



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Criterios para la aplicación de
concreto lanzado, malla electro
soldada y anclas como elementos de
soporte en minas subterráneas**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero de Minas y Metalurgista

P R E S E N T A:

Israel Ortega Casillas

ASESORA DE INFORME

Ing. Soledad Viridiana Guzmán Herrera



Ciudad Universitaria, Cd. Mx. 2017

DEDICATORIAS

Gracias a Dios por darme la vida y darme la oportunidad de conocer en diferentes aspectos la vida misma como la conocemos y aprender de ella. Por darme a tan extraordinaria familia en la cual siempre hemos estado apoyándonos tanto en los momentos grandiosos como en la adversidad.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por todo lo que me ha dado, empezando por la educación profesional y por todos los valores adquiridos durante la carrera. Además de ser gran promotora de actividades culturales.

A la facultad de Ingeniería por darme todos los conocimientos para enfrentarme a las situaciones profesionales y laborales. También por formarme como mejor persona, potencializando mi educación y enseñanza.

A la Ing. Soledad Viridiana Guzmán Herrera por ser mi asesora de informe profesional y guiarme en todo el proceso. Al Ing. José Enrique Santos Jallath por siempre estar al pendiente de mi trabajo y apoyándome en toda circunstancia. Al Lic. Carlos Aurelio Bernal Esponda por aportarme puntos clave en la elaboración del trabajo. A la Ing. Beatriz Sayuri Katagiri Buentello por apoyarme en las dudas que tenía respecto al trabajo. Al Ing. Javier Mancera Alejandrez por ser parte fundamental en este proceso y apoyarme al respecto.

A mi madre Santa Casillas Hernández por ser para mí, la mejor mamá que existe, por darme ese gran amor incondicional, por apoyarme en todo momento, por estar cuando más le necesitaba, y sobre todo por inculcarme tan grandes valores como lo es: respeto, sencillez, honradez, humildad, dignidad, honestidad, amor. Solo me queda decirte te amo Mamá.

A mis hermanas y hermano que son: Azucena Ortega Casillas, Luis Ortega Casillas, Angélica Ortega Casillas, Brenda Ivonne Ortega Casillas por su apoyo incondicional, por estar siempre cuando los necesitaba no importando la situación o la distancia, por ser siempre tan grandes seres humanos, solo me queda decirles los amo hermanos. A mis sobrinos Kevin Alexander y Aline Zoe por dar tanto amor a la familia.

A mis amigos y amigas que siempre fueron, son y serán parte de mi vida, por compartir tan grandes momentos que siempre los llevaré en el recuerdo y corazón. Al Tocayo, Atún, Marcela, Chora, Calamardo, Merol, Gerardo, Choforo, Pantera, Crescencio que siempre me apoyaron. También a aquellos amigos que se adelantaron en este caminar y que ahora están en un lugar mejor, siempre serán parte de este ministerio de ojos abiertos y corazón palpitante.

ÍNDICE

.....	1
1. Introducción	2
2. Designación de calidad de la roca	6
2.1. Sistema RMR	8
2.2. Clasificación de Barton.....	9
2.3. La calidad de la roca en una operación minera	10
2.3.1. Calidad de roca muy mala	11
2.3.2. Calidad de roca mala	12
2.3.3. Calidad de roca regular.....	13
2.3.4. Calidad de roca buena y muy buena	14
3. Experiencia profesional en tres tipos de soporte en mina subterránea.....	17
3.1. Concreto	18
3.1.1. Concreto lanzado.....	18
3.1.2. Vía húmeda.....	19
3.1.3. Vía seca	25
3.1.4. Rebote del concreto lanzado.....	30
3.2. Anclaje.....	35
3.2.1. Tipos de ancla	35
3.2.2. Colocación	37
3.2.3. Cartuchos de cemento (bolis).....	42
3.3. Enmallado	43
3.3.1. Colocación	43
4. Criterios aplicados para el soporte de obras en escenarios observados durante la experiencia profesional	47
4.1. Escenario 1: Concreto fracturado	47
4.2. Escenario 2: Rampa sin soportar	49
4.3. Escenario 3: Acceso sin soporte alguno.....	52
4.4. Escenario 4: Anclaje de polvorín de artificios.....	54

4.5.	Escenario 5: Rampa con falta de soporte	57
5.	Conclusiones.....	61
6.	Recomendaciones	63
	Referencias	64
	Anexo	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo convencional de minado en mina subterránea	4
Figura 2: Determinación de la calidad de roca un núcleo utilizando la fórmula del RQD. (Fotografía tomada en 2012).....	6
Figura 3: Determinación de la calidad de roca un núcleo utilizando la fórmula del RQD (Fotografía tomada en 2012).....	7
Figura 4: Sostenimiento según el índice Q (Barton,2000).....	9
Figura 5: Partes de una mina subterránea	10
Figura 6: Roca de calidad muy mala (Fotografía tomada en 2013).....	11
Figura 7: Roca de calidad mala en caliza fracturada. (Fotografía tomada en 2013).....	12
Figura 8: Roca de calidad regular en mineral de rodocrosita. (Fotografía tomada en 2014)	13
Figura 9: Roca de calidad buena en caliza competente. (Fotografía tomada en 2013).....	14
Figura 10: Roca de calidad muy buena en mineral de calcopirita. (Fotografía tomada en 2012).....	15
Figura 11: Mezcla de cemento vertiéndose a la tolva del equipo lanzador	20
Figura 12: Esquema de longitud y áreas del lanzado del equipo Sika PM 407, de túneles y minas, 2015	21
Figura 13: Alpha 20 en interior mina. (Fotografía tomada en 2013)	22
Figura 14: Esquema de longitud y áreas de lanzado del Alpha 20, de túneles y minas normet, 2015	23
Figura 15: Diagrama de equipo de lanzador vía seca. (Dibujo de Shotcrete Practice in Underground Construction)	26
Figura 16: Máquina lanzadora Aliva 263, Sika 2015.....	27
Figura 17: Allentown piccola en interior mina junto a personal lanzador (Fotografía tomada en 2013)	28
Figura 18: Ángulo de lanzamiento del concreto para evitar un alto rebote.....	30
Figura 19: Se muestra el inicio y final del área de lanzamiento para evitar alto rebote y concreto lanzado falso.....	31
Figura 20: Efecto de la distancia de la boquilla sobre el % de rebote, según kobler en shotcrete practice in underground construction	32
Figura 21: Distancias y movimientos para espesores iguales en el lanzado.....	32
Figura 22: Efecto del ángulo de la boquilla sobre el porcentaje de rebote, según Kobler en shotcrete practice in underground construction	33
Figura 23: Esquema para la colocación de barrenos de dren	34
Figura 24: Ancla split set.....	35
Figura 25: Ancla de varilla corrugada	36
Figura 26: Esquema de colocación de ancla split set	37
Figura 27: Placas de soporte.....	38
Figura 28: Posición del zanco para empujar el ancla	39
Figura 29: Zanco para ancla split set	39
Figura 30: Esquema de colocación de ancla de varilla corrugada.....	40
Figura 31: Posición del zanco en el ancla	41

Figura 32: Zanco en interior mina, (Fotografía tomada en 2013).....	41
Figura 33: Cartuchos de cemento “bolis”	42
Figura 34: Dimensiones de la malla electro soldada en interior mina. (Fotografía tomada en 2014).....	43
Figura 35: Empalme de mallas electro soldadas. (Fotografía tomada en 2014).....	44
Figura 36: Imagen del jumbo anclador en interior mina. (Fotografía tomada en 2013)	45
Figura 37: Concreto fracturado en el hombro izquierdo de la obra minera. (Fotografía tomada en 2013)	47
Figura 38: Vista de rebaje terminado de retirar el concreto fracturado. (Fotografía tomada en 2013).....	48
Figura 39: Rampa de desarrollo sin soporte alguno. (Fotografía tomada en 2014)	49
Figura 40: Vista de hombro izquierdo de la obra. (Fotografía tomada en 2014)	50
Figura 41: Problemática corregida de la obra. (Fotografía tomada en 2014).....	51
Figura 42: Acceso sin soporte alguno. (Fotografía tomada en 2013)	52
Figura 43: Acceso zarpeado, anclado y enmallado. (Fotografía tomada en 2013).....	53
Figura 44: Fallas pronunciadas en el polvorín. (Fotografía tomada en 2013).....	54
Figura 45: Polvorín soportado con zarpeo y anclaje. (Fotografía tomada en 2013).....	55
Figura 46: Retiro de anclas mal colocadas	56
Figura 47: Rampa sin soporte alguno en roca caliza fracturada. (Fotografía tomada en 2013).....	57
Figura 48: Rampa soportada con zarpeo y anclaje. (Fotografía tomada en 2013)	58
Figura 49: Rampa soportada para seguir con el avance. (Fotografía tomada en 2013)	59
Figura 50: Equipo y materiales desordenados. (Fotografía tomada en 2014).....	67
Figura 51: Materiales desordenados. (Fotografía tomada en 2014)	68
Figura 52: Uso del tarango en interior mina. (Fotografía tomada en 2013).....	69
Figura 53: Líneas de servicio mal colocadas. (Fotografía tomada en 2012)	70
Figura 54: Líneas de servicio colocadas correctamente. (Fotografía tomada en 2012)	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación del valor de RQD para la determinación de la calidad de roca.....	7
Tabla 2: Comparación del valor de RMR para la determinación de la calidad de roca (Bieniawski, 1979).....	8
Tabla 3: Comparación de ventajas y desventajas del zarpeo por vía húmeda	24
Tabla 4: Comparación de ventajas y desventajas del zarpeo por vía seca	29

Capítulo 1

Introducción

1. Introducción

México es un país con gran potencial para la explotación de minerales (SE, 2016). Para la explotación de estos se identifican las anomalías geoquímicas comúnmente llamadas, yacimientos minerales, el método de explotación lo determinan varios parámetros uno de ellos, las características estructurales las cuales varían dependiendo de la calidad de roca, intemperismo, sitio geológico, roca encajonante, profundidad del yacimiento, tamaño, forma. En cada uno de estos casos la estabilidad es diferente y por lo consiguiente el soporte es particular en cada mina.

Por las características estructurales de los yacimientos minerales, la calidad de roca puede ser muy competente y solo se necesita amacizar (con ayuda de una barra de acero desprender las rocas flojas y obtener que el terreno quede firme) manualmente para continuar con el ciclo de minado pero en otros casos la calidad de roca es mala y se necesita de uno o varios tipos de soporte para garantizar la estabilidad de las obras.

El trabajo se deriva de la experiencia profesional, cuyos escenarios son diferentes en cuanto a la estabilidad de las obras mineras, a los cuales me enfrente y para los que propuse la aplicación de diferentes elementos de soporte de acuerdo con las características del terreno, ya que en algunos lugares se puede presentar fallas, estratificación con poco grado de inclinación, echado de bloques muy pronunciados, gran presencia de agua.

En el tiempo como supervisor de mina subterránea se tuvo la oportunidad de observar diferentes obras para el desarrollo y producción de la misma y observando diferentes métodos de explotación como corte y relleno, salones y pilares y tumbe por subniveles; independientemente del método de explotación se tiene que dejar muy bien fortificado el cielo y tablas de la obra para que en la siguiente etapa del ciclo de minado, evitar problemas de deslizamientos de estratos o bloques, logrando con ello un sitio seguro para el minado.

Como supervisor de mina es fundamental detectar el área de oportunidad para el soporte de las obras y proponer mejoras para corregir cada una de ellas, ya que el ciclo de minado en obras producción y desarrollo depende de ello.

El ciclo de explotación en la minería consiste en (ver figura 1): operaciones unitarias, barrenación, voladura, rezagado y acarreo; este ciclo se puede llevar acabo siempre y cuando se tengan las operaciones auxiliares como: cargado, ventilación y labores de estabilidad para nuevamente iniciar con barrenación; pero en ocasiones es imposible

seguir este ciclo debido a la forma de trabajar en el minado, ya que el ciclo se adecua a las necesidades específicas de cada mina.

Este trabajo se basa en el soporte a aplicar según la calidad de la roca, que va de mala a muy mala, dependiendo la designación de calidad de la roca (RQD).

Objetivo: Indicar los criterios que se aplicaron en diferentes obras que requerían soporte, y que esto sirva a la comunidad académica de Ingeniería de minas y metalurgia, además de conocer la aplicación de tres métodos de soporte de mayor uso en la minería subterránea.



Figura 1 Ciclo convencional de minado en mina subterránea

Capítulo 2

Designación de calidad de la roca

2.1. Sistema RMR

2.2. La calidad de la roca en una operación minera

2. Designación de calidad de la roca

La designación de calidad de la roca desarrollado por Don U. Deere, en el año de 1967¹, definió que el porcentaje de la recuperación de un núcleo extraído por perforación a diamante, respecto a la longitud total del testigo, se suman los fragmentos mayores a 10 cm y tomando en cuenta que el diámetro del núcleo debe ser igual o mayor a 2 pulgadas; para que sea una muestra representativa. A continuación, se muestra la fórmula de RQD.

$$RQD = \frac{\text{Longitud de fragmentos} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud del testigo}} \times 100\%$$

En la figura 2 se muestra el ejemplo de un núcleo y su fracturamiento, el cual se ocupa para determinar el RQD.

