZAS
5	4	Mexamón	40 KG
7	4	Cordón detonante	15 METROS
9	4	Cañuela	2 Piezas
11	4	Nonel MS 16'	36 piezas
12	15		
TOTAL	36 NONEL MS		

Tabla No. III.2. Explosivo utilizado en voladura de banco de producción en sección 7X4m

La preparación de la voladura se realiza en el transcurso del turno para ser detonada al final del mismo y permitir la disipación de los gases producidos por los explosivos. Los trabajos inherentes a las voladuras son realizadas al inicio del siguiente turno, tales como: amacizar cielos, tablas y pilares, para que posteriormente se inicien los trabajos de rezagado, acarreo y producción.

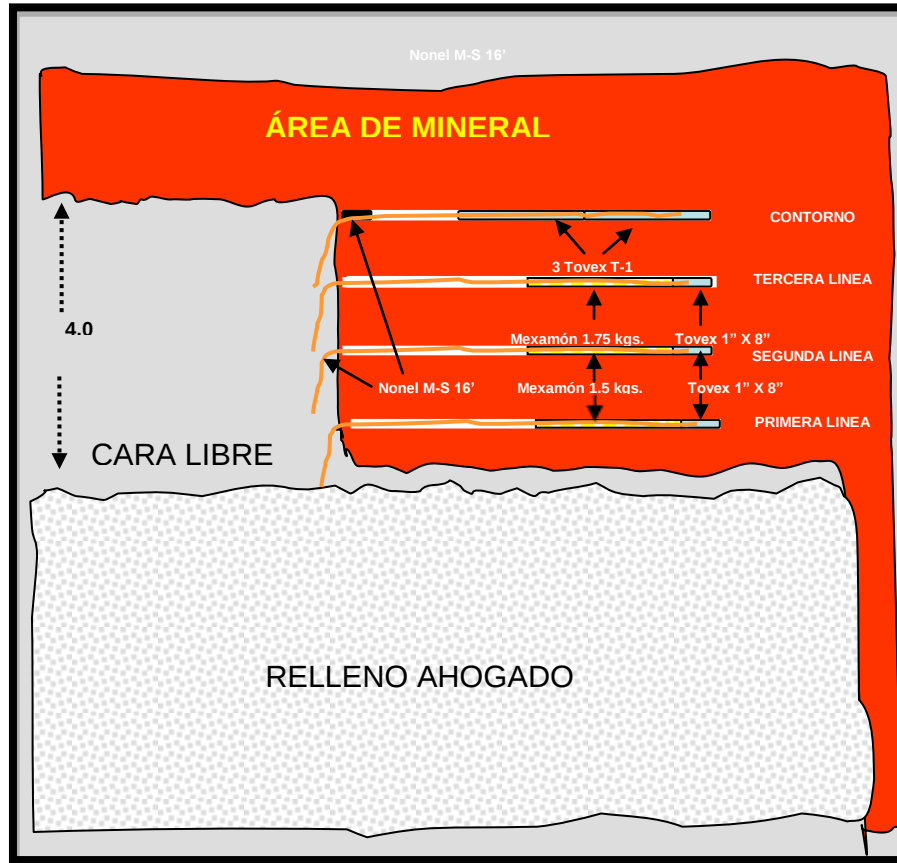


Figura No. III.7. Cargado de explosivo o en voladura de banco de producción en sección 7X4m

III.4) Rezagado

El rezagado de mineral se lleva a cabo utilizando cargadores frontales (scoop tram) de 3.5 yd³, 6 yd³ y 8yd³; una vez tumbado el mineral, este es rezagado a los cargaderos, donde se carga el mineral en camiones de 20 toneladas de capacidad y se transporta el mineral del interior de la mina a la quebradora primaria, que está ubicada en el exterior de la mina. La distancia de acarreo oscila entre 1,500 y 6,000 m.

Los scoop-trams se consideran con distancia óptima y económica de desplazamiento para 200 m. y el rezagado se debe llevar conforme a los controles de piso de 1 m para mantener el control en el rezagado y relleno.

III.5) Relleno

Una vez terminado el corte del mineral en el rebaje, se procede a colocar el relleno que es el tepetate seco generado en las áreas de desarrollo del interior de la mina. Una vez que se produce el tepetate se rezagan con scoop tram de 3 yd³, 6 yd³ y 8 yd³ y son cargados en camiones de 7 m³ de capacidad para su acarreo hacia los rebajes, donde es recibido y distribuido uniformemente a lo largo del rebaje. Cuando se presentan pilares en los rebajes angostos se realiza planilla y cargado de tepetate al alto por medio de scoop tram, para mantener los rebajes con alturas no mayores a 4.5 m; también se utiliza el relleno para que los rebajes se encuentren con claros menores a 8m de ancho que es el estándar de Minera Tizapa.

III.6) Ciclo de minado

En el interior de la mina todos los avances de las obras se dividen en seis etapas (Figura No. III.8), con el fin de efectuar actividades simultáneas que garantizan la seguridad del personal que realiza los trabajos. Lo anterior se lleva a cabo en los topes de las rampas y adentro de los rebajes. Las operaciones que se realizan son las siguientes:

1. Anclaje
2. Marcaje de obra y barrenación
3. Voladura, ventilación y amacice manual
4. Rezagado
5. Amacice mecanizado
6. Limpieza del tope

Esto se lleva a cabo en los topes de rampas y frentes, en rebajes de grandes dimensiones y en los rebajes pequeños se ciclan con otros rebajes pequeños, con la finalidad de mantener las áreas seguras para el personal y una mayor productividad en la mina. Para que estos trabajos se lleven a cabo se utilizan 9 jumbos de producción, 6 jumbos ancladores; 5 equipos de amacice mecanizado, 13 scoop tram y, cuando se requiere zarpear las áreas, se cuenta con 2 robots para el lanzamiento del concreto.

Esta serie de actividades se realiza de manera sistemática para asegurar la continuidad operativa de la mina.

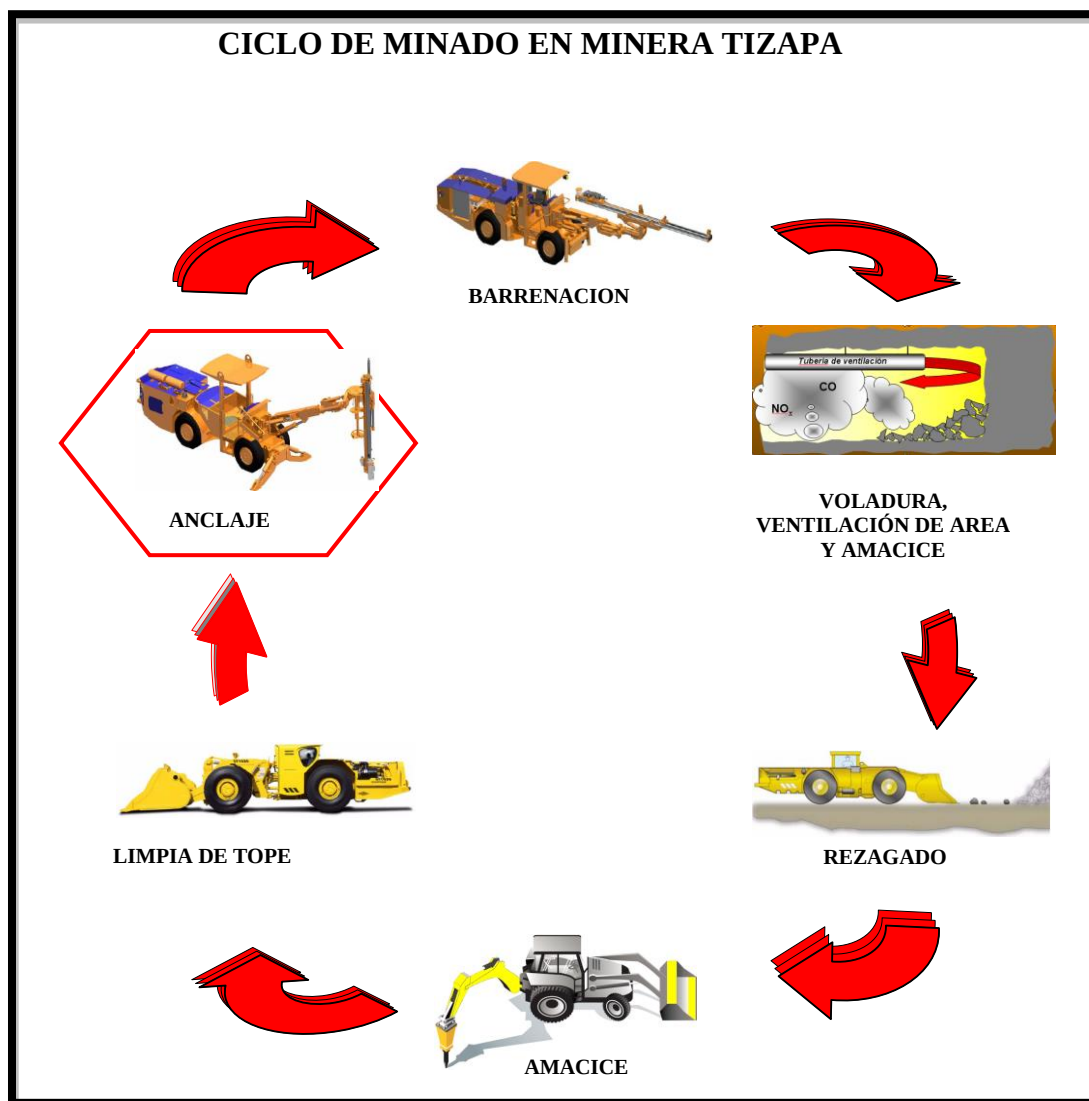


Figura No. III.8. Ciclo de minado en Minera Tizapa

IV) SISTEMA DE FORTIFICACIÓN IMPLEMENTADO EN MINERA TIZAPA

IV.1) Pilares

Los pilares son un soporte indispensable para el sostenimiento de la roca, y se utiliza dentro del rebaje, así como en talleres y en los cargaderos. Las dimensiones para el diseño de los pilares depende de la profundidad a la que se encuentren, el material del que estarán compuestos y las estructuras geológicas presentes en el lugar (Nava Rojas R., 2008).