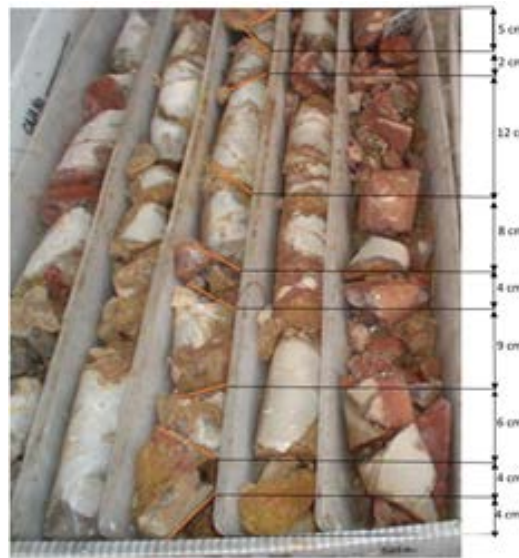


Figura 2: Determinación de la calidad de roca un núcleo utilizando la fórmula del RQD. (Fotografía tomada en 2012)

En este caso el RQD de la muestra se calcula únicamente con un testigo que mide 12 cm, sustituyendo en la fórmula

$$RQD = \frac{12}{54} \times 100 = 22.6\%$$

¹ Disponible en: GONZÁLEZ DE VALLEJO Luis I., FERRER Mercedes, ORTUÑO Luis, OTEO Carlos. "Ingeniería Geológica", Pearson Educación, Madrid, 2002

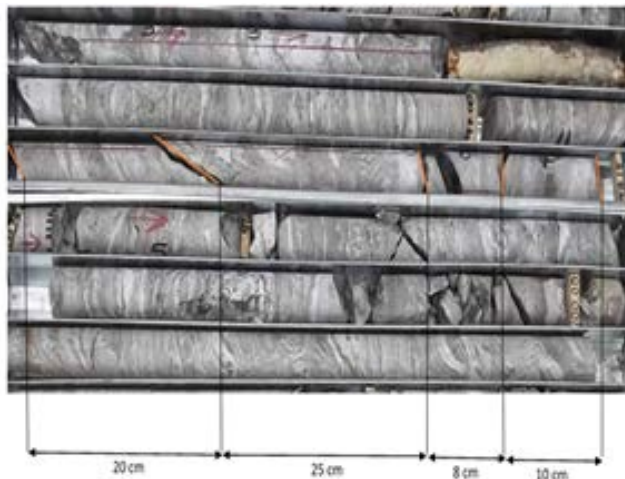
Con el RQD se estima una calidad de la roca mediante una tabla propuesta por Deere 1967, la cual podemos observar en la tabla 1. Mientras el valor de RQD sea más alto la calidad de la roca será mejor. Para el ejemplo, la calidad de la roca se encuentra en el rango de “Muy mala”.

Esta clasificación proporciona una estimación confiable del macizo rocoso la cual debe de corroborarse mediante la inspección en obra directa y debe ser aplicando criterio, conocimiento y experiencia de un experto y no solo con la barrenación a diamante.

Tabla 1: Comparación del valor de RQD para la determinación de la calidad de roca

RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Muy buena

En el siguiente ejemplo se muestra la determinación del RQD, con diferentes tamaños de fragmentos (figura 3), como se aprecia la calidad de la roca se encuentra en un rango de “buena calidad”.



$$RQD = \frac{20 + 25 + 10}{63} \times 100 = 87\%$$

Figura 3: Determinación de la calidad de roca un núcleo utilizando la fórmula del RQD (Fotografía tomada en 2012)

2.1. Sistema RMR

Otro método que se utiliza es el sistema de clasificación de RMR (clasificación del macizo rocoso) que fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1973-1979² y se obtiene en el área de trabajo como la suma de las puntuaciones de diferentes parámetros los cuales son: resistencia a la compresión simple del material, RQD, espaciamiento entre discontinuidades, estado de las discontinuidades, presencia de agua, orientación de las discontinuidades. El valor tiene un rango de 0 a 100 y cuando el valor es alto la calidad de la roca será mejor; Bieniawski clasificó cinco clases de roca según el valor obtenido del RMR y se pueden apreciar en la tabla 2.

Tabla 2: Comparación del valor de RMR para la determinación de la calidad de roca (Bieniawski, 1979)

RMR	CALIDAD DE ROCA
Clase 1: $RMR > 80$	Muy buena
Clase 2: $80 > RMR > 60$	Buena
Clase 3: $60 > RMR > 40$	Regular
Clase 4: $40 > RMR > 20$	Mala
Clase 5: $RMR < 20$	Muy mala

Los resultados de RQD y RMR proporcionan una evaluación general de la calidad del macizo rocoso para definir las necesidades de sostenimiento; sin embargo, no se debe pasar por alto que un yacimiento cambia sus condiciones estructurales según la zona en la que se encuentre por lo que el experto en mecánica de rocas deberá estar trabajando en cada zona o cuerpo de mineral para determinar su calidad.

² Disponible en: Bieniawski, Z.T. (1979). The geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. 4th Int. Conference on Rock Mechanics. Montreaux. Balkema, vol 2, pp. 41-48.

2.2. Clasificación de Barton

Desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar los parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para obras subterráneas.

En la figura 4 se muestra el sostenimiento según el índice Q Barton³, indicando la relación entre la calidad del macizo rocoso y el claro de las obras subterráneas.

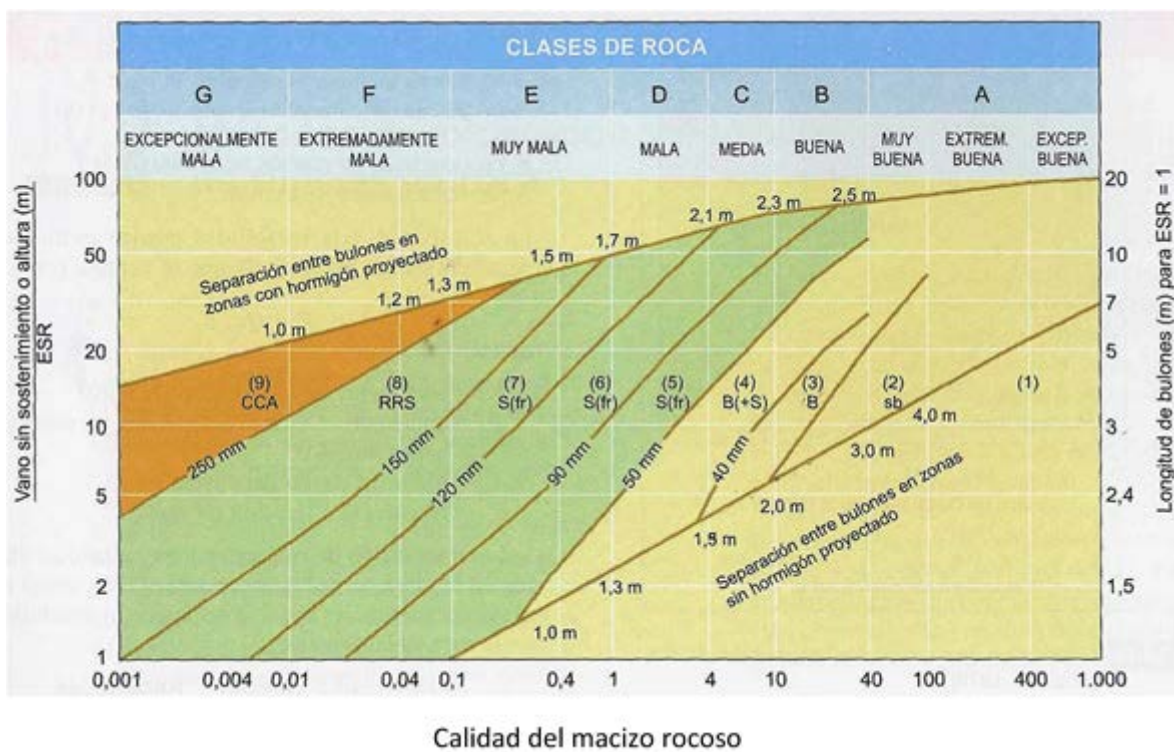


Figura 4: Sostenimiento según el índice Q (Barton, 2000)

³ Disponible en: Barton, N. (2000). El sistema Q para la selección del sostenimiento con el método noruego de excavación de túneles. En ingeotúneles, vol. 3. Cap. 3. Ed. López Jimeno. Entorno Gráfico, Madrid.

2.3. La calidad de la roca en una operación minera

Determinar las necesidades de sostenimiento, llevará a reducir el riesgo de accidentes por caída de roca, controlar las diferentes áreas de un colapso repentino, asegurando la continuidad de las operaciones y ante todo la seguridad de los trabajadores.

Se describe cómo funciona la calidad de la roca en una operación minera, dando las observaciones iniciales que se deberán tomar en cuenta para toda actividad en mina:

- Antes de realizar cualquier actividad se debe hacer una observación del lugar para verificar que el área está en condiciones estructurales seguras; verificando tabla derecha, cielo, tabla izquierda y piso. Ver figura 5.
- Amacizar, debe formar parte de todo procedimiento, y es la técnica utilizada para detectar y provocar en forma sistemática y controlada la caída de rocas sueltas en el cielo y tablas de una obra subterránea, utilizando herramientas y equipos diseñados para esta labor. Empezando siempre desde la zona segura a la insegura.
- Ir avanzando y asegurando el camino.

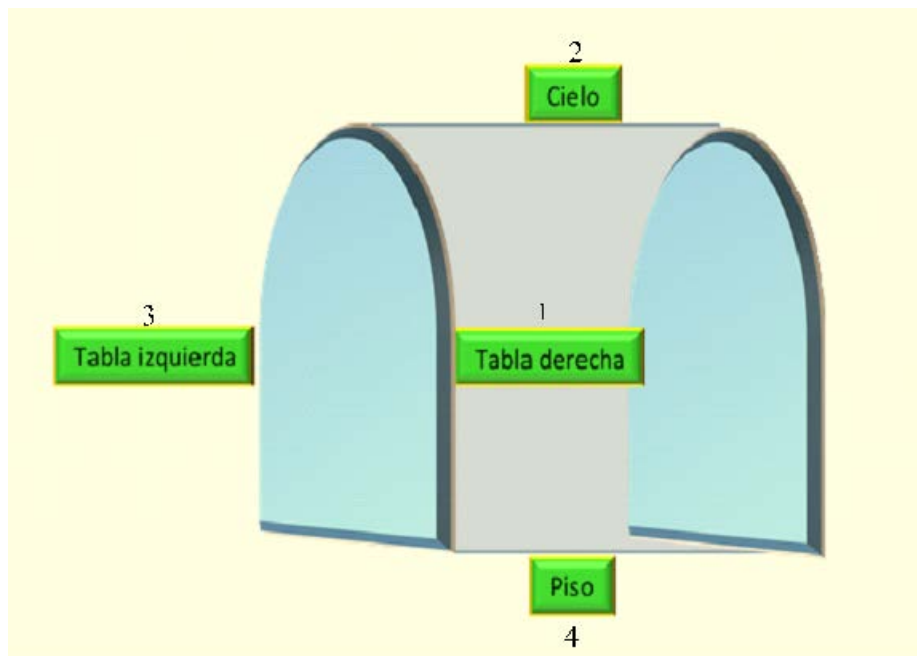


Figura 5: Partes de una mina subterránea

2.3.1. Calidad de roca muy mala

La experiencia en operación permite identificar que cuando la calidad de la roca es muy mala (ver figura 6) se caracteriza por ciertas particularidades como un macizo rocoso con gran fracturamiento, familias de fallas apreciables, presenta intemperismo, etc. Para este tipo de casos o circunstancias es necesario zarpear (ver capítulo 3.1) para que toda la superficie de la obra quede en condiciones favorables para el acceso de personal y equipo, además de que con este zarpeo reducirá el intemperismo de la roca y particularmente le dará un soporte a la obra mediante la resistencia temprana del concreto por ejemplo un concreto bien diseñado podrá presentar resistencia a las 2 horas después de su colocación. Después de colocar el concreto es necesario anclar y enmallar (ver capítulo 3.2 y 3.3), esto para reforzar y proporcionar a la obra estabilidad que de manera natural no tiene. La malla sirve para sostener los posibles desprendimientos de roca llevando consigo el área afectada de concreto y con el anclaje colocado perpendicularmente a los estratos del macizo rocoso sostendrá desde la roca fracturada hasta la roca sana, obteniendo así un sistema de soporte ideal para este tipo de calidad de roca.

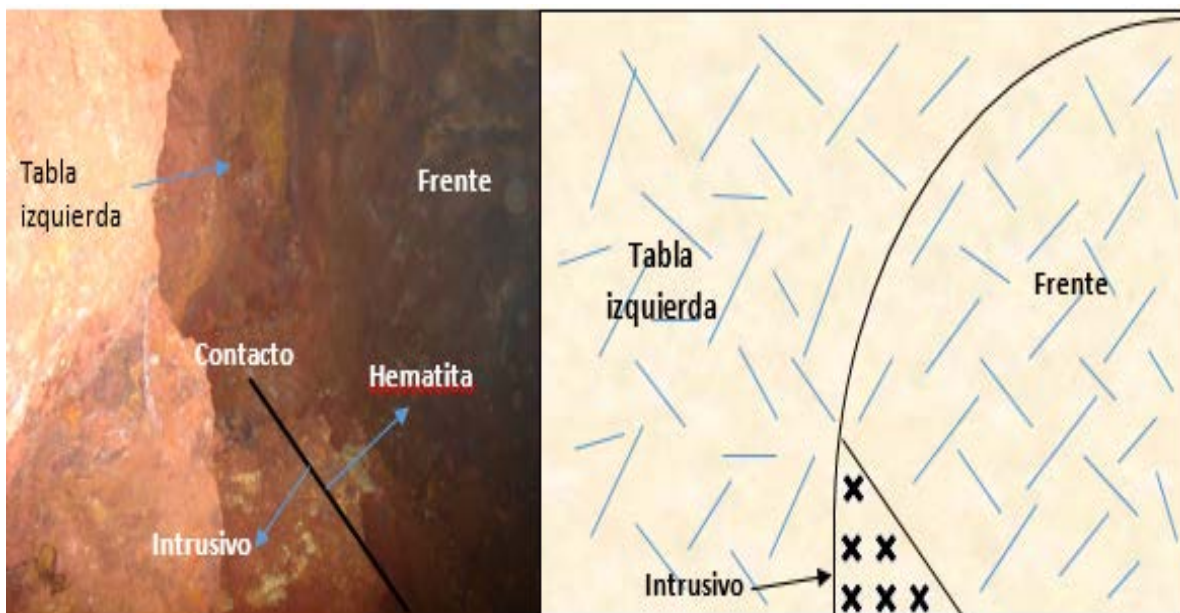


Figura 6: Roca de calidad muy mala (Fotografía tomada en 2013)

En ciertas circunstancias por cuestiones de presupuesto habrá minas, con un macizo rocoso de mala calidad, que no podrán colocar un sostenimiento ideal para estos casos se recomienda por lo menos anclar y enmallar lo que les permitirá operar de manera segura.

2.3.2. Calidad de roca mala

En operación cuando la calidad de roca es mala (ver figura 7) se sigue el mismo procedimiento que cuando la roca es de calidad muy mala, ya que la estructura de ambos macizos rocosos es similar en cuanto al grado de inestabilidad. Entonces el proceso de sostenimiento es el mismo, es decir amacizar, zarpear, anclar y enmallar con el fin de tener un soporte ideal.

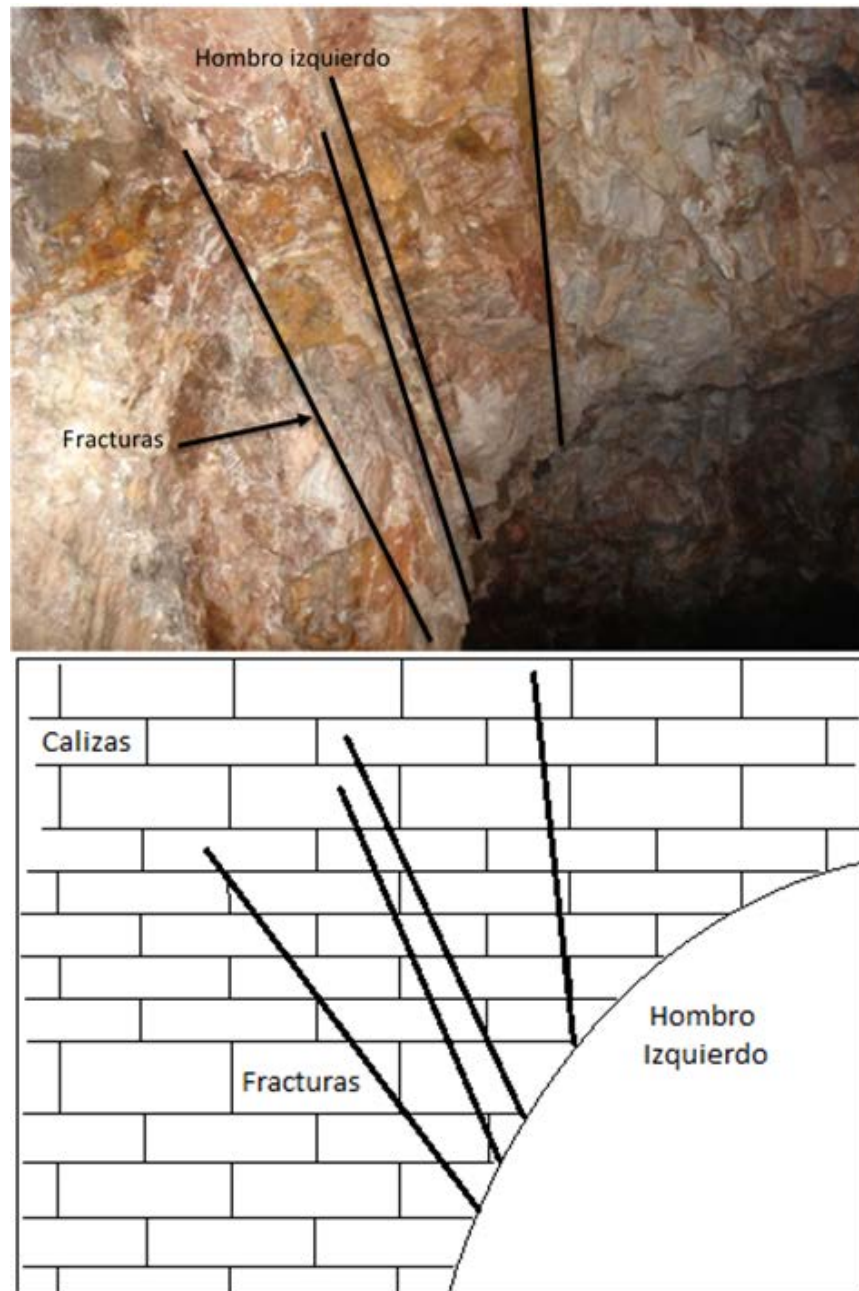


Figura 7: Roca de calidad mala en caliza fracturada. (Fotografía tomada en 2013)

2.3.3. Calidad de roca regular

Para el soporte de este tipo de calidad de roca (ver figura 8) se recomienda zarpear toda la superficie de la obra, ya que con este concreto lanzado se obtendrá un esfuerzo de tensión adecuada que estará en función de la preparación para soportar las diferentes fuerzas del terreno. Se recomienda anclar y enmallar zonas muy específicas donde ya exista un conocimiento previo de inestabilidad de la zona, siempre apoyándose del plano estructural, plano geológico, para saber con exactitud donde existe presencia de fallas, fracturas y filtraciones de agua que permitirán tomar la decisión de las áreas a soportar. Esta decisión deberá tomarse con un equipo multidisciplinario formado por geología, planeación, quienes indicaron la vida útil de la zona, el tonelaje y leyes, mecánica de rocas, seguridad y operación mina.

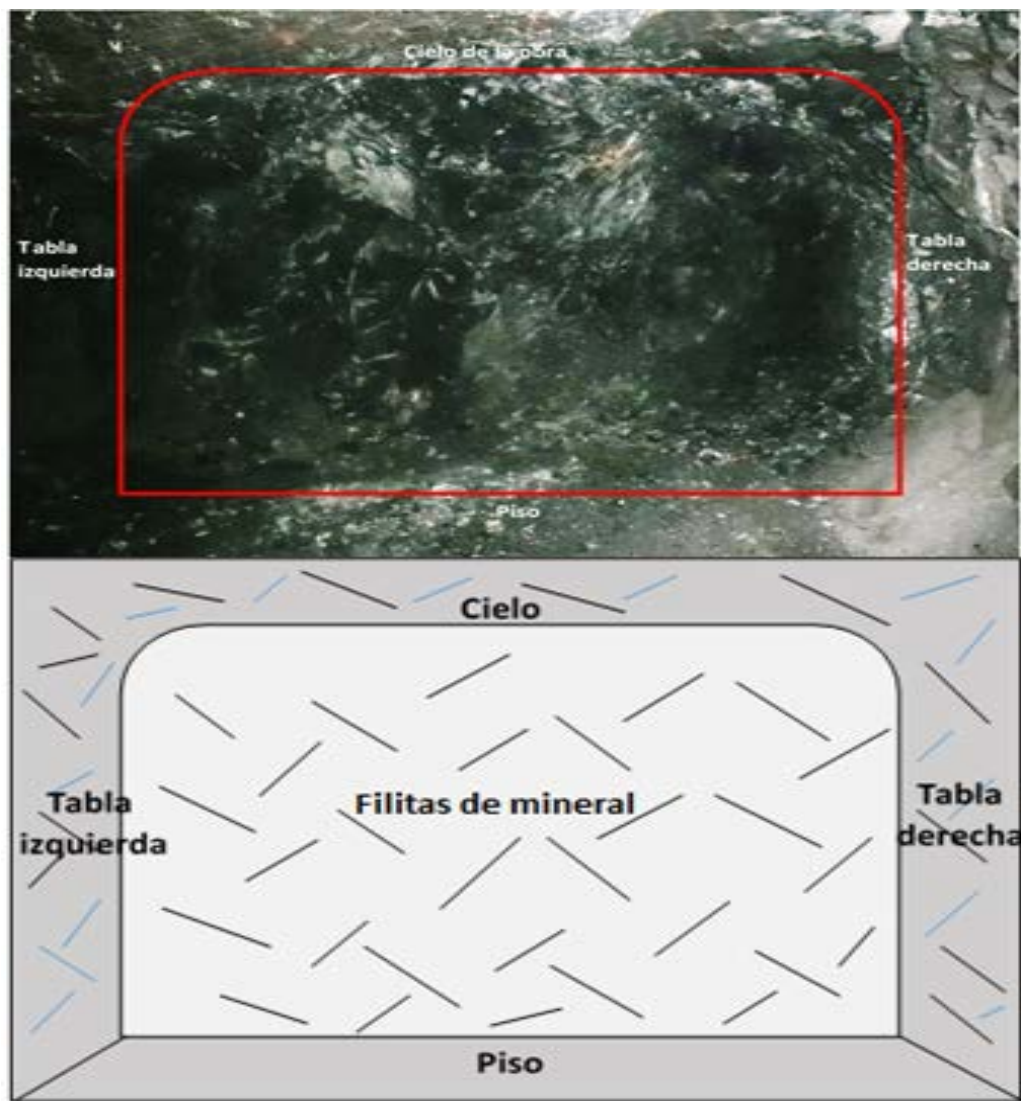


Figura 8: Roca de calidad regular en mineral de rodrosita. (Fotografía tomada en 2014)

2.3.4. Calidad de roca buena y muy buena

En operación cuando la calidad de roca es buena (ver figura 9) se estila diseñar las dimensiones adecuadas de las obras para que este tipo de roca no requiera soporte (ver figura 10), ya que existe una relación estrecha entre la estabilidad y el claro de las obras según Barton (2000)⁴.

Sin embargo, existen obras que aun presentando buena calidad requiere soporte, como obras permanentes: túnel, rampas, niveles permanentes. Obras de alto tránsito: taller de mantenimiento en interior mina, estaciones de distribución de energía eléctrica, estaciones de refugio, estaciones de exploración en mina y estos son:

- Anclar cuando no existen condiciones inseguras como desprendimiento de roca, pero es necesario soportar para fortificar el macizo rocoso.
- Enmallar y anclar en zonas muy específicas con la finalidad de soportar las posibles rocas que se desprendan de la obra y fortificando la sección del macizo rocoso.
- Anclar, enmallar y Zarpear para garantizar la seguridad cuando la obra es de alto tránsito de personal.

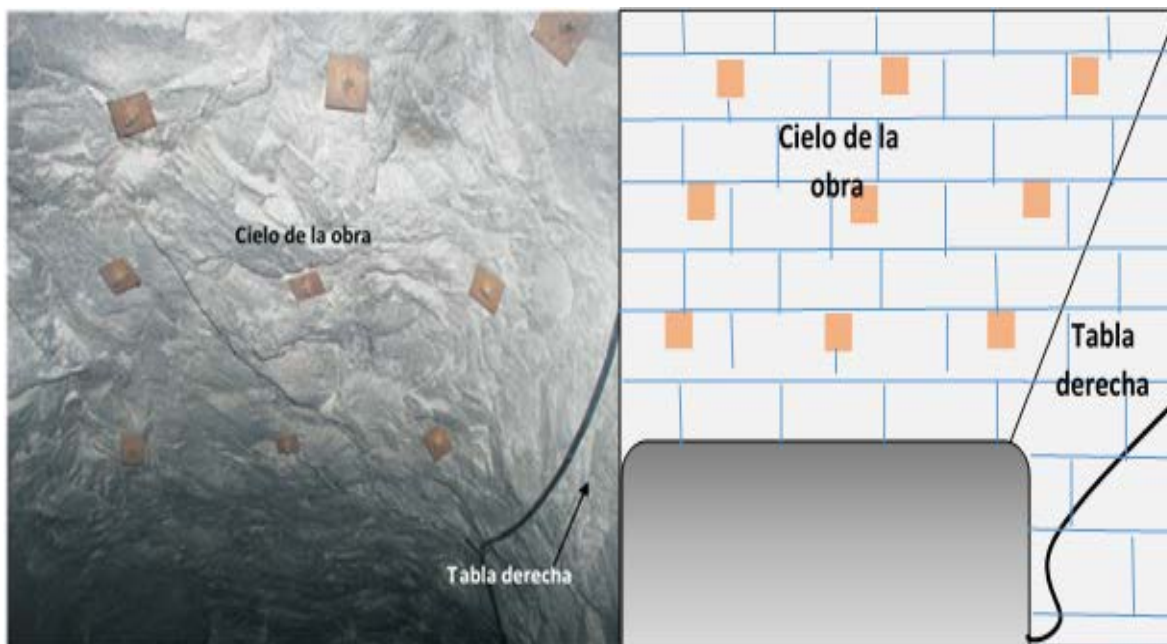


Figura 9: Roca de calidad buena en caliza competente. (Fotografía tomada en 2013)

⁴ Disponible en: Barton, N. (2000). El sistema Q para la selección del sostenimiento con el método noruego de excavación de túneles. En *ingetúneles*, vol.3. Cap.3. Ed. López Jimeno. Entorno Gráfico, Madrid.