El sistema de minado de salones y pilares, fue desarrollado para la extracción del mineral in situ y conservar estable la roca contenida en techos y respaldos. Un pilar se puede definir como una columna de roca, la cual se diseña para no fallar durante la operación de un rebaje.

En el sistema de minado de salones y pilares se cumplen las siguientes características de minado:

1. Se obtienen recuperaciones de mineral in situ mayores al 85%
2. Es un método selectivo, pudiendo dejarse dentro de los rebajes caballos de material estéril o mineral no económico
3. Es un sistema de minado sujeto a un alto grado de mecanización en cada una de las etapas del minado.
4. Es un sistema altamente seguro para el personal y equipo laborando dentro de los rebajes. Las actividades de más alto riesgo pueden realizarse en forma mecanizada (amacice, anclaje, barrenación y cargado del explosivo).
5. Bien aplicado resulta un sistema de minado de alta productividad y costos competitivos versus otras variantes de corte y relleno.

IV.1.1) Dimensiones en los rebajes

Los pilares de mineral en los rebajes fueron calculados en un principio de 5 x 5 metros de ancho, con calles de 8 metros y altura de 5 metros; con el tiempo se recomendaron modificaciones a las dimensiones quedando de 4 x 4 metros de ancho y calles de 8 metros. Desafortunadamente no se obtuvieron resultados muy favorables debido a la falta de una disciplina operativa, con el tiempo y con el propósito de incrementar el índice de seguridad, los pilares fueron rediseñados en el año 2003 debiendo cumplir con las siguientes características. (Figura No. IV.1):

- 1) Altura máxima permitida para la operación de las áreas de producción: 4.50 m.
- 2) Ancho de pilares: 5 x 5 m.
- 3) Ancho de calle: 8 metros
- 4) Distancia diagonal de esquina de pilar a esquina de otro pilar (CLARO): 11.31 metros
- 5) Perfilado: en toda barrenación de los pilares, para desbordes o perfilados, debe utilizarse únicamente explosivo de baja densidad.
- 6) Centros de pilar: Cada cara de pilar debe estar rotulada con el centro visible y en pintura naranja para el control de su verticalidad.

CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS PARA SULFURO MASIVO

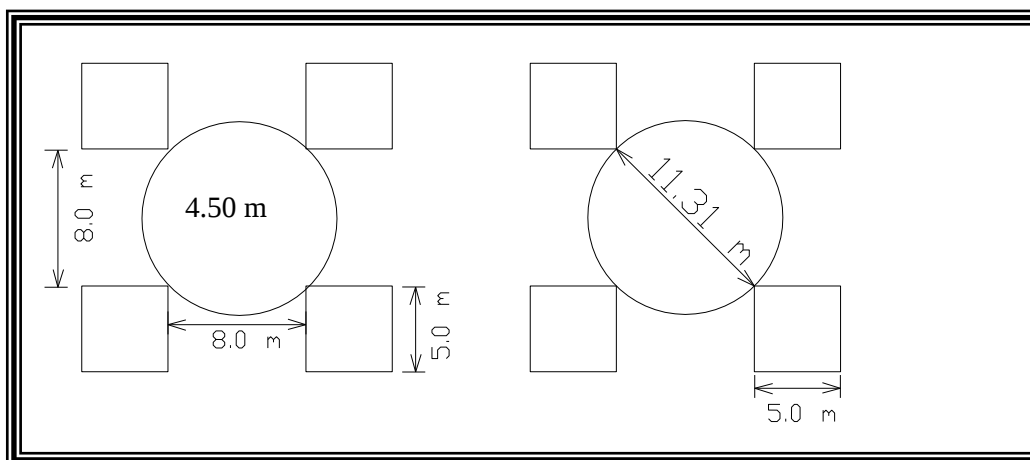


Figura No. IV.1. Dimensiones de pilares de mineral

La roca de esquisto es mucho más débil que el sulfuro por lo que los pilares en este material deben cumplir con las siguientes características (Figura no. IV.2):

- 1) Altura máxima permitida para la operación de las áreas de producción: 4.50 m.
- 2) Ancho de pilares: 8 x 8 m.
- 3) Ancho de calle: 5 m
- 4) Distancia diagonal de esquina de pilar a esquina de otro pilar: 7.10 m
- 5) Perfilado: en toda barrenación de los pilares, para desbordes o perfilados, debe utilizarse únicamente explosivo de baja densidad.
- 6) Centros de pilar: Cada cara de pilar debe estar rotulada con el centro visible y en pintura roja para el control de su verticalidad.

CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS PARA ESQUISTOS

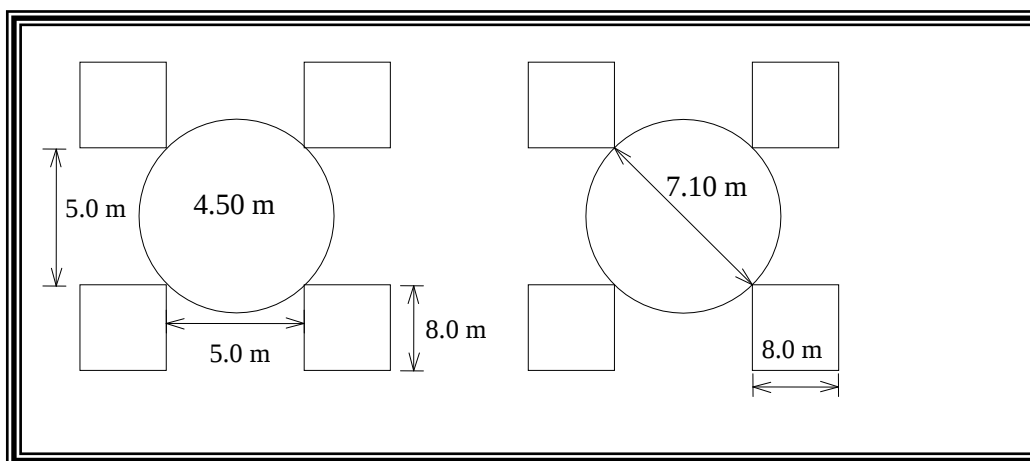


Figura No. IV.2. Dimensiones de pilares en tepetate

Para una mejor identificación del estado físico de los pilares, así como su ubicación, deben estar rotulados en cada una de sus caras con la siguiente información:

- Nombre del pilar en cada una de las cuatro caras
- Orientación de cada una de sus cuatro caras
- Código de seguridad por sistema de semáforo en cada una de las cuatro caras, nos indica la calidad del macizo rocoso del pilar (Figura No. IV.3).

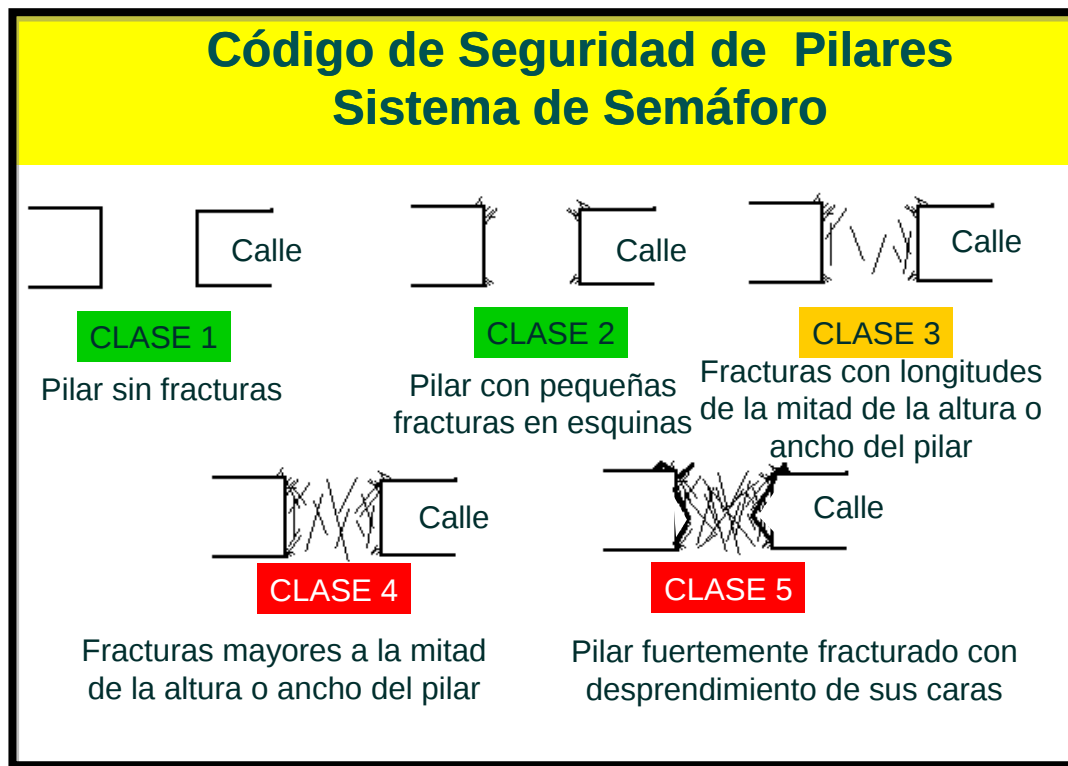


Figura No. IV.3. Clasificación de estabilidad de pilares por sistema de semáforos