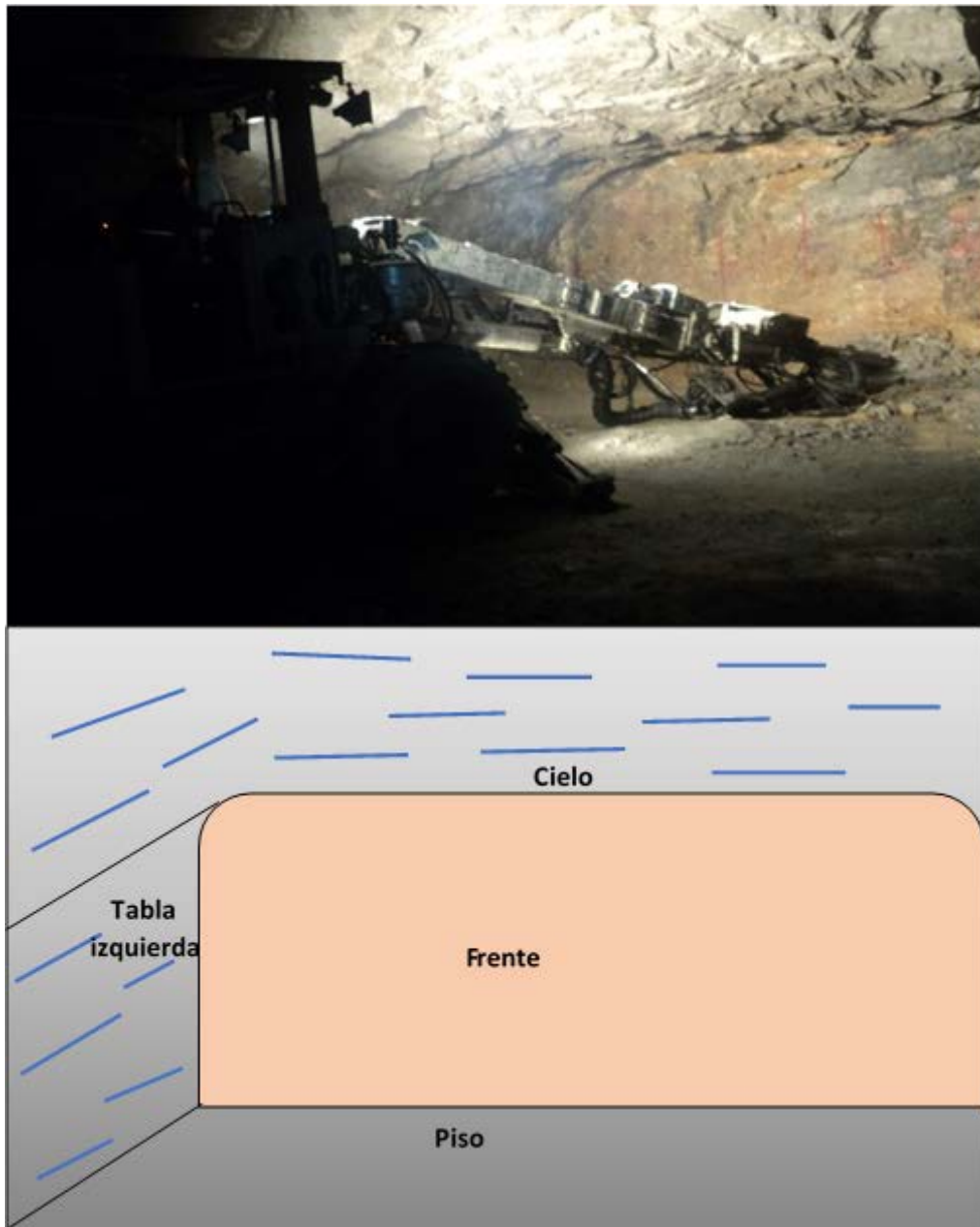


Figura 10: Roca de calidad muy buena en mineral de calcopirita. (Fotografía tomada en 2012)

Capítulo 3

Experiencia profesional en tres tipos de soporte en mina subterránea

- 3.1. Concreto
- 3.2. Anclaje
- 3.3. Enmallado

3. Experiencia profesional en tres tipos de soporte en mina subterránea

La calidad de roca es el elemento importante que dará la evaluación del macizo rocoso y dependiendo el resultado se elige el soporte ideal de las obras, ya que presenta una actividad de alta prioridad para el minado. Durante los años de experiencia profesional se utilizó para barrenar el *Jumbo* electrohidráulico las secciones tipo herradura de 4 x 4.5m en desarrollos y 3 x 3 m en rebajes, para el rezagado de la carga con *scoop tram* y la capacidad de estos equipos es variada, posteriormente se amaciza con el mismo *jumbo* (en algunas operaciones se realiza con *martillo* pero este no es el caso) ya que la calidad de roca es muy mala y con frecuencia la sección queda irregular y con el *jumbo* se termina de dar la forma de la sección deseada, y se vuelve a rezagar con el *scoop tram* para que quede totalmente limpia la obra, a continuación se prepara el personal para el zarpeo, es decir, para el lanzado de concreto a alta velocidad sobre la sección de la obra, ya que debe de tener como mínimo 2 pulgadas o 5 cm de grosor de concreto para soportar las fuerzas que actúan sobre el terreno y este no colapse, ya teniendo zarpeado el terreno se deja reposar 2 horas para obtener su resistencia máxima que es de 250 kg/cm^2 (dato obtenido del equipo tester que determina la resistencia del concreto), posteriormente se coloca la malla electro soldada con el *Jumbo anclador DS310* y se ancla esta con varilla de acero de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y 3m de longitud con una plantilla de anclaje a tresbolillo de 1.10m x 1.10m para obtener una resistencia de 15 ton/m^2 También se enmalla y se ancla con máquina de pierna pero aquí el ancla cambia y se utiliza split-set de 1.8m de longitud con una resistencia de 4 ton/m^2 . En ocasiones donde el terreno se observa inestable se recomienda volver a zarpear sobre la malla dando más soporte a la sección del terreno y seguridad al personal o maquinaria que transite por la obra subterránea.

Obteniendo el terreno totalmente soportado se vuelve a rezagar con el *scoop tram*, esto para dejar totalmente limpio el rebaje o frente ya que con el rebote del concreto lanzado, el piso de la obra queda con residuos propios del zarpeo y puede interferir con la barrenación del lugar.

Una vez que la obra está totalmente limpia se procede a barrenar y continuar con el ciclo del minado ya sea en los desarrollos o en la producción, teniendo todo lo anterior en condiciones se puede trabajar con un estándar en seguridad alto y no tener incidentes.

3.1. Concreto

El concreto es un material pétreo, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas de cemento, agregados pétreos y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados constituyendo un material heterogéneo. En ocasiones se añaden ciertas sustancias llamadas aditivos que endurecen el concreto por una reacción química.

Existen diferentes tipos de cemento utilizados para el concreto lanzado los cuales son: el cemento portland cuando hay humedad en el terreno y mortero cuando la superficie es seca.

3.1.1. Concreto lanzado

Se le llama concreto lanzado a una mezcla de cemento, arena y agua, diseñada para dar soporte a una obra minera. La función del concreto lanzado en mina radica en la preparación para colocarlo y que soporte la carga generada por el macizo rocoso y la nueva distribución de esfuerzos modificada por la obra minera, a la hora de diseñar la mezcla se prevé agregar un acelerante para que una vez colocado fragüe en menor tiempo.

Para la colocación se le introduce aire a presión la cual estará en función del equipo utilizado y se lanza en dirección a la superficie de la obra minera que se quiere soportar. Por diseño el concreto deberá secar en un lapso que permita continuar con la operación y por lo general se observó que como practica general es de 2 horas.

3.1.2. Vía húmeda

El cemento, agregados, agua y aditivos se mezclan y preparan en el sitio comúnmente llamado estación de concreto y este se proyecta a alta velocidad sobre la obra; realizando la colocación y compactación al mismo tiempo debido a la fuerza con la que es proyectado desde la boquilla del equipo lanzador.

Preparación

La preparación del concreto es mecanizada, se le llama así a la homogenización de los materiales realizada con una mezcladora, por lo que el personal no manipula directamente la mezcla de los materiales, cuando existe cuarto de control es posible inspeccionar el proceso y la calidad del producto final.

Los materiales homogenizados se transportan dentro de un camión revolvedor mixer hasta el lugar donde se va a realizar la operación de zarpeo. Ya estando en la obra subterránea se vierte de forma mecanizada y por gravedad se vacía hacia el equipo que va a lanzar el concreto (*Sika pm, Alpha 20*).

Para preparar 1 m³ de concreto lanzado.

- 450 Kg de cemento.
- 1400 Kg de arena.
- 410 Kg de granzón de 3/8".
- 170 Lt de agua.
- 17 Lt de acelerante líquido.

Colocación

Estando la mezcla de concreto y el equipo lanzador en la obra subterránea, la mezcla se descarga en una bomba y se transporta a presión a través de la manguera del equipo lanzado como se muestra en la figura 11, agregándole aire a presión a razón de $15 \text{ m}^3/\text{min}$ y una presión de 7 bares, según el Instituto Americano del Concreto (ACI) con la finalidad de aumentar la velocidad del concreto a fin de lograr una buena compactación y adherencia a la superficie de la obra subterránea.

Un error común que se comete con el método de vía húmeda es utilizar cantidades insuficientes de aire, lo cual lleva a menores resistencias a la compresión así como también deficiente adherencia a las paredes del terreno y mayor rebote de concreto lanzado.

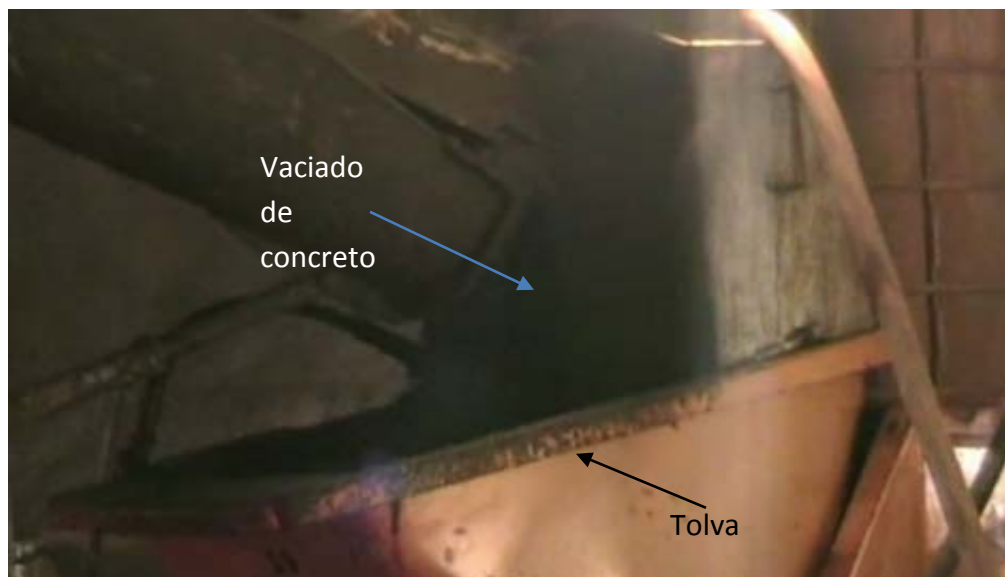


Figura 11: Mezcla de cemento vertiéndose a la tolva del equipo lanzador

Equipos utilizados**SIKA-PM 407**

Es un equipo que se utiliza para el lanzamiento de concreto vía húmeda el cual tiene una altura de 2.26 metros, una longitud de 6.9 m, una anchura de 2.10 m, un peso de 7 toneladas, motor diésel de 4 cilindros con 94 HP, potencia eléctrica de 55kw. Este equipo tiene la ventaja de que se maneja a control remoto y manualmente, la altura máxima para zarpear es de 9 metros y la distancia a la horizontal es de 7 metros y la capacidad máxima de concreto lanzado es de 20 m³ por hora y el aire suministrado se puede controlar también por el control remoto. Ver figura 12.

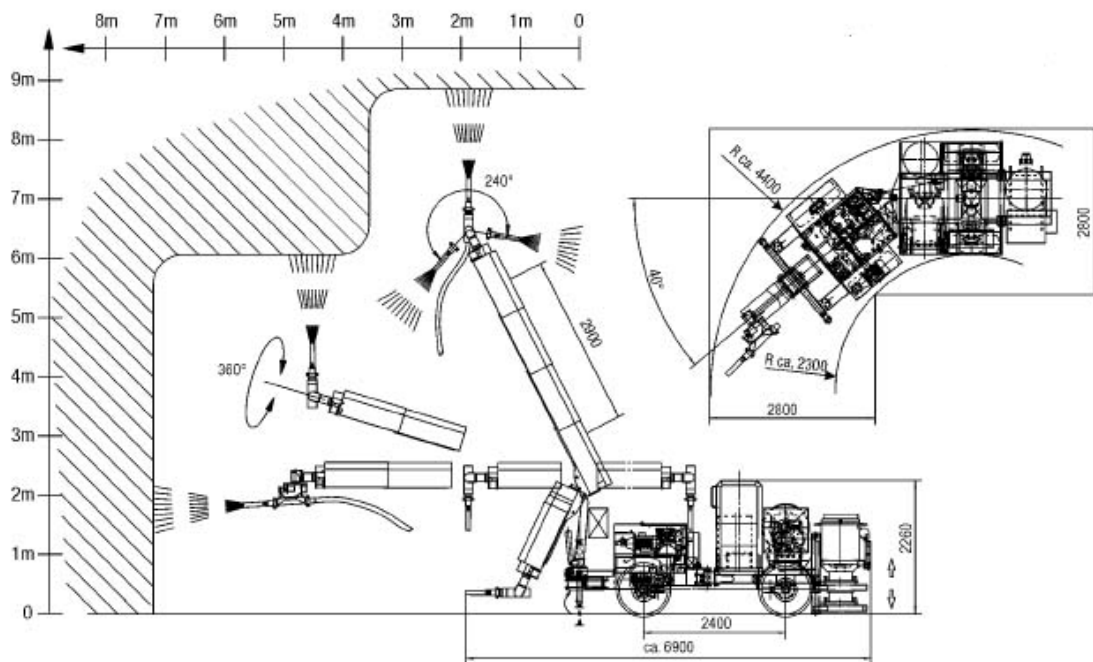


Figura 12: Esquema de longitud y áreas del lanzado del equipo Sika PM 407, de túneles y minas, 2015

Alpha 20

Es un equipo que se utiliza para el lanzado de concreto por vía húmeda (figura 13), el cual tiene una altura de 2.6 m, una longitud de 9 m, un ancho de 2.10 m, un peso de 6 toneladas, velocidad de 11 Km/Hr, motor diésel de 4 cilindros con 146 Hp, de acuerdo al manual de *túneles y minas normet*. Este equipo tiene la ventaja de que se maneja a control remoto el cual es inalámbrico y opera hasta 30 metros de retirado y también se puede manejar manualmente. La altura máxima para zarpear es de 10 metros y la distancia a la horizontal es de 8 metros y la capacidad máxima de lanzado es de 30 m³ por hora. Ver figura 14.



Figura 13: Alpha 20 en interior mina. (Fotografía tomada en 2013)

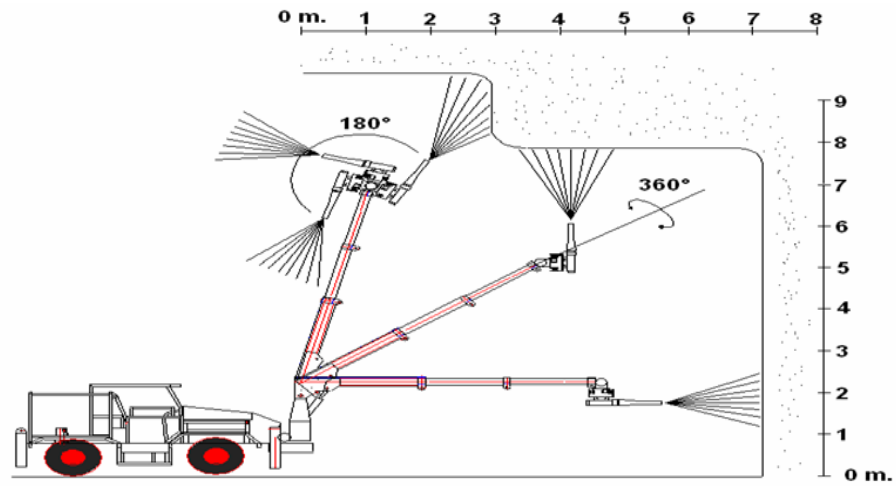


Figura 14: Esquema de longitud y áreas de lanzamiento del Alpha 20, de túneles y minas normet, 2015

A continuación se muestra (tabla 3) la comparación del método por vía húmeda.

Tabla 3: Comparación de ventajas y desventajas del zarpeo por vía húmeda

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Apto para grandes secciones de terreno y altos volúmenes de lanzado.	Distancia de transporte limitada, ya que la mezcla ya viene preparada desde la estación de preparación de concreto.
El agua es controlada en la etapa de mezclado dosificándose con mayor precisión.	Al finalizar el trabajo, el equipo debe de limpiarse de inmediato ya que se puede obstruir la manguera de lanzado.
Se logran mezclas más homogéneas, con mejores resistencias a compresión y más uniformes.	Se tiene que tener un lugar asignado para el lavado del equipo y cárcamo, además de tener su propia toma de agua con la finalidad de no obstruir el tránsito.
Mejor adherencia a las paredes del terreno si se realiza de una manera correcta.	Línea de manguera de lanzado pesada (100kg), se necesitan como mínimo 2 personas para maniobrar y lavar la manguera.
Superior resistencia a la compresión y poca variación en los resultados.	No debe de haber tiempos muertos a causa de falta de aire, o algún servicio ya que la mezcla se puede endurecer.
Capa de concreto uniforme al ser de manera controlada.	
Disminuyen las pérdidas de cemento y la generación de polvo.	
Normalmente no se genera excesivo rebote. Con equipos en buenas condiciones y mano de obra calificada se obtienen rebotes en un rango de 5 al 10 %.	
Permite obtener mayores volúmenes de lanzado.	
Mejor ambiente de trabajo siempre y cuando el sistema de ventilación tenga un flujo continuo.	

3.1.3. Vía seca

Definición

A diferencia que el método por vía húmeda, aquí la hidratación se realiza hasta la salida de la boquilla del equipo lanzador y el lanzamiento del concreto es de forma manual por lo que depende de la capacidad del operador para manejar la boquilla de la manguera lanzadora y de él depende directamente la hidratación de la mezcla, por lo que la calidad del lanzamiento depende de la habilidad, conocimientos y experiencia del operador.

Preparación

La preparación de este concreto es manual por lo que el personal a realizar dicha tarea debe tener experiencia en la preparación, para hacer que la mezcla de los diferentes materiales sea exacta y que dé como resultado una mezcla apta y homogénea para la tarea a realizar.

Para preparar 1m³ de concreto lanzado.

- 450 Kg de cemento.
- 1400 Kg de arena.
- 410 Kg de granzón de 3/8".
- 150 Lt de agua.
- 25 Kg de acelerante en polvo.

El funcionamiento de los equipos de lanzamiento de concreto por vía seca como se muestra en la figura 15 se basa en el rotor principal y la mezcla de concreto se agrega a la tolva de alimentación y esta es transportada con ayuda del aire comprimido a la boquilla del equipo utilizado.

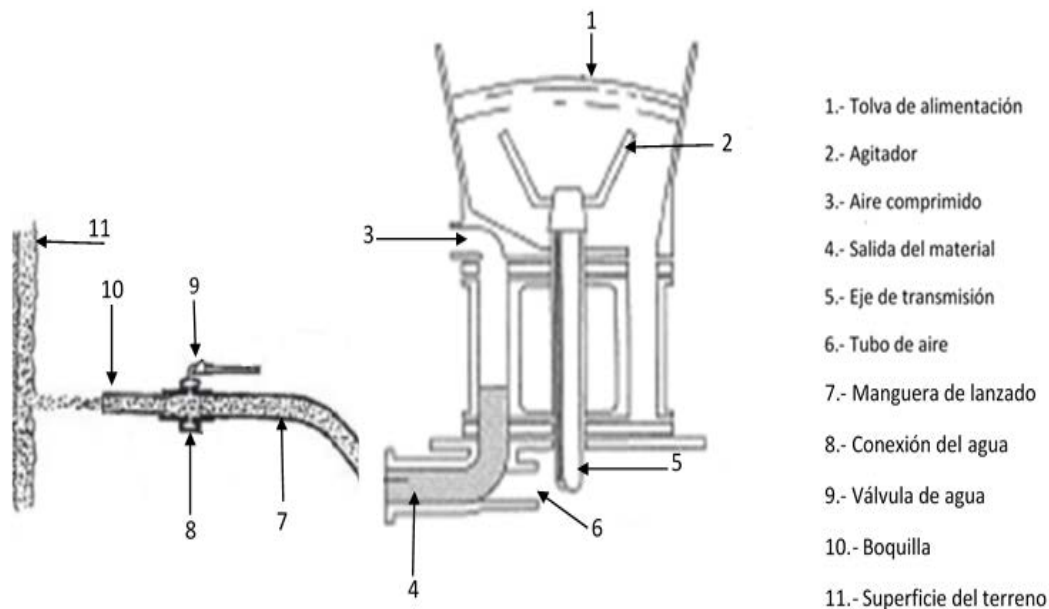


Figura 15: Diagrama de equipo de lanzador vía seca. (Dibujo de Shotcrete Practice in Underground Construction)

Colocación

La preparación de la mezcla se carga en la maquina lanzadora (*Aliva 263, Allentown piccola*) y el material es introducido hacia la manguera mediante el empleo de aire comprimido y es transportado hacia la boquilla a gran velocidad y aquí es cuando se le introduce agua a presión a través de un anillo de distribución humedeciendo así el material y así la mezcla húmeda es lanzada a alta velocidad hacia la superficie del terreno adhiriéndose a las tablas y cielo de la obra subterránea.

Equipos utilizados

Aliva 263

Esta máquina es proyectora de concreto lanzado por el método de vía seca, con dos ejes uno fijo y el otro móvil como se muestra en la figura 16. La máquina está construida para que el operador lance el concreto manualmente sosteniendo la boquilla de la manguera y dirija la mezcla hacia la superficie de la obra subterránea.

Tiene una altura de 1.26 m, una longitud de 1.2 m, ancho de 70 cm, un peso de 1.4 ton, la longitud de la manguera de lanzado de 2.5 m, el aire a presión requerido de 8 bares, la capacidad máxima de concreto lanzado de 4 m³/hr y la altura para zarpear depende de la habilidad del operador. De acuerdo al manual *Sika Aliva 263, de túneles y minas*, 2015.



Figura 16: Máquina lanzadora Aliva 263, Sika 2015

Allentown piccola

Esta máquina es proyectora de lanzado de concreto por el método de vía seca como se muestra en la figura 17, con dos ejes los cuales uno es fijo y el otro es móvil. El equipo está construido para que el operador lance el concreto utilizando sus manos para sostener la manguera en dirección hacia la superficie de la obra.

Tiene una altura de 1.10m, una longitud de 1.5m, ancho de 80cm, un peso de 470kg, longitud de manguera de lanzado de 2.5m, el aire a presión requerido de 7 bares, la capacidad máxima de concreto lanzado de 7 m³/hr y la altura para zarpear depende de la habilidad del operador. De acuerdo al manual *normet meycos*, 2015.



Figura 17: Allentown piccola en interior mina junto a personal lanzador (Fotografía tomada en 2013)

A continuación se muestra (tabla 4) la comparación del método por vía seca.