IV.1.2) Estabilidad de pilares

La estabilidad de los pilares está controlada por:

- Estructuras geológicas (mayores y menores)
- Efecto de la barrenación y voladuras
- Las dimensiones (ancho y alto) del pilar

IV.1.3) Actividades sistemáticas de carácter obligatorio para el control en la verticalidad de los pilares

Todos los pilares deben de cumplir con su verticalidad para que los esfuerzos que reciben sean distribuidos de manera homogénea ya que de lo contrario, este esfuerzo puede ocasionar el colapso de los rebajes al no contar con una distribución correcta de los esfuerzos verticales que reciben los pilares (Nava Rojas R. 1993). Las siguientes actividades se realizan para controlar la verticalidad de los pilares:

- a) Marcaje del centro del pilar en cada una de las cuatro caras
- b) Marcaje del nombre del pilar en cada una de las cuatro caras (Figura No.IV.4).
- c) Obtención de parámetros geomecánicos en cada una de las cuatro caras
- d) Medición de alturas en cada una de las caras del pilar para detectar alturas fuera de estándar
- e) Medición de claros en cada una de las aristas de las caras del pilar para detectar claros fuera de estándar



Figura No. IV.4. Marcaje de centro y nombre de pilar

IV.1.4) Beneficios esperados a partir del control de la verticalidad de los pilares

Para alcanzar el beneficio de la verticalidad de los pilares, estos deben ser construidos cumpliendo las siguientes características (Figura No. IV.5):

- a) Los pilares conservan su eje vertical a lo largo de su construcción
- b) Personal de operación no “desborda” pilares a criterio personal
- c) Se tiene mayor control en anchos y claros de calle
- d) Se mejora notablemente el factor de seguridad al cuidar su verticalidad y reduciendo los daños por barrenaciones y voladuras deficientes
- e) Se reducen los riesgos por caída de roca con daños al personal y al equipo

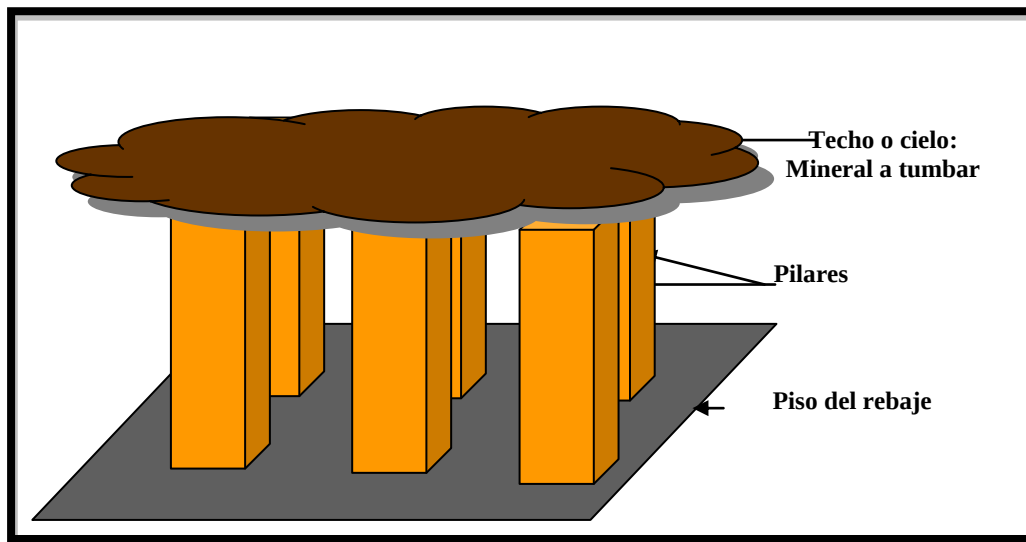


Figura No. IV.5. Esquema de verticalidad de pilares

IV.2) Anclaje

El anclaje es un método activo para soportar la roca y actualmente el anclaje consiste en la colocación de varilla corrugada con cemento de tal forma que atraviese la roca expuesta hacia la roca estable que soporta la carga. En Minera Tizapa toda obra desarrollada en tepetate debe contar con anclaje sistemático y en los rebajes angostos, se ancla todo el alto y la intercalación mineral-tepetate; en los rebajes de salones y pilares se ancla donde sea necesario y también se ancla el mineral; esto se realiza para prevenir la caída de roca debido a que se cuenta con una calidad de roca de regular a muy mala. Este soporte se realiza con el jumbo anclador, que es un equipo automatizado y fue concebido para el uso en la minería. Cuenta con movimientos hidráulicos independientes y realiza los movimientos de la barrenación vertical, inclinada y horizontal que consiste en tres pasos:

1. Realizar un barreno de 9 ft por un diámetro de 1 ½", en un tiempo aproximado de 1:25 minutos;
2. Se realiza la inyección o lanzado de 16 cartuchos de cemento con acelerante y mallas de acero en un tiempo aproximado de 1:00 min., estos cartuchos están preparados con aditivos específicos para el fraguado rápido una vez que entra en contacto con el agua.
3. El anclaje se realiza con anclas de varilla corrugada de ¾" de diámetro por 2.40 m de largo, y cuentan con una argolla en un extremo y una placa metálica.

La importancia del anclaje como soporte se puede resumir en tres razones:

- 1.- Al anclar se incrementa la estabilidad del terreno.
- 2.- El anclaje ofrece mayor seguridad al personal, al equipo y a la obra minera.
- 3.- Disminuye la dilución debida a desprendimientos de la roca encajonante.

IV.2.1) Anclas de varilla corrugada con argolla.

En Minera Tizapa toda la roca encajonante se encuentra estratificada y por su calidad estas deben ir ancladas de manera perpendicular a los estratos, debido a que al intemperizarse con rapidez, la roca tiende a hincharse y a su vez a desprenderse en capas (Figura No. IV.6).

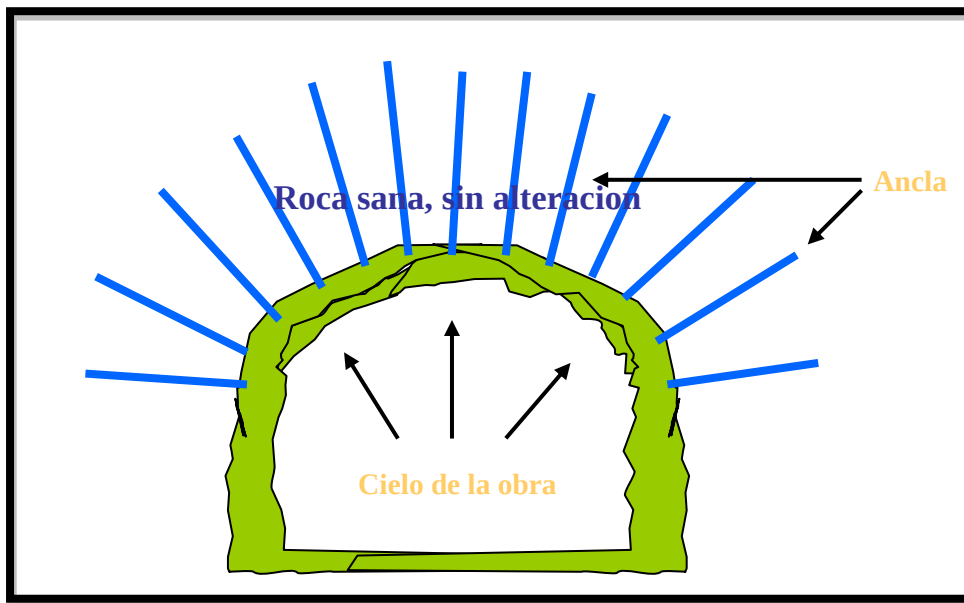


Figura No. IV.6. Esquema de anclaje en obras de desarrollo

El ancla que se utiliza debe cumplir con las siguientes características (Neri Acuña, M., 2005):

- 1) Largo: mínimo 2.40 m con corte en uno de los extremos a 45°. En el otro extremo lleva una argolla con diámetro interno de 3/4 in (Figura No. IV.7).
- 2) Diámetro del ancla: 3/4 in, número 6.
- 3) Peso del ancla: 2.250 kg/m
- 4) Largo y ancho de la placa: 15 x 15 cm
- 5) Espesor de la placa: 6.35 mm, calibre 1/4".
- 6) Cartucho de cemento: con refuerzo de malla de acero, forro de tela geotextil de 29.5 +/- 0.5 cm de largo y 29 +/- 1 mm de diámetro. Volumen de 212 cm³ de cementante por cartucho. Se colocan 16 cartuchos por barreno (Figura IV.8).
- 7) Tipo de roca: se utiliza para todas las áreas de la mina, en esquistos, filita gráficas y sulfuro masivo.



Figura No. IV.7. Ancla de varilla corrugada colocada en rebaje



Figura No.IV.8. Cartucho de cemento

V.2.2) Estándares de sostenimiento con anclaje:

Con el tiempo en Minera Tizapa se tuvieron que establecer los estándares de sostenimiento (Gatica Jiménez G, 2008) lo cual se llevó a cabo tomando en cuenta los estudios del tipo y calidad de la roca con el fin de disminuir y evitar la incidencia de los desprendimientos y asegurar con ello las áreas de trabajo en el interior de la mina. Los estándares de anclaje son los siguientes:

- 1).- Todos los desarrollos destinados a la preparación y/o exploración en tepetate deberán contar con un anclaje sistemático.
- 2).- En presencia de planos de discontinuidad (estratificación, fallas y/o fracturas) con rango de inclinación entre 0 a 45°; el anclaje se debe instalar de hombro a hombro de la obra (Figura No. IV.9).