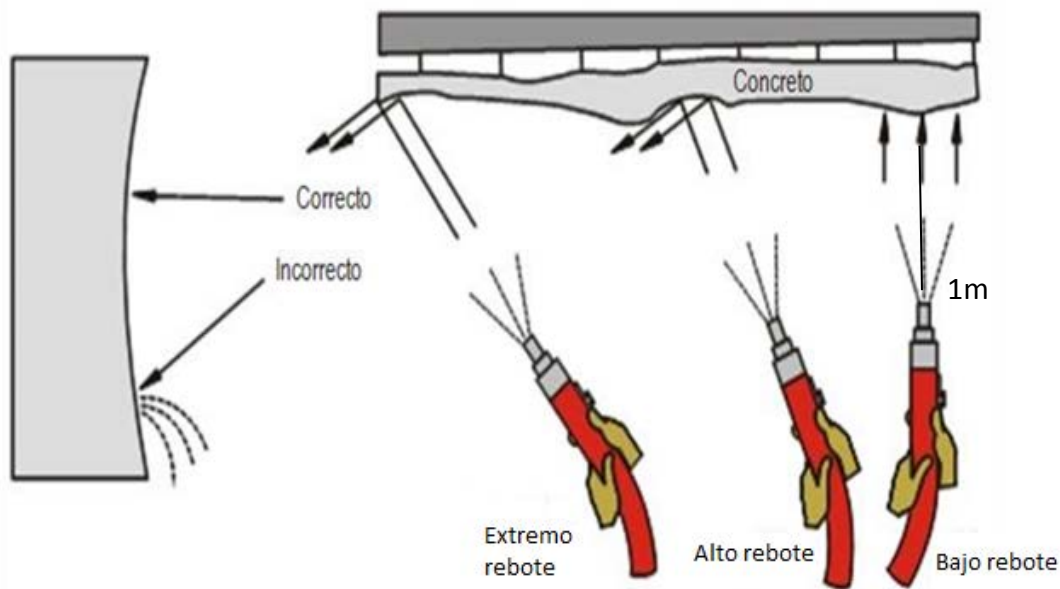
Tabla 4: Comparación de ventajas y desventajas del zarpeo por vía seca

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Apto para secciones pequeñas, y bajos volúmenes de lanzado.	Tiende a generar bastante polvo en el área que se está lanzando, terminando el operador con bastante material sobre él.
El agua de mezclado y la consistencia de la mezcla se controlan directamente en la boquilla, lo que permite adaptarse a condiciones variables de colocación y a las variaciones de la humedad del agregado.	Mayor cantidad de rebote alrededor del 25 % del material lanzado.
Permite mayores distancias de transporte para llevarlo a la obra subterránea a zarpear.	Presenta variaciones en la dosificación del agua, en la homogeneidad en la mezcla y en las resistencias.
El lavado del equipo es rápido y sencillo ya que con un solo operador lo puede realizar.	Requiere mayor habilidad del lanzador para su colocación.
Se simplifican las operaciones de inicio y término con mayor flexibilidad de colocación debido al tamaño del equipo lanzador.	Mayor desgaste de piezas del equipo.
Requiere bajas relaciones de agua - cemento.	Bajo rendimiento de colocación.
La máquina de lanzado es generalmente más económica respecto a una maquina por vía húmeda.	Alto riesgo si se utiliza en secciones grandes, ya que representa un riesgo para el operador.

3.1.4. Rebote del concreto lanzado

El rebote es el concreto lanzado ya sea por vía húmeda o vía seca, se refiere a que no se adhiere a la superficie de la obra, esto se debe a diferentes factores ya sea por la composición de la mezcla, la superficie de aplicación, desgaste de la boquilla de lanzado, habilidad del lanzador, espesor del concreto, inadecuada presión de aire. Es por eso que se hacen recomendaciones para tratar de minimizar el rebote ya que representa una pérdida económica.

La distancia optima entre la boquilla de la maquina lanzadora y la superficie del terreno es de 1 metro como se muestra en la figura 18 y el ángulo de la boquilla respecto al plano del terreno debe ser perpendicularmente. Esto disminuye el porcentaje de rebote aprovechando al máximo la cantidad de la mezcla.



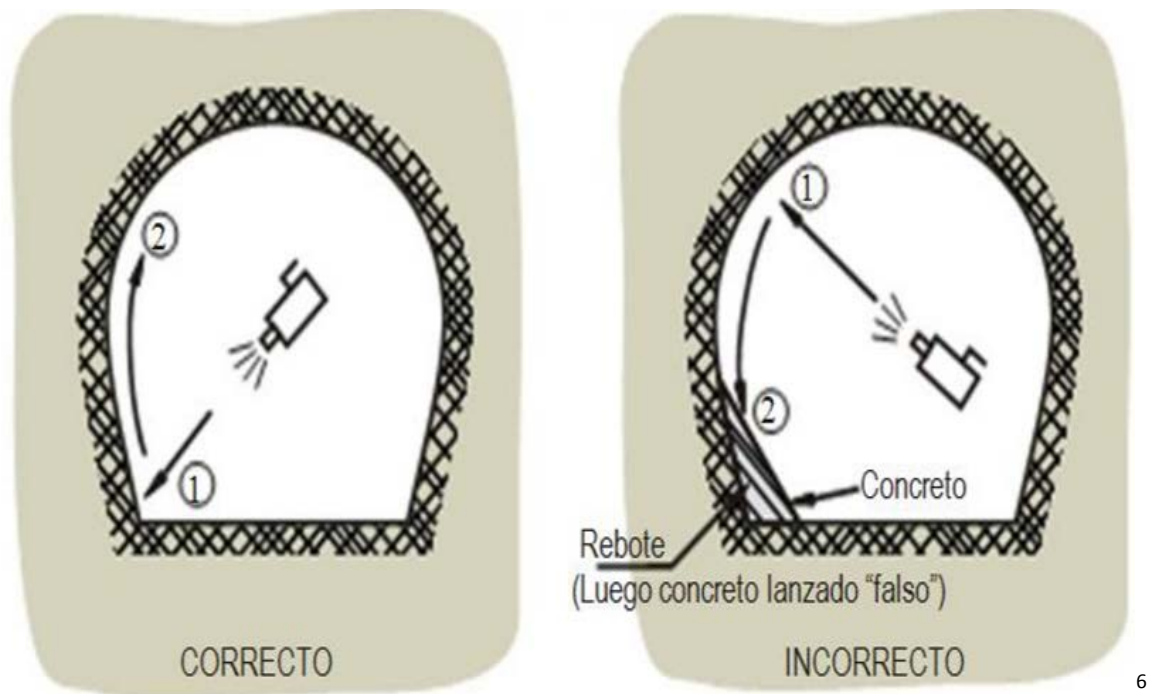
5

Figura 18: Ángulo de lanzamiento del concreto para evitar un alto rebote

⁵ Disponible en: <https://www.slideshare.net/100001887757728/shotcrete-70230477>

Independientemente si la boquilla se opera de forma manual o a control remoto esta deberá lanzar de una forma controlada en todo el proceso. Si no se mantiene un movimiento constante, el concreto lanzado tendrá compactaciones y espesores irregulares y un mayor rebote.

Como recomendación general se debe de empezar a zarpear por la parte inferior de la tabla al contacto con el piso como se muestra en la figura 19 para después lanzar en medio de la tabla y después en dirección al cielo de la obra, en caso de que no fuese así el rebote de la proyección cae sobre la zona inferior formando con ello lo que se le llama concreto lanzado falso.



6

Figura 19: Se muestra el inicio y final del área de lanzamiento para evitar alto rebote y concreto lanzado falso

⁶ Disponible en: <https://www.slideshare.net/100001887757728/shotcrete-70230477>

En la figura 20 se observa la distancia de la boquilla del equipo de zarpeo a la superficie respecto al porcentaje de rebote. Se puede observar que la distancia óptima es de 1 metro de separación, conforme aumente o disminuya esta separación el porcentaje de rebote incrementará.

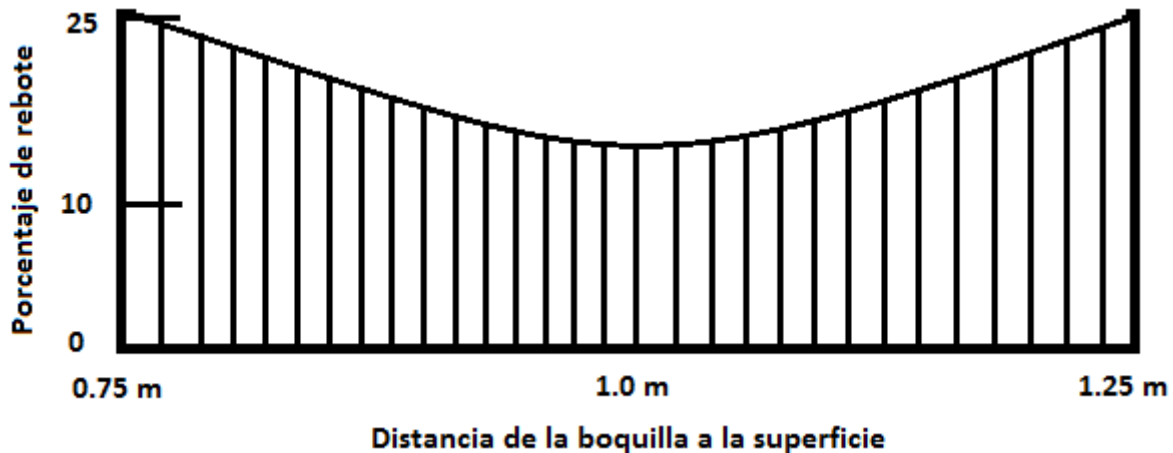
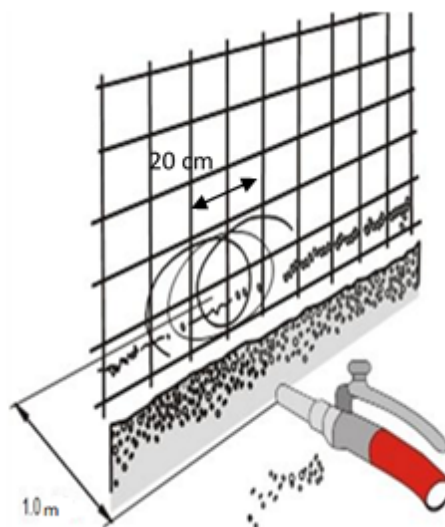


Figura 20: Efecto de la distancia de la boquilla sobre el % de rebote, según kobler en shotcrete practice in underground construction

El operador deberá lanzar lo más perpendicular a la superficie de la obra y con movimientos circulares de 50 cm de largo por 20 cm de ancho como lo muestra la figura 21, esto con la finalidad de que el concreto lanzado tenga compactaciones y espesores iguales.



6

Figura 21: Distancias y movimientos para espesores iguales en el lanzamiento

En la figura 22 se observa la gráfica del ángulo de la boquilla con respecto a la horizontal versus el porcentaje de rebote de concreto lanzado. Se determina que conforme aumente ángulo respecto a la horizontal mayor es el porcentaje de rebote.

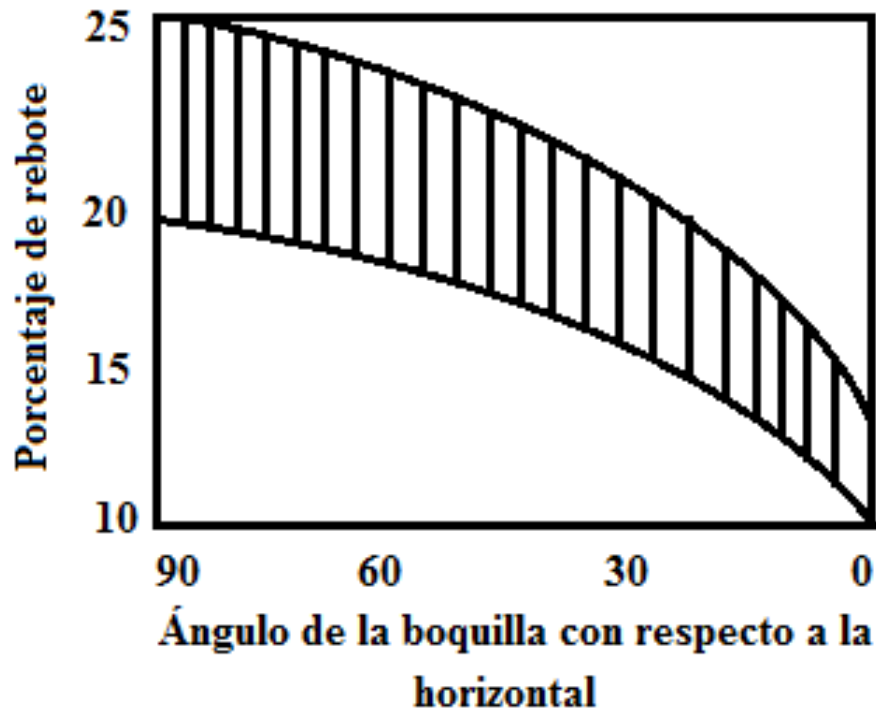
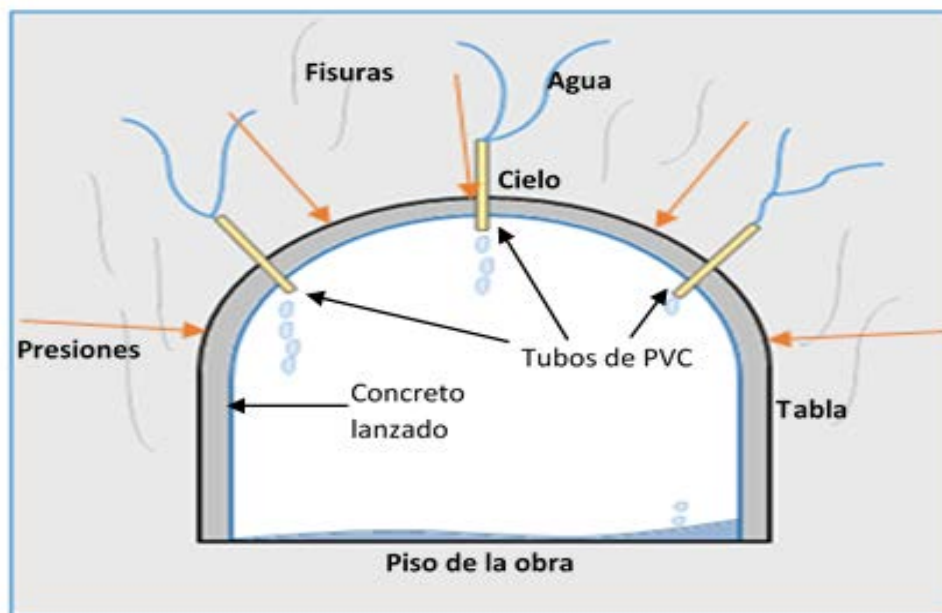


Figura 22: Efecto del ángulo de la boquilla sobre el porcentaje de rebote, según Kobler en shotcrete practice in underground construction

Barrenos de dren

Los barrenos de dren son muy importantes cuando la obra subterránea tiene filtraciones de agua y hace que el concreto lanzado se humedezca, además de ejercer presión llevando con ello a que este pueda fisurarse y terminar desprendiéndose de las paredes de la obra. Para evitar esto es importante identificar donde se canalizan las filtraciones de agua, para ser preciso y colocar los barrenos de dren justo en el sitio donde brote la filtración del agua. Ver figura 23.