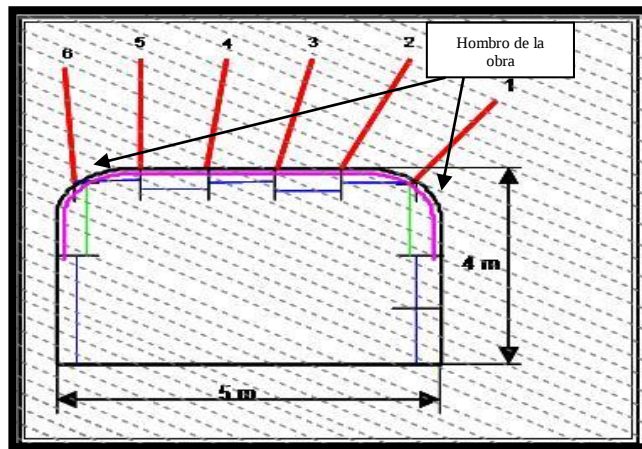


Figura No. IV.9. Colocación de anclas en obras con estratificación de 0 a 45°

3).- En presencia de planos de discontinuidad (estratificación, fallas y/o fracturas) con rango de inclinación entre 46° y 90° , el anclaje se debe iniciar a la altura del hombro y se seguirá hasta la otra tabla, anclando de manera perpendicular (Figura No. IV.10).

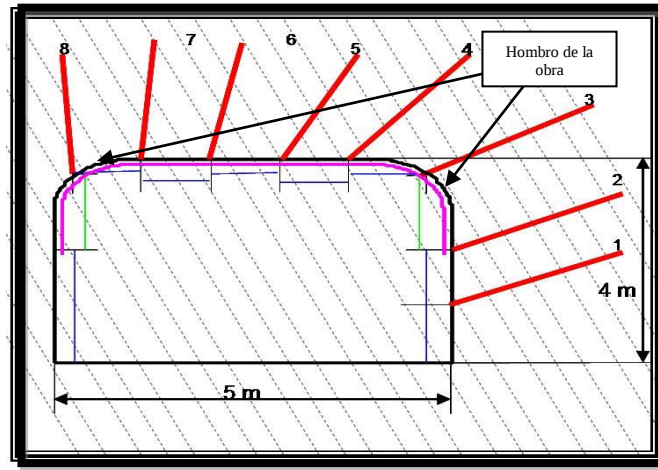


Figura No. IV.10. Colocación de anclas en obras con estratificación de 46° a 90°

4).- La plantilla de anclaje a usar es de 1m X 1m entre ancla y ancla, y en zonas críticas se puede reducir a 0.80m X 0.80m entre ancla y ancla y entre línea a línea de anclaje con plantilla tresbolillo. Si se requiere por estabilidad, se pueden instalar anclas intermedias y entre líneas de anclaje se deben colocar barrenos de alivio para liberar los esfuerzos de la roca anclada (Figura No. IV.11).

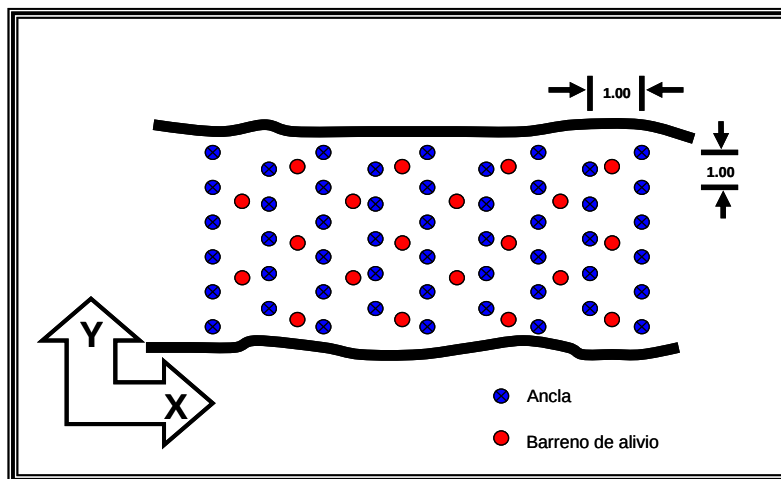


Figura No. IV.11. Plantilla de anclaje en sección de 1 X1 m, con barrenos de alivio

El anclaje es el principal método de sostenimiento en la mina; por esta razón se debe de llevar a cabo de manera sistemática en todas las obras realizadas en tepetate; y cuando es necesario en mineral, siempre cumpliendo el ciclo de minado.

V.2.3) Extracción de anclas

La prueba de extracción de anclas se realiza para comprobar la capacidad de carga con la que está trabajando una vez que ha sido instalada. Esta prueba se realiza cuando el operador del jumbo anclador instala cinco piezas en la tabla del tope que está anclando con la finalidad de que la prueba sea representativa del área que se está reforzando. Una vez instaladas, se espera a que fragüe el cemento; las pruebas se pueden realizar 1 o 2 horas después de su instalación; para realizar la prueba de extracción se utiliza una celda de carga con capacidad de 30 toneladas. Se instala la celda de carga y se empieza aplicar la carga a la celda; la prueba se termina cuando el ancla empieza a salirse del barreno, esto quiere decir que el cemento está cediendo y la pieza empezó a moverse. El otro caso es cuando el ancla se revienta, que indica que el ancla cedió a la carga (Figura No. IV.12 y Figura No.IV.13). Una vez terminada la prueba se registra en la bitácora de pruebas correspondiente. (Gatica Jiménez G, 2008).



Figura No. IV.12. Pruebas de extracción de anclas



Figura No. IV.13. Celda de carga, para pruebas de extracción de anclas

IV.3) Concreto lanzado

En Minera Tizapa la aplicación del concreto lanzado es necesaria para evitar la intemperización de la roca y se emplea en todas las rampas principales, estaciones eléctricas, estaciones de bombeo, cargaderos, nichos eléctricos, talleres, áreas de descanso, estaciones de barrenación a diamante, estaciones robbins, resguardos mineros, en los accesos a los rebajes y, cuando es necesario en el interior de los rebajes. Se emplea el concreto lanzado vía húmeda (Gatica Jiménez G, 2008), utilizando cemento tipo puzolánico (resistente a sulfatos y aguas ácidas) y con fibra de polipropileno de 2 in de largo.

El concreto lanzado se aplica con equipo especializado como los robots lanzadores de concreto Alpha 20 (Figura No. IV.14 y Figura No. IV.15). Estos equipos reciben el concreto por medio de una tolva que alimenta el concreto hacia el brazo para ser proyectado con apoyo de aire comprimido y la aplicación de un acelerante que permite un fraguado más rápido.

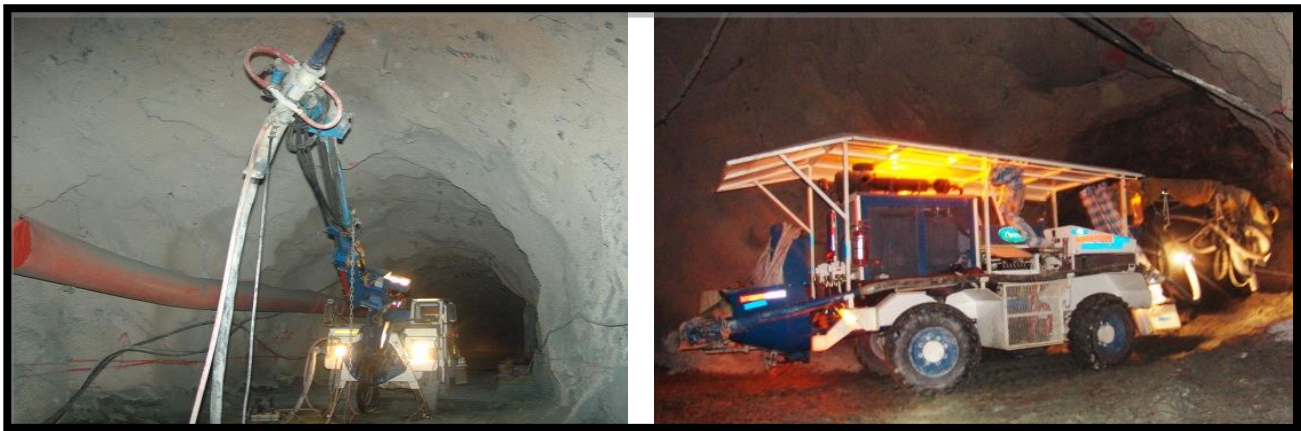


Figura No. IV.14. Robot lanzadora de concreto Alpha 20



Figura No. IV.15. Aplicación de concreto lanzado con Robot Alpha 20

IV.3.1) Especificaciones del concreto lanzado

El concreto lanzado se aplica a obras con vida útil mayor a un año y/o las que por diseño así lo requieran (Neri Acuña, M., 2006).

- 1) Tipo de lanzado: vía húmeda.
- 2) Tipo de cemento: Portland Puzolánico. (resistente a sulfatos y aguas ácidas)
Proporción de cemento: 420 kg/m³
- 3) Proporción de agua: 165 L/m³
- 4) Relación máxima agua/cemento: 0.40.
- 5) Tipo de agregado: andesita.
- 6) Diámetro máximo de agregado: 3/8 in.
- 7) Dosificación de grava 3/8 (granzón): 135 kg/m³
- 8) Tipo de fibra: Polyfiber 2 in de largo (no se utiliza fibra metálica por la oxidación que sufre con el agua ácida)
- 9) Proporción de fibra: 7 kg/m³.
- 10) Espesor: mínimo 2 in en tablas y cielo en superficies homogéneas, para superficies irregulares el espesor varía según las condiciones del lugar.
- 11) Rebote máximo: 10%.
- 12) Resistencia a la compresión simple: mínimo 350 kg/cm² (29.41 Mpa).
- 13) Revenimiento: 18 cm.
- 14) Presión de lanzado: 7 bares.
- 15) Distancia máxima de lanzado: 1 m.

IV.3.2).- Estándares de soporte con concreto lanzado

1) Obras temporales: (desarrollos, acceso a los rebajes, estaciones de BDD y Robbins)

En esquistos y en filita grafitica, se lanzarán posterior al anclaje y en condiciones del terreno que lo requieran de acuerdo con la evaluación geotécnica, con un espesor de 2 in, y en casos donde solo se requiera evitar el intemperismo, se colocará 1 in.

2) Rebajes:

En los rebajes se lanzará el concreto posterior al anclaje o en condiciones del terreno que lo requieran de acuerdo a evaluación geotécnica con un espesor de 2 in, y en casos donde solo se requiera evitar el intemperismo, se colocara 1 in.

3) Obras permanentes: (rampas, polvorines, talleres mecánicos, piletas, estaciones de bombeo, sub-estaciones, nichos eléctricos, resguardos y cargaderos):

En obras permanentes, se lanzará concreto de piso a piso posterior al anclaje para control de estabilidad y reducir efectos de intemperismo en la roca con un espesor de 2 a 3 in y deberán contar con piso de concreto con resistencia de 350 kg/cm² y 30 cm de espesor.

IV.3.3) Restricciones en la aplicación del concreto lanzado.

La aplicación del concreto lanzado se limita por las siguientes condiciones (Neri Acuña, M., 2006):

- 1) La superficie debe estar libre de agentes contaminantes que impidan la adecuada adhesión a la roca tales como polvo, tierra, grasa, aceite, etc.
- 2) Antes de realizarse el lanzado se debe asegurar el amacice del área.
- 3) En obras antiguas que requieran de rehabilitación y exista malla ciclónica oxidada, esta debe ser retirada antes de realizar el lanzado.
- 4) Si existen anclas salidas se deben de cortar previo al lanzado.
- 5) Los servicios de aire, agua, electricidad y comunicaciones deben ser protegidos con hule antes de realizarse el lanzado.
- 6) Si existen escurrimientos de agua, estos deben ser canalizados por medio de barrenos hacia la acequia antes de realizar el lanzado y se debe utilizar impermeabilizante en las zonas en que se ubique la presencia de agua.
- 7) No se debe lanzar concreto en áreas con presencia de alteración de arcillas, esquistos, filitas gráficas y óxidos hasta haber sido eliminadas. Estas zonas deben ser lavadas antes de comenzar a lanzar.
- 8) En ningún caso se debe lanzar concreto en filitas gráficas y esquistos con alteración de sericita avanzada, en estos casos se debe de lavar perfectamente el área antes de ser lanzadas.

IV.4) Relleno como elemento de soporte

El tepetate producido en las obras de desarrollo es rezagado y acarreado a los rebajes de producción para utilizarlo como relleno de los huecos producidos por la explotación del mineral siendo ésta, una parte integral del ciclo de minado. Entre más mala sea la calidad de la roca en los contactos del alto y bajo del mineral, más pronto hay que colocarlo y subir su nivel lo más cercano posible al cielo y evitar con ello los claros o huecos entre el bajo y el alto del rebaje. Esta medida mejora sustancialmente la estabilidad de las obras.

La acción de un relleno bien confinado y compactado es sumamente benéfico para conservar estables los pilares y soportar el alto de los rebajes. Las características de un buen relleno son:

1. Que el material se encuentre disponible en cantidad suficiente dentro del área de la mina
2. Que se pueda obtener rápidamente.
3. Que se pueda preparar y colocar dentro de los rebajes.
4. Que posea propiedades cohesivas.
5. Que produzca una superficie de trabajo nivelada y consistente, capaz de soportar el peso y el tránsito de equipos móviles.
6. Que en todo su conjunto sea un material de bajo costo.

IV.5) Instrumentos de capacitación

En la actualidad se cuenta con dos salas de capacitación, una en el área de oficinas y otra en el área de pueblo del interior de la mina, estas salas están acondicionadas con computadora, cañón, pantalla, pizarrón, equipo de audio, mesas y sillas para la capacitación del personal.

Cuando el personal que ingresa a trabajar forma parte de una empresa contratista, debe cumplir una capacitación de 40 horas de las cuales 2 horas son de mecánica de rocas; en el caso del personal sindicalizado, su capacitación es de 40 días y 16 horas de mecánica de rocas y para los ingenieros en entrenamiento su capacitación es de 6 meses y 32 horas de mecánica de rocas.

En lo que respecta al material de capacitación, se cuenta con presentaciones, fotografías, videos, equipo de soporte (diferentes tipos anclas, cartuchos de cemento, cerchas, etc.) así como con el apoyo de técnicos de diferentes proveedores como: Austin Powder y Dyno Nobel (explosivos), Anclas Aguiluc, Fibra Polifiber, Anclas DSI, Anclas Encinales, Cemex, entre otros; con quien se programa diferentes capacitaciones para impartir al personal. Estas capacitaciones son coordinadas por el área de Mecánica de Rocas.

Se diseñó y elaboró el manual de buenas prácticas de soporte donde se hace referencia a todos los métodos que se utilizan en Minera Tizapa; también se elaboró el primer tríptico de soporte en el Grupo Peñoles (Figura No. IV.16, No. IV.17 y No. IV.18) en donde, de una manera sencilla y práctica, el colaborador tiene en un documento de bolsillo toda la información básica de mecánica de rocas y lo pueda traer consigo en cualquier lugar de la mina, ya que está enmascarado. Este tríptico sirvió de ejemplo para que en todas las unidades mineras del Grupo Peñoles diseñaran su propio tríptico de soporte.

**MINERA TIZAPA S.A. DE C.V.**

**DEPARTAMENTO DE EXPLORACIONES
MECÁNICA DE ROCAS**

TARJETA DE SOPORTE



EL AMACICE SIEMPRE LO REALIZAN DOS PERSONAS, UNO AMACIZA Y EL OTRO OBSERVA PARA ALERTAR CUALQUIER PELIGRO

TELEFONOS DE EMERGENCIA:
SEGURIDAD 1000
CASETA RAMPA GEMELA 3040
ASESOR MINA 7101 Y 7102
MECÁNICA DE ROCAS 7043

Ing. Gonzalo Gatica Jiménez
Asesor de Mecánica de Rocas
Minera Tizapa S.A. de C.V.

a).- Tipos de roca presentes en Minera Tizapa

- FILITA GRAFÍTICA:** Roca de color negro se altera muy rápidamente, al tacto mancha de negro los dedos, es muy frágil y se encuentra al alto del mineral en forma de capas.
- SULFURO MASIVO:** Roca de tonalidad café es el mineral de producción, contiene el doble de peso en comparación con los esquistos y con la filita grafitica, se encuentra en bloques de varios tamaños. Los cuerpos mineralizados se encuentran con echado de 30 a 40 grados, la densidad del sulfuro es muy pesada, en promedio 4.16.
- ESQUISTOS DE SERICITA:** Roca de tonalidad blanca, al tacto es sedosa como talco, es muy frágil y generalmente se encuentra al bajo del mineral con presencia de agua, provocando zonas de inestabilidad.
- ESQUISTOS DE CLORITA:** Roca de tonalidad verde claro que se encuentra abajo del mineral, se observa en Rampa Sur, Rampa Gemela y accesos a los rebajes. Roca consistente que se presenta en capas.

b).- Estándares de obras en desarrollos y rebajes

TIPO DE ROCA	CALIDAD DE ROCA	ALTURA MAXIMA	ANCHO MAXIMO
FILITA GRAFITICA	mala calidad	4.00 m	5.00 m (7.00m Estaciones ancladas BDD, Robbins)
SULFURO MASIVO	regular calidad	4.50 m	8.00 m
ESQUISTO DE SERICITA	mala calidad	4.30 m	5.00 m (7.00m Estaciones ancladas BDD, Robbins)
ESQUISTO DE CLORITA	regular calidad	4.30 m	5.00 m (7.00m Estaciones ancladas BDD, Robbins)

Figura No. IV.16. Tríptico de mecánica de rocas en Minera Tizapa; tipos de rocas

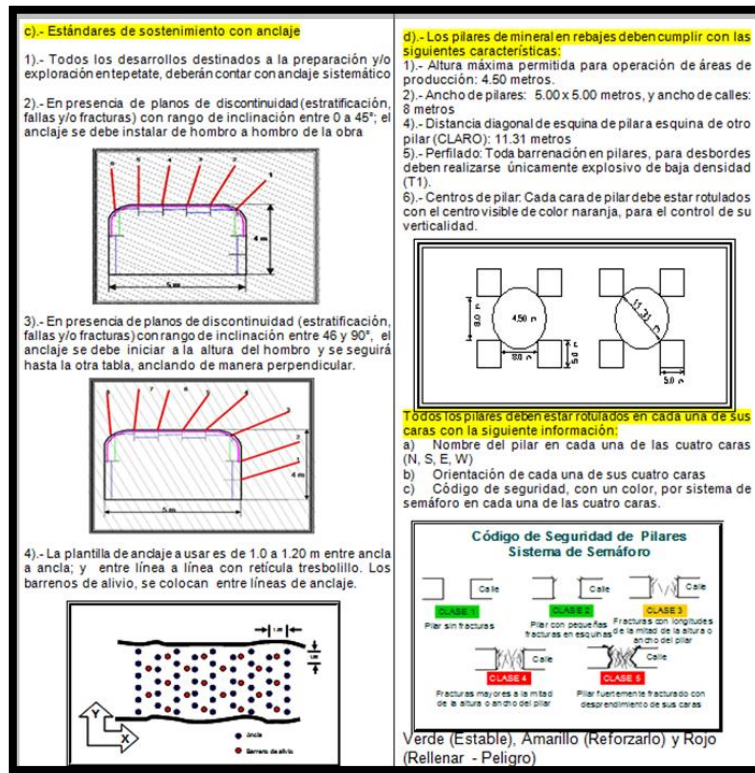


Figura No. IV.17. Tríptico de mecánica de rocas en Minera Tizapa; anclaje y pilares