Para hacer los barrenos de dren se hace un barreno de 50 cm de profundidad en las salidas de filtración del agua, inmediatamente se coloca un tubo de PVC dentro del barreno para que el agua se canalice por el tubo y salga al exterior del terreno ya sea en goteo o a pequeños chorros.



7

Figura 23: Esquema para la colocación de barrenos de dren

⁷ Disponible en: <https://es.scribd.com/document/159174170/Monografia-de-Shotcrete>

3.2. Anclaje

El anclaje es un método de soporte cuya finalidad es sostener el macizo rocoso de una obra, con la colocación de anclas (varilla, acero), las cuales atraviesan perpendicularmente la roca fracturada y expuesta del terreno hacia la roca sana que no fue fracturada, la cual soporta la carga.

El principal objetivo es tener una obra resistente que no colapse, que soporte las fuerzas actuantes sobre la obra subterránea y tener seguridad para el personal y equipo que transite por el lugar.

3.2.1. Tipos de ancla

Anclas split-set

El ancla split-set es un sostenimiento metálico considerado temporal ya que por lo general se utiliza en obras que no son permanentes y estas trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento de los estratos del macizo rocoso) a lo largo de toda la longitud del barreno.

El split-set, consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es adelgazado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la forma de la barra, como se muestra en la figura 24.

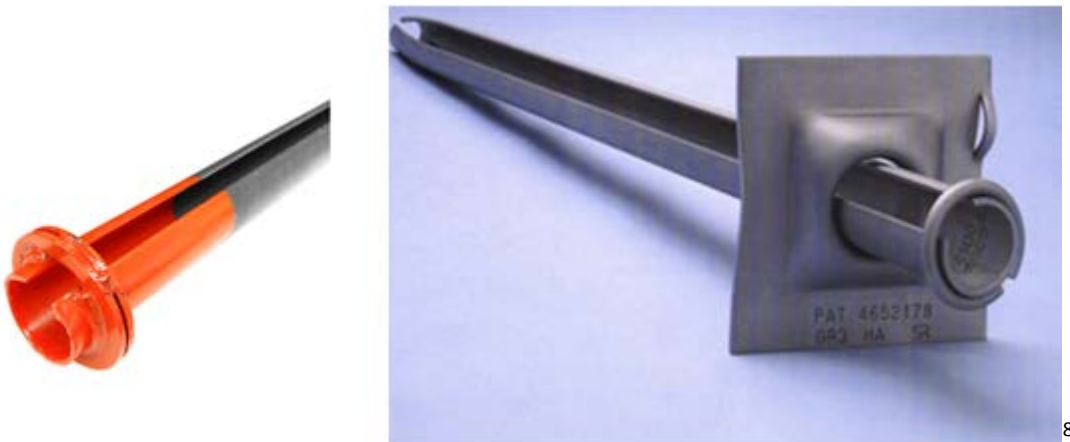


Figura 24: Ancla split set

⁸Disponible en: <http://www.rockbolt.com.mx/productos/anclas-para-refuerzo-de-roca/107-anclas-para-refuerzo-de-roca/559-ancla-split-set>

Anclas de varilla

El ancla de varilla corrugada es un tipo de sostenimiento metálico (ver figura 25) considerado permanente ya que se utiliza en obras a largo plazo (taller mecánico-eléctrico, rampas de acceso) o que son de gran importancia mientras dure la actividad (plazas de barrenación) y estas trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento de los estratos del macizo rocoso) a lo largo de toda la longitud de la varilla.

Esta ancla consiste en una varilla corrugada de 3/4" de diámetro, un peso de 3kg y 3 metros de longitud (las dimensiones pueden variar dependiendo de los requerimientos del comprador) y posee mejor adherencia con el cemento por su corrugado. Uno de los extremos termina en un anillo de la misma varilla, el cual servirá de soporte de dicha ancla junto con la placa. El otro extremo del ancla termina en cuchilla, esto para que al entrar al barreno no se acumulen los detritos de la roca y entre hasta el tope del barreno, además de atravesar los cartuchos de cemento (bolis) que se inyectan previamente.

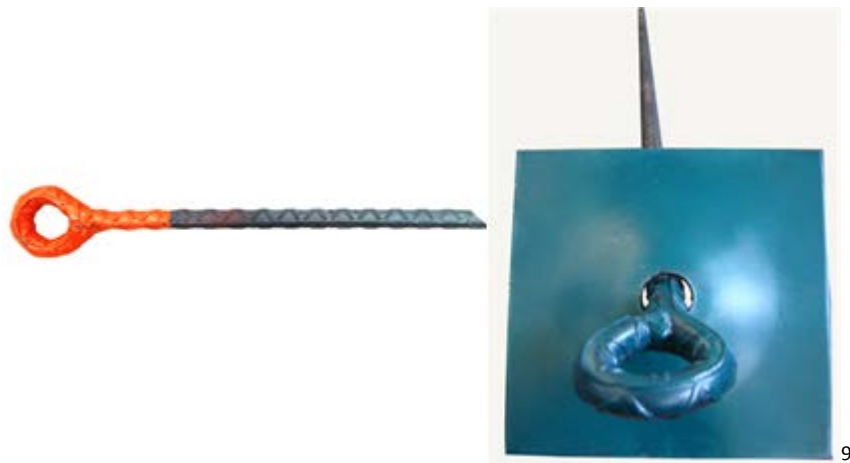


Figura 25: Ancla de varilla corrugada

⁹ Disponible en: <http://rockbolt.com.mx/productos/anclas-para-refuerzo-de-roca/107-anclas-para-refuerzo-de-roca/550-ancla-de-varilla-con-argolla-soldada>

3.2.2. Colocación

Ancla split-set

Al ser introducido el ancla split-set a presión dentro de un barreno de diámetro menor, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes de la roca, esto constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación del macizo rocoso. Ver figura 26.

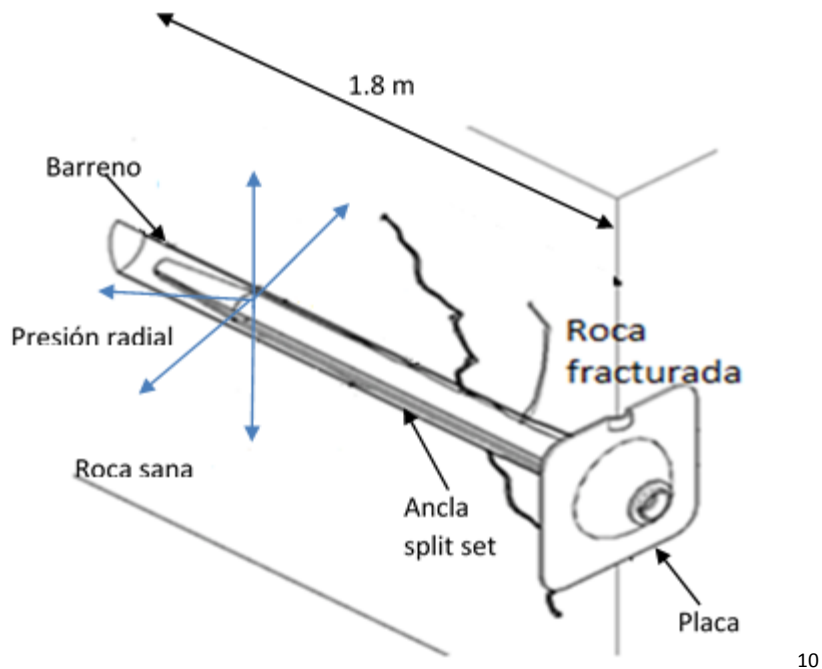


Figura 26: Esquema de colocación de ancla split set

Cada ancla split set soporta un tonelaje de 4 ton/m^2 , de acuerdo a pruebas in situ realizadas en mina, y se le adicionan los cartuchos de cemento en función de la longitud del barreno (4-5 en promedio para un barreno de 1.8 m) para que quede bien cementado y no tenga problemas de movimiento. Por lo cual si se tiene una plantilla de anclaje cuadrática de $1 \times 1 \text{ m}$, las anclas soportarán 16 ton/m^2 .

¹⁰ Disponible en: <http://www.rockbolt.com.mx/productos/ancas-para-refuerzo-de-roca/107-ancas-para-refuerzo-de-roca/559-ancla-split-set>

Las placas de soporte que se muestran en la figura 27 sirven para apoyar y mantener la posición del ancla en la superficie de la obra subterránea, además de que el ancla no pierda la tensión por movimiento hacia el macizo rocoso. Sus dimensiones son de 15 x 15 cm.

La concavidad de la placa también sirve de guía para observar cómo va efectuando los esfuerzos de compresión del macizo rocoso sobre la simetría de la obra, entre más “plana” más esfuerzo.

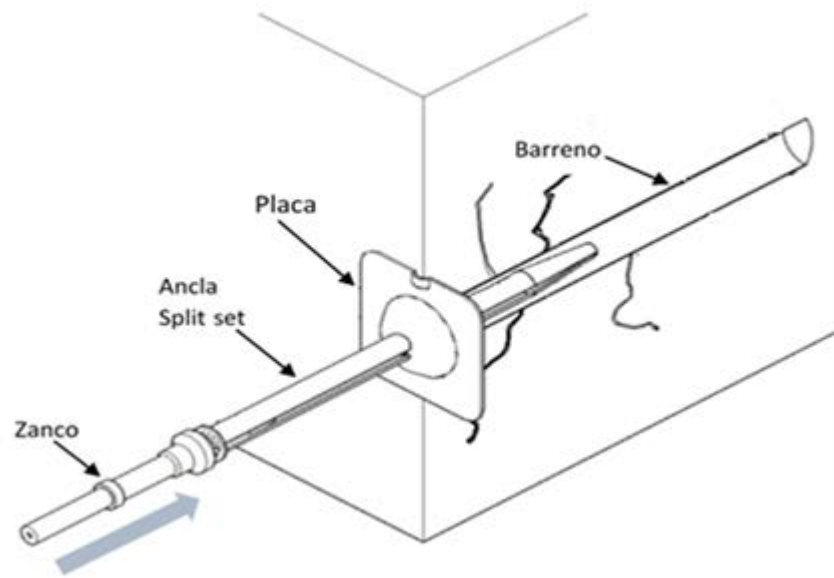


11

Figura 27: Placas de soporte

El zanco (figura 28) es un accesorio para la instalación del ancla y se coloca en la boquilla de la máquina de pierna, (es decir se quita la barra y se coloca el zanco), y su función es empujar el ancla dentro del barreno, con ayuda de la percusión de la perforadora. Hay que colocar la placa antes de introducir el ancla split set dentro del barreno. Ver figura 29.