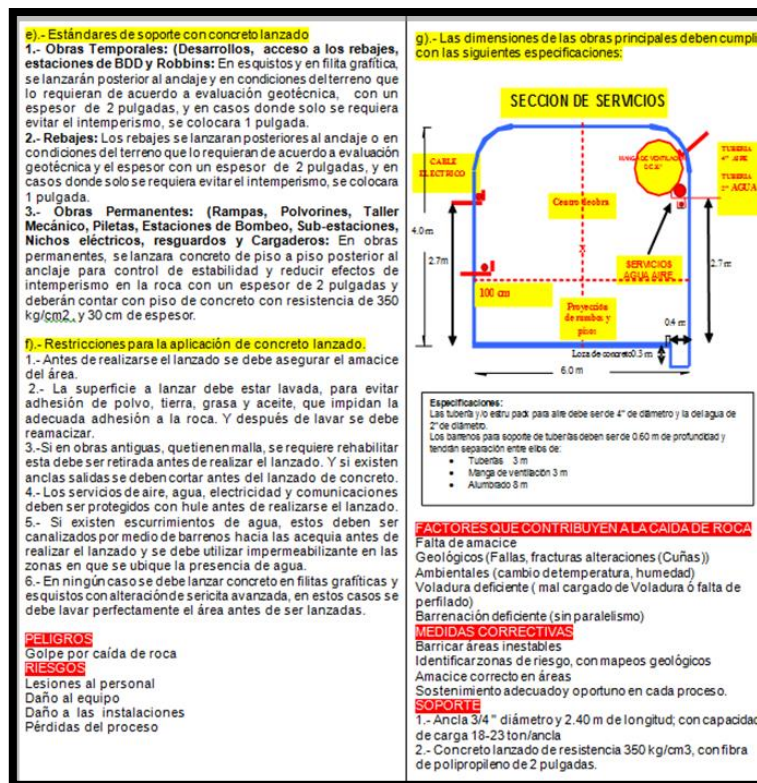


Figura No. IV.18. Tríptico de mecánica de rocas en Minera Tizapa; concreto lanzado y servicios

V) APLICACIÓN DE SOPORTE EN REBAJE 740 CENTRO

El rebaje 740 Centro es de suma importancia para la producción de Minera Tizapa. Se trata de un rebaje irregular con una longitud de 275 m y una potencia que varía entre 2 hasta 11 m; cuenta con leyes de Au = 1.90 gr/ton, Ag = 279 gr/ton, Pb = 1.49%, Zn = 6.30%, Cu = 0.58%; mismas que están arriba del presupuesto. Por lo cual el método de explotación es corte y relleno. Por ser un rebaje tan largo, es necesario contar como mínimo con 2 a 3 acceso para poder explotar y ciclar el rebaje; pero con los inconvenientes de una ley muy cambiante a lo largo del rebaje al igual que la potencia del mismo y por estabilidad del rebaje, es recomendable dejar al descubierto el alto para dejar bloques de mineral adheridos que pueden caer solos por la diferencia de densidades.

Las características geomecánicas de este rebaje, parten de la calidad del macizo rocoso (Figura No. V.1), que va de pobre a regular; por lo cual es necesario el anclaje de manera sistemático, en todo el alto y parte del mineral, para soportar el alto del rebaje con una plantilla de 1.00 x 1.00 m, acompañado del recargado de tepetate al alto del rebaje, para tenerlo soportado, y mantener la altura debajo de 4.50 m para la estabilidad del mismo.

Calculo de calidad de macizo rocoso

Método del Rock Mass Rating (RMR)

RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B

Factor	Rango
A1	7
A2	13
A3	5
A4	14
A5	10
B	-5
TOTAL RMR	44

MACIZO ROCOSO REGULAR CALIDAD

TABLA I. Clases de macizos rocosos según el RMR

Clase Macizo Rocosos	Descripción	RMR
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81-100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61-80
III	Macizo rocoso de calidad regular	41-60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21-40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0-21

Nota: Bieniawski (1989) sugiere que trabajos de voladuras de pobre calidad reducen el RMR en un 20%

Donde:

RQD, índice de recuperación modificada

J_n , número de juegos de fracturas

J_r , grado de aspereidad superficies de las fracturas

J_a , grado de alteración superficies de las fracturas

J_w , factor reductor por presencia de agua subterránea

SRF, factor reductor por tipo de esfuerzos actuantes

TABLA IX. Categorías en las que se divide la competencia de los macizos rocosos de acuerdo al Q

Índice Calidad Tunneling	Descripción del Macizo Rocosos
0.001-0.01	Excepcionalmente pobre
0.01-0.1	Extremadamente pobre
0.1-1	Muy pobre
1-4	Pobre
4-10	Regular
10-40	Buena
40-100	Muy buena
100-400	Extremadamente buena
400-1000	Excepcionalmente buena

RQD	70	RQD/ J_n	5.83
J_n	12.00	J_r/ J_a	1.00
J_r	1.00	J_w/ SRF	0.33
J_a	1.00		
J_w	1.00		
SRF	3.00		

Q 1.94 POBRE

Figura No. V.1. Cálculo de macizo rocoso en rebaje 740 centro.

Durante la explotación del rebaje se presentan áreas donde la potencia del mineral alcanza los 11m; considerando que se tiene como limitante que el ancho de la calle no debe exceder los 8 m; pero se tiene el inconveniente de dejar mineral en el bajo sin ser explotado, ya que si se explota todo el ancho del mineral, se excederían los 8 m.; por esta razón se considero, explotar este rebaje en un sistema combinado de salones y pilares, con corte y relleno, para tener una mayor estabilidad y recuperar el 100% del mineral de una forma segura (Figura No. V.2), sin violar los estándares de las obras mineras.

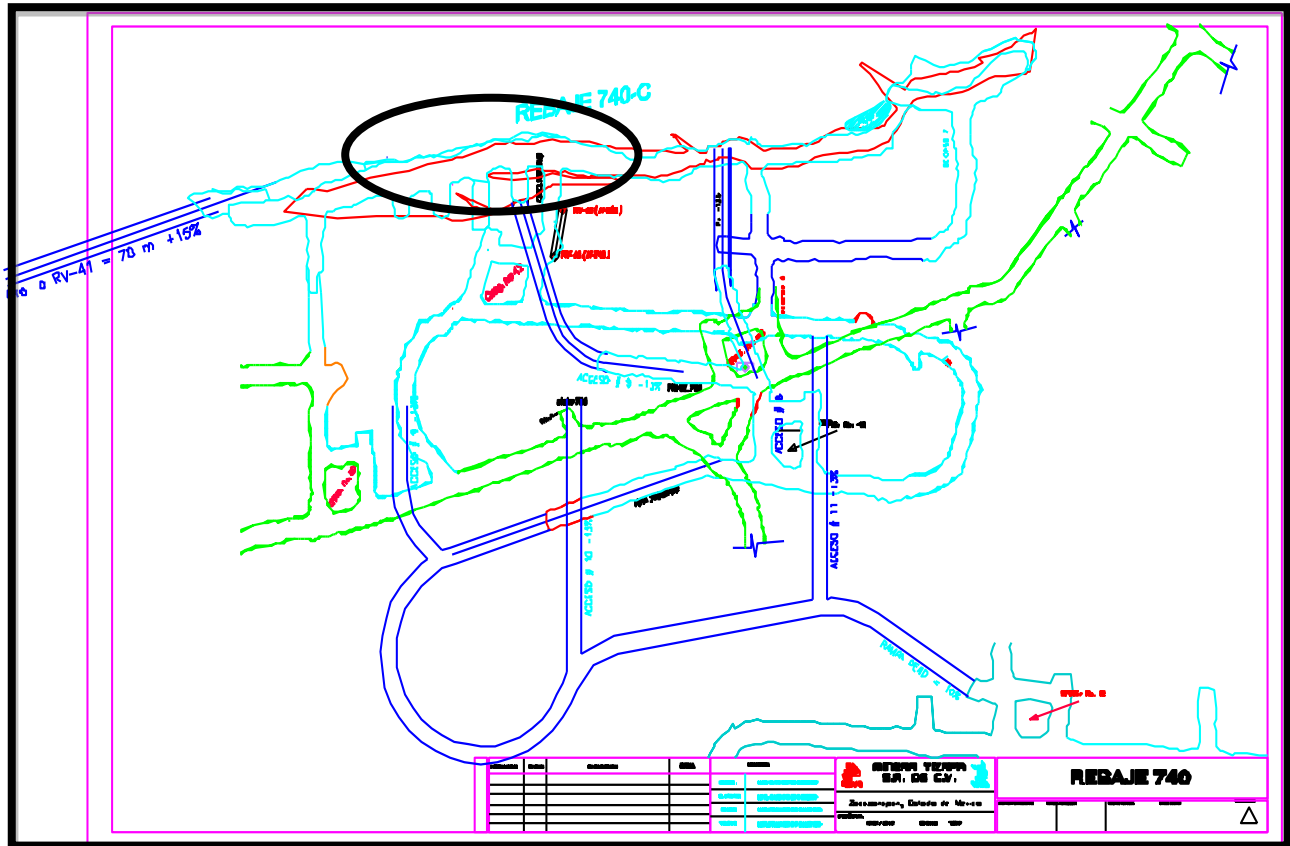


Figura No. V.2. Área de recuperación de pilares en rebaje 740 centro

El método de explotación, consistió en formar 4 contracalles en dirección perpendicular al rumbo del mineral, formadas por pilares de 5 m de ancho, como se consideran el método de salones y pilares, estas contracalles se desarrollaron hacia el bajo, para delimitar la potencia del mineral en esta zona del rebaje. Una vez delimitadas las contracalles se explota la calle principal a rumbo de mineral, tumbando el mineral en forma horizontal, sin exceder la altura 4.5 m, y con la finalidad de desprender el mineral del alto, una vez extraído este mineral, se procede a anclar de manera sistemática el alto y parte del mineral con una plantilla de anclaje de 1.00 x 1.00 m. Este sistema se seguirá hasta terminar el corte de la calle a rumbo del mineral.

La siguiente etapa consiste, en recargar el alto del rebaje, hasta dejar la calle con una potencia de 4.00 a 5.00 m de ancho (Figura No. V.3); una vez que ya se tiene el rebaje anclado y recargado y con altura dentro del estándar, se procederá a desbordar los pilares de manera horizontal, utilizando voladura controlada en todo el contorno de la obra; al recuperar el mineral tumbado, la calle quedará con un ancho no mayor a 8.00 m sin perder la altura del rebaje ya que su barrenación fue horizontal. La gran ventaja de este método es el echado del mineral que va de 30 a 40°, lo cual permite que el recargado al alto compense la estabilidad, al tener soportado y anclado todo el alto del rebaje. Recuperando en esta área el 100% del mineral.



Figura No. V.3. Cargado de tepetate al alto del rebaje 740 centro

VI) BENEFICIOS ALCANZADOS CON EL SISTEMA DE FORTIFICACIÓN.

Con la implementación del sistema de fortificación en Minera Tizapa se han presentado grandes beneficios tanto para la empresa como para todo el personal que labora en la mina. Entre los principales beneficios se pueden enumerar los siguientes:

1. Disminución de accidentes por caída de roca al personal y al equipo. (Figura No. VI.1 y Tabla No. VI.1).

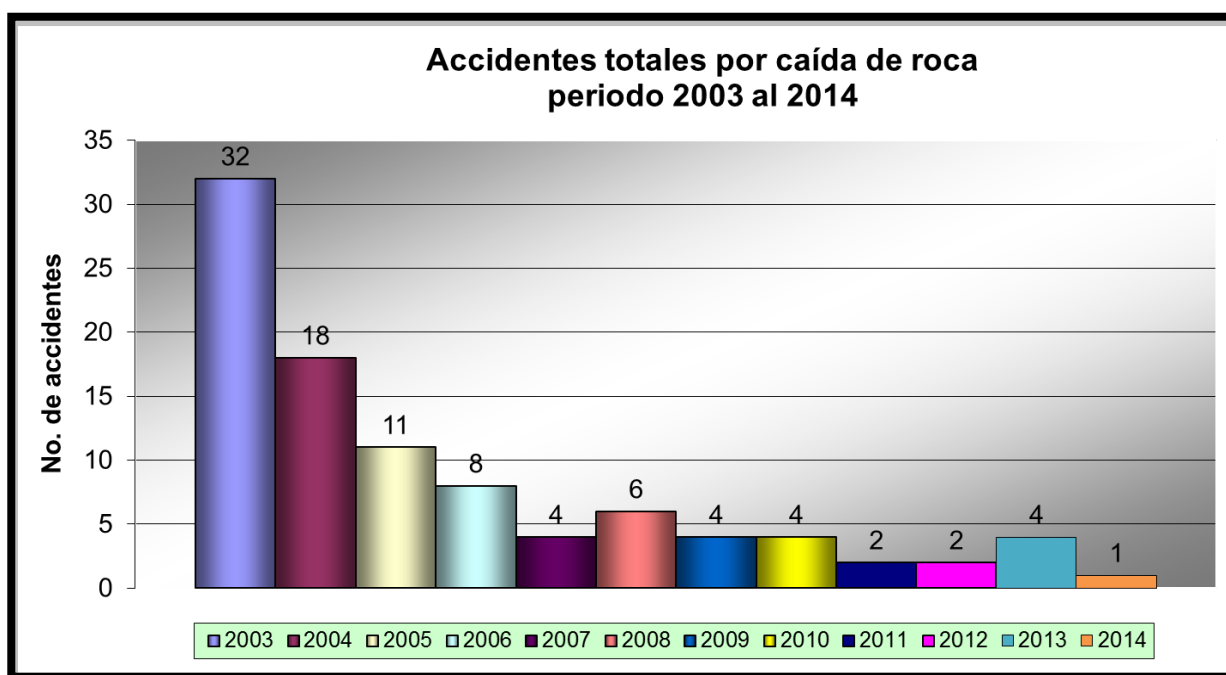


Figura No. VI.1. Accidentes totales por caído de roca del 2003 al 2014

ACCIDENTES TOTALES POR CAIDO DE ROCAS PERIODO DEL 2003 AL 2014												
Fecha	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Febrero	2	1	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Marzo	4	2	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0
Abril	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Mayo	5	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Junio	2	3	2	1	0	1	0	1	1	0	0	0
Julio	3	1	2	0	1	0	0	0	0	0	2	0
Agosto	1	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Septiembre	2	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	1
Octubre	3	0	1	1	2	0	1	1	0	0	0	0
Noviembre	1	2	0	0	1	0	0	0	0	2	0	
Diciembre	6	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	
Total	32	18	11	8	4	6	4	4	2	2	4	1

Tabla No. VI.1. Estadística de accidentes de caído de roca por mes, del 2003 al 2014

2. Se ha disminuido el tipo de gravedad de accidentes por caída de roca, disminuyendo los accidentes incapacitantes (Tabla No.VI.2 y VI.3).

CLASIFICACIÓN DE ACCIDENTES POR CAÍDO DE ROCA Y POR TIPO DE GRAVEDAD PERIODO DEL 2003 AL 2014						
AÑO	A	B	C	D	F	TOTAL
2003	15	5	5	3	4	32
2004	10	3	5	0	0	18
2005	4	5	2	0	0	11
2006	3	3	2	0	0	8
2007	1	3	0	0	0	4
2008	5	0	1	0	0	6
2009	0	2	2	0	0	4
2010	3	0	1	0	0	4
2011	0	0	2	0	0	2
2012	0	1	1	0	0	2
2013	2	1	1	0	0	4
2014	1	0	0	0	0	1
	44	23	22	3	4	96

Tabla No. VI.2. Estadística de clasificación de accidentes por caído de roca y por tipo de gravedad, del 2003 al 2014

Tipo de accidente	Descripción del tipo de accidente
Accidente tipo A:	Accidentes leves, donde el trabajador puede reincorporarse a sus labores en el mismo día o al día siguiente.
Accidente tipo B:	Accidentes donde el trabajador puede reincorporarse al trabajo, pero realizando trabajos ligeros.
Accidente tipo C:	Accidentes con tiempo perdido, requieren incapacidad del trabajador.
Accidente tipo D:	Accidentes con tiempo perdido, donde el trabajador requiere de incapacidad permanente o pérdida de alguna extremidad.
Accidente tipo F:	Accidentes fatales.

Tabla No.VI.3. Descripción de tipos de accidentes

3. La reducción de accidentes por caído de roca fue clave fundamental para la reducción de la accidentabilidad en Minera Tizapa, lo cual mejoro notablemente la relación empresa-sindicato, volviéndose más fuerte y el apoyo se vuelve mutuo (Tabla No VI.4).

ACCIDENTES TOTALES PERIODO DEL 2003 AL 2014												
Fecha	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	3	9	1	1	4	5	5	3	4	3	5	2
Febrero	5	9	7	5	2	9	3	1	2	1	3	2
Marzo	13	12	7	2	8	9	5	1	4	4	3	1
Abril	7	7	5	2	4	13	3	4	4	1	4	3
Mayo	11	8	3	6	6	4	4	2	4	3	5	3
Junio	6	6	6	5	8	9	5	7	6	3	1	3
Julio	9	8	5	8	8	5	1	3	7	1	4	5
Agosto	11	12	4	4	8	6	5	3	1	2	2	1
Septiembre	10	5	3	14	10	10	3	5	5	2	2	5
Octubre	9	4	15	10	9	5	6	6	8	1	1	0
Noviembre	8	8	4	5	4	6	4	5	6	8	2	
Diciembre	10	4	5	1	1	1	5	5	7	1	1	
Total	102	92	65	63	72	82	49	45	58	30	33	25
caído de roca	32	18	11	8	4	6	4	4	2	2	4	1
% incidencia	31%	20%	17%	13%	6%	7%	8%	9%	3%	7%	12%	4%

Tabla No. VI.4. Estadística de accidentes totales, contra accidentes por caído de roca, del 2003 al 2014

4. Minera Tizapa se convierte en la primera mina del Grupo Peñoles en mecanizar los sistemas de fortificación.

INVENTARIO DE EQUIPOS DE SOPORTE PERIODO DEL 2003 AL 2014												
EQUIPOS DE SOPORTE	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
JUMBO ANCLADOR	1	2	2	3	3	3	3	3	5	6	6	6
BOMBA DE LANZADO DE CONCRETO	1	1	1	2	2	3	3	3	2	2	2	2
ROBOT DE LANZADO DE CONCRETO	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
AMACIZADOR	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	5	5
TOTAL DE EQUIPOS DE SOPORTE	3	5	5	7	7	8	8	8	10	11	13	13

Tabla No. VI.5. Inventario de equipos de soporte, del 2003 al 2014

5. Mayor control de voladuras y uso de explosivo, utilizando explosivo de baja densidad en los contornos para evitar daños en la roca.

6. Se estandariza de manera sistemática la instalación de anclajes y concreto lanzado para la fortificación de las obras (Tabla VI.6).

SOPORTE INSTALADO, PROMEDIO POR MES												
PERIODO DEL 2003 AL 2014												
TIPO DE SOPORTE	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Anclaje	1096	2,021	2,436	5,678	3,577	3,857	3,931	4,243	4,750	4,747	5,816	6,018
Concreto lanzado	214	315	385	759	887	836	370	428	410	434	476	422

Tabla No. VI.6. Soporte instalado, del 2003 al 2014

7. La rehabilitación de las obras es más rápida, disminuyendo así el tiempo de entrega.
8. Se asegura la continuidad operativa al mantener las áreas seguras.
9. Se aseguran los estándares de los sistemas de minado.
10. Se diseña el primer ducto concretero en México para incrementar la productividad del concreto lanzado en el interior de la mina.
11. Se implementó una capacitación continua al personal de nuevo ingreso y certificación de operadores.

A pesar de todos estos beneficios obtenidos, se han llegado a presentar incidentes potenciales por caído de roca, sin daños al personal y al equipo pero que han parado la operación de algunas áreas de operación, como la presentada en el 2013, en el rebaje 740 donde se presentaron una serie de fallas que aun estando soportadas provocaron un caído de aproximadamente 500 toneladas. Este caído ocasionó el paro del rebaje por más de un mes y se determinó prepararlo para cambiar el sistema de explotación y realizar su explotación de una manera más segura. Este caído ocasionó dejar de producir 5,000 toneladas, con un valor 175 dólares por tonelada y generando una pérdida de 825,000 dólares; aunado a esto, se aplicaron recursos para estabilizar el rebaje, soportarlo y rellenarlo para poder implementar su nuevo sistema de explotación, que se volvió más lento pero más seguro y a la fecha ya no se han presentado caídos en el rebaje.

VII) CONCLUSIONES

Durante mucho tiempo Minera Tizapa fue considerada una mina de alto riesgo por su mala calidad de la roca y por la gran incidencia de accidentes por caída de roca, lo cual atrasaba la continuidad operativa de la mina y a su vez incrementaba el riesgo al personal.

En el pasado no se contaba con sistemas de fortificación establecidos de manera permanente y sistemática, y había zonas en el interior de la mina que no contaban con métodos de soporte establecidos para la prevención de caída de roca; en otras áreas no se respetaban las dimensiones de las obras, por ejemplo, los pilares en los rebajes que eran de 4 por 4 m, con alturas de 5 metros; calles de 8m y claros de 11.30 m; aunado a esto se realizaba el tumbe de mineral con barrenación semivertical, lo que generaba un mayor daño a la roca dejando zonas de inestabilidad.

Con el tiempo y con la implementación de programas operativos y apoyos con programas de mecánica de rocas, se fueron tomando medidas para estabilizar las obras mineras; entre estas medidas se presentaron los siguientes cambios:

1. Las dimensiones de los pilares en los rebajes fueron modificados a 5 por 5m; con alturas de 4.5 m; calles de 8 m y claros de 11.30m. Para generar mayor estabilidad en los rebaje.
2. La barrenación en la etapa de tumba cambió de barrenación semivertical a barrenación horizontal; disminuyendo alturas en los rebajes y produciendo una mayor estabilidad en los cielos y tablas, aplicando barrenaciones y voladuras controladas.
3. El relleno en los rebajes cambió de un relleno convencional, dejando alturas de 3m después de haber rellenado; a un relleno ahogado que reduce el riesgo del personal en las áreas ya rellenas.
4. Se implementó la medición de claros y alturas en los rebajes de manera permanente 2 veces a la semana, para evaluar el cumplimiento en el diseño de las obras mineras.
5. Se evalúan la calidad de los pilares dentro de los rebajes, por medio de un código de seguridad de pilares, mediante un sistema de semáforos.
6. Se implementó el anclaje sistemático para todas las obras en tepetate y cuando es necesario se aplica también en mineral.
7. Se implementó de manera permanente la prueba de extracción de anclas con personal del área de mecánica de rocas una vez a la semana para comprobar la capacidad de carga de las anclas instaladas.
8. Se implementó de manera sistemática la aplicación de concreto lanzado en todas las rampas principales, nichos eléctricos, subestaciones, resguardos, áreas de descanso, talleres, estaciones de bombeo, cargaderos y en accesos a los rebajes.
9. Se instaló una planta de concreto para abastecer de este material a los diversos trabajos en el interior de la mina.
10. Se tiene proyectado un laboratorio de concreto para evaluar la calidad del concreto instalado.
11. Se creó el manual de las buenas practicas de soporte en Minera Tizapa
12. Se creó el tríptico de soporte, que es punto de partida para que todas las unidades mineras del Grupo Peñoles, diseñen su propio tríptico de soporte.
13. Se implementó la capacitación de mecánica de rocas, con carácter de obligatorio para el personal de nuevo ingreso o que realice labores en el interior de la mina, esta capacitación varía de la siguiente manera:
 - Personal contratista: 2 horas
 - Personal sindicalizado: 16 horas
 - Ingenieros en entrenamiento: 32 horas

Con el tiempo, todas estas medidas han mejorado la seguridad y calidad de vida de todo el personal que trabaja en Minera Tizapa; obteniendo resultados satisfactorios e innovando nuevas técnicas de soporte; como la aplicación de concreto lanzado en contrapozos por medio de robots sin arriesgar al personal. La creación del primer ducto en México de 510m de longitud para el suministro del concreto desde superficie hasta el interior de la mina.

El principal beneficio obtenido en Minera Tizapa, es la reducción de la incidencia de accidente por desprendimiento de roca, al realizar el cambio de la aplicación soporte de una manera manual a la mecanización de los equipos para el soporte. Una vez implementados estos cambios a los sistemas de soporte, quedaron establecidos dentro de las operaciones de una manera sistemática; implementando el anclaje antes de cualquier barrenación, aplicando el concreto lanzado en todas las obras de desarrollo manteniéndolo a distancia menores de 30 m del tope, utilizando, en todas las voladuras de tumba o desarrollo, explosivo de baja densidad en todo el contorno, disminuyendo el fraturamiento en tablas y cielo de las obras; y se eficienta la utilización de los amacizadores mecanizados en todos los turnos.

Todos los cambios aplicados en los sistemas de soporte han generado incremento de equipos de soporte, así como los costos operación y al implementarse de manera sistemática, se incrementaron los presupuestos de operación y los presupuestos para el soporte de obras, para mantener una continuidad operativa en Minera Tizapa. Los presupuesto aplicado a los sistemas de soporte se incrementado año con año, debido a su importancia para la continuidad operativa, y dando la importancia debía a la prevención de accidentes e incidentes (Tabla VII.1).

COSTOS DE OPERACIÓN Y SOPORTE INSTALDO, PROMEDIO POR MES											
PERIODO DEL 2004 AL 2014											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Costos de producción	18,082,642	21,347,486	26,156,088	29,361,946	35,663,383	35,773,560	41,547,996	47,126,998	54,607,538	57,307,367	59,267,818
Costos de concreto	642,666	754,920	999,767	1,138,419	1,755,556	1,240,880	1,159,861	1,636,577	1,374,808	2,102,139	2,421,900
Costos de anclaje	218,271	234,048	292,526	339,863	375,195	384,983	420,408	495,886	527,775	808,548	858,915
Costos de soporte	860,937	988,968	1,292,292	1,478,282	2,130,751	1,625,863	1,580,269	2,132,464	1,902,582	2,910,686	3,280,815

Tabla No. VII.1. Costos de operación y soporte instalado. Promedio por mes, del 2004 al 2014

Todas las actividades, proyectos y equipos que sean implementados son novedosos y costosos, pero siempre y cuando sean para conservar la seguridad del personal; ningún costo será suficientemente alto para no realizarlo. Ya que el lema de Minera Tizapa es: **“SEGURIDAD ANTES QUE CUALQUIER NECESIDAD DE PRODUCCIÓN”**.

REFERENCIAS

Gatica Jiménez G, 2011., Calculo de Macizo rocoso del rebaje 740 C; Minera Tizapa, Zacazonapan, Edo. De México; Trabajo interno no publicado.

Gatica Jiménez G, 2008., Buena practicas de soporte; Minera Tizapa, Zacazonapan, Edo. De México; Trabajo interno no publicado.

Gatica Jiménez G, 2008., Procedimiento Operativo de extracción de anclas, Minera Tizapa, Zacazonapan, Edo. De México; Trabajo interno no publicado.

Gatica Jiménez G, Santos Jallath, 2003 Identificación y prevención del drenaje ácido de mina, en el proceso de extracción en minas con sulfuros, Convención Internacional de Minería, Acapulco, Guerrero, Memoria.

Monroy Fernández, M.G., Aragón Piña, A., 1994, estudio de caracterización del estado mineralógico del oro en colas de flotación del mineral piritoso de Tizapa, Edo. de Méx., Universidad Autónoma de San Luis Potosí - Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V., Informe interno de compañía no publicado, 33 p.

Nava Rojas R., 1993; Aplicaciones de Mecánica de rocas, practicas en el diseño y control de los sistemas de minado, Universidad Autónoma de Zacatecas – Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V. Zacatecas, Zacatecas;.

Nava Rojas R., 2008; Diplomado en mecánica de rocas y explosivos; Módulo III “El arte del soporte de obras”, Zacatecas, Zacatecas; Memorias.

Neri Acuña, M., 1998, Descripción del Modelo Geológico del Yacimiento de Sulfuros Masivos de Tizapa, Zacazonapan, Edo. de Méx., Tesis de licenciatura no publicada, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.,

Neri Acuña, M., 2006, Procedimiento estándar de lanzado de concreto; Minera Tizapa, Zacazonapan, Edo. De México; Trabajo interno no publicado.

Neri Acuña, M., 2005, Procedimiento estándar de anclaje; Minera Tizapa, Zacazonapan, Edo. De México; Trabajo interno no publicado.

Parga Pérez, J.J., Rodríguez S., 1983, Geología de los sulfuros masivos polimetálicos de Ag, Pb, Zn, Cd y Au de Tizapa, Zacazonapan, Edo. de Méx., XV Convención. Nacional., AIMMGM, Guadalajara, Jal., Memoria, pp. 349-372.