¹¹ Disponible en: <http://www.encinales.com.mx/site/placas.html>



12

Figura 28: Posición del zanco para empujar el ancla



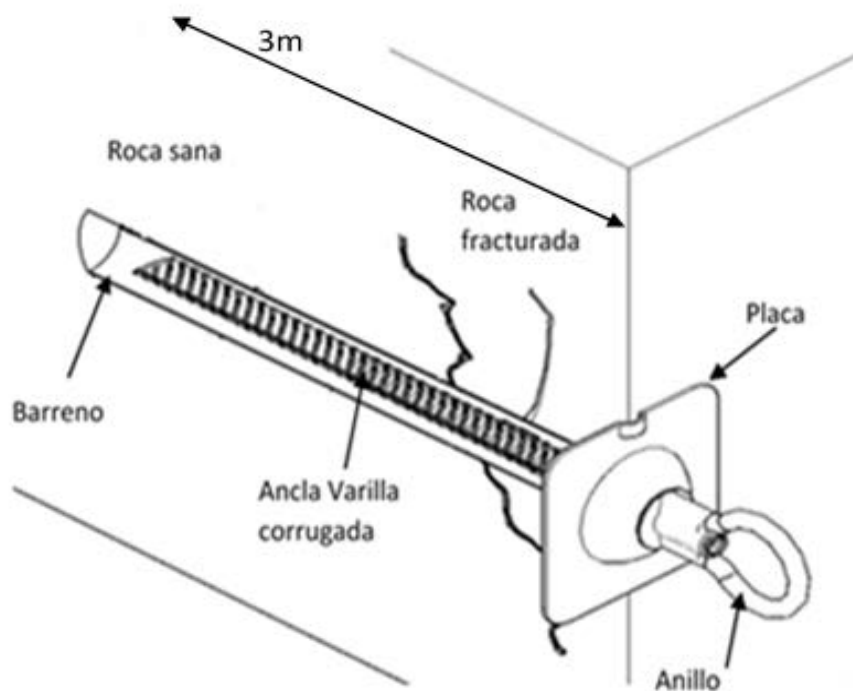
7

Figura 29: Zanco para ancla split set

¹² Disponible en: <http://www.rockbolt.com.mx/productos/accesorios-rockbolt/111-accesorios/579-zanco-para-ancla-split-set>

Ancle de varilla

Al ser introducido el ancla de varilla corrugada dentro de un barreno (figura 30) está atravesará los diferentes estratos del macizo rocoso y se opondrá al movimiento o separación del macizo rocoso, desde la roca fracturada hasta la roca sana, amarrando así el sistema de anclaje. Para apoyar al ancla se le introducirán 15 cartuchos de bolis los cuales van en función de la longitud del barreno (3 metros), los cuales fraguaran de inmediato para quedar bien cementados junto con el ancla además de rellenar con totalidad el barreno.

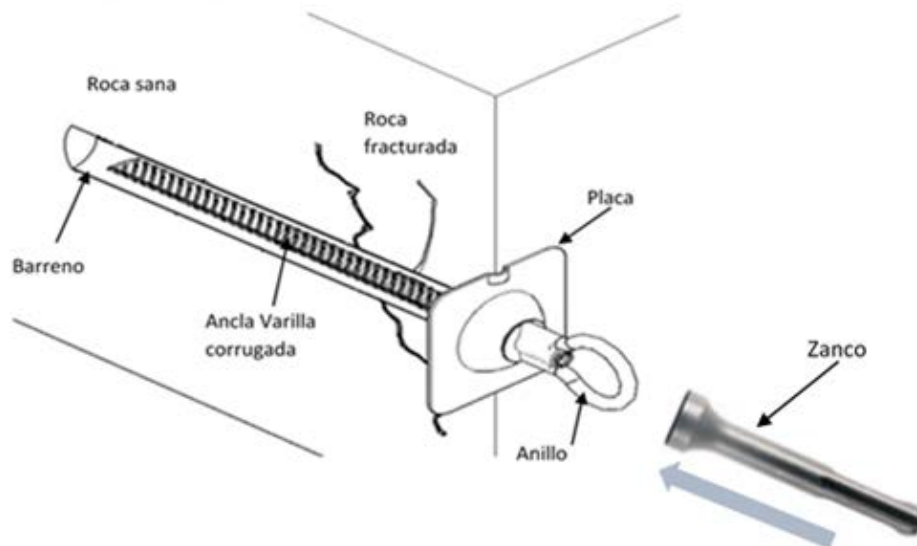


13

Figura 30: Esquema de colocación de ancla de varilla corrugada

¹³ Disponible en: <http://rockbolt.com.mx/productos/ancas-para-refuerzo-de-roca/107-ancas-para-refuerzo-de-roca/550-ancle-de-varilla-con-argolla-soldada>

El zanco sirve para la instalación del anclaje con varilla corrugada de acero (figura 31). Se coloca en la boquilla de una de las perforadoras del jumbo anclador (figura 32), modelo *Sandvik DS310*, el cual va a introducir el ancla dentro del barreno, esto con ayuda de la rotación y percusión de la perforadora.



14

Figura 31: Posición del zanco en el ancla



Figura 32: Zanco en interior mina, (Fotografía tomada en 2013)

¹⁴ Disponible en: <http://rockbolt.com.mx/productos/anclas-para-refuerzo-de-roca/107-anclas-para-refuerzo-de-roca/550-ancla-de-varilla-con-argolla-soldada>

3.2.3. Cartuchos de cemento (bolis)

Los cartuchos son de una mezcla de materiales que contiene cemento, acelerantes de fraguado (agentes químicos) y vienen en un envase de geotextil (entretela) en forma cilíndrica con terminación en punta de un extremo y en el otro con amarre circular, y al interior con estructura de acero (alma de acero) el cual sirve para entrelazar el anclaje cemento-roca. El cartucho de cemento es distribuido generalmente con 1" de diámetro, 30 cm de longitud y un peso de 195 gr. Y en cada bolsa de bolis vienen 50 cartuchos. Ver figura 33.

Estos cartuchos se sumergen en agua para que inicie el proceso de hidratación y se espera a que dejen de fluir las burbujas de aire que se liberan dentro del cartucho, una vez que se termina este proceso el cartucho cementante está listo para inyectarse neumática o manualmente dentro del barreno.



Figura 33: Cartuchos de cemento “bolis”

¹⁵ Disponible en: <http://fortminco.com/productos.html>

3.3. Enmallado

3.3.1. Colocación

La malla electro soldada se utiliza para reforzar los cielos y tablas de las obras subterráneas. Se utiliza el equipo *jumbo anclador* para colocar las mallas sobre la superficie del terreno, sin embargo, la colocación también se puede hacer de forma manual dependiendo la mina, si las condiciones y dimensiones de la obra lo permiten.

Principalmente la malla electro soldada se utiliza para reforzar el concreto lanzado y tiene como dimensiones 2.10 m de ancho y 3.50 m de longitud. Esta consiste en una cuadrícula de alambres de acero que están soldados en los puntos de intersección y las dimensiones de las cuadrículas son de 10 x 10 cm. Ver figura 34.

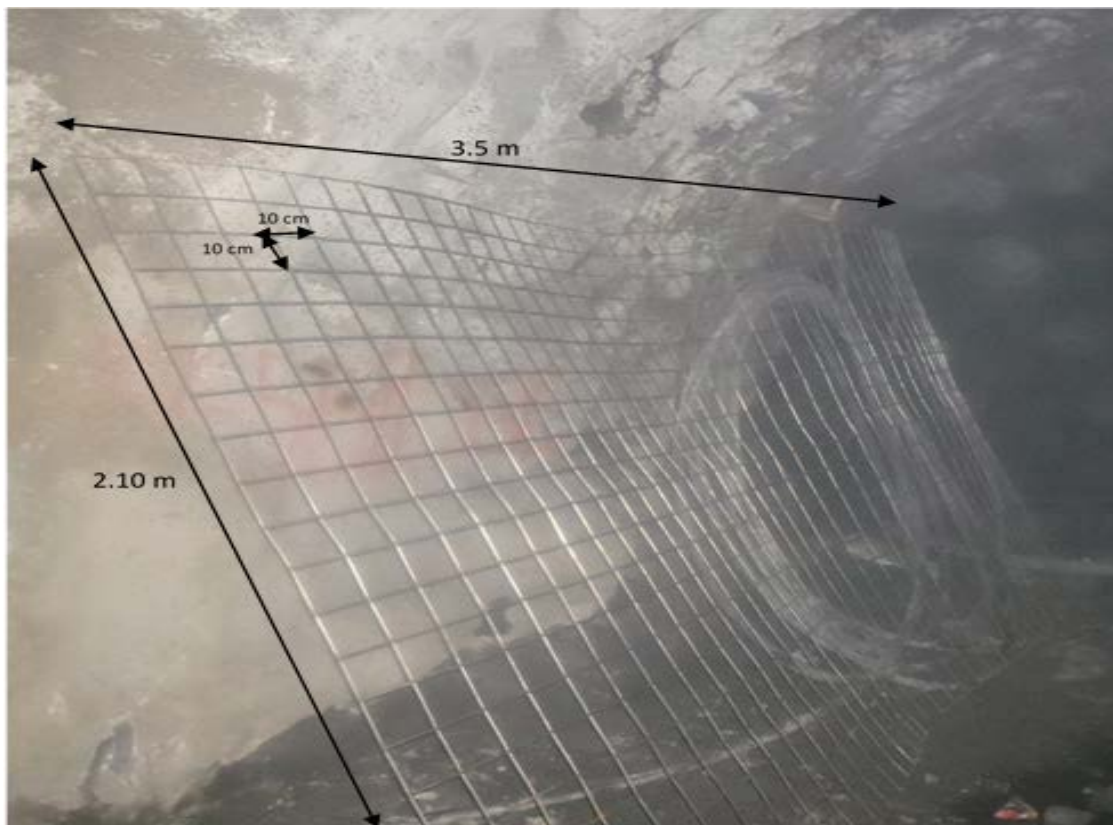


Figura 34: Dimensiones de la malla electro soldada en interior mina. (Fotografía tomada en 2014)

Se pudo observar que en esta mina el empalme de las mallas electro soldadas al colocarlas sobre la superficie de una obra subterránea es de 30 cm (figura 35), es decir a la tercer cuadrícula y el ancla va en la cuadrícula intermedia, que es el segundo cuadro, esto para aprovechar los esfuerzos del ancla junto con las mallas además de que por las dimensiones de la placa de soporte (15x15cm) sujeta la malla por todos los extremos.

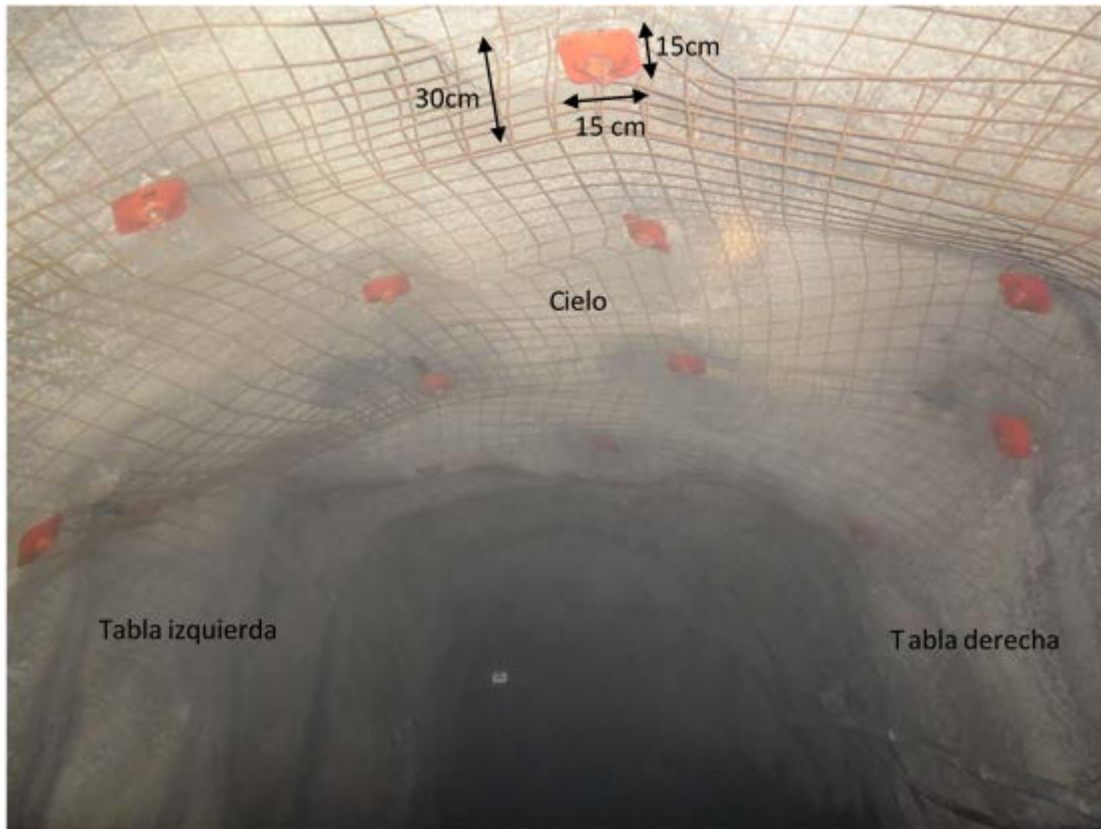


Figura 35: Empalme de mallas electro soldadas. (Fotografía tomada en 2014)

Equipo

Jumbo Anclador Sandvik DS310

Este equipo se utiliza para la fortificación de minas subterráneas y su principal función es anclar y enmallar las zonas que lo requieran (figura 36), teniendo como resultado una obra segura. El jumbo anclador DS310 es totalmente mecanizado y su sistema es electro-hidráulico.

La cabina del operador tiene un espacio amplio para que este manipule el equipo sin problema alguno y así se pueda concentrar en su labor a efectuar además de estar siempre protegido por el capacete de seguridad el cual soporta un peso de 6 toneladas. La pluma telescópica permite trabajar hasta en alturas de 7.4 metros. Es un proceso de automatización por lo cual el anclaje y enmallado de las obras serán lo suficiente fortificadas con calidad.

Este jumbo anclador tiene una longitud de 11 m, un ancho de 3.2 m con los pistones postrados en el piso, una altura de 2.10 m y puede alcanzar una máxima en 3.10 m con el capacete a su máxima altura, de acuerdo a las especificaciones técnicas del manual *Sandvik mining and construction*.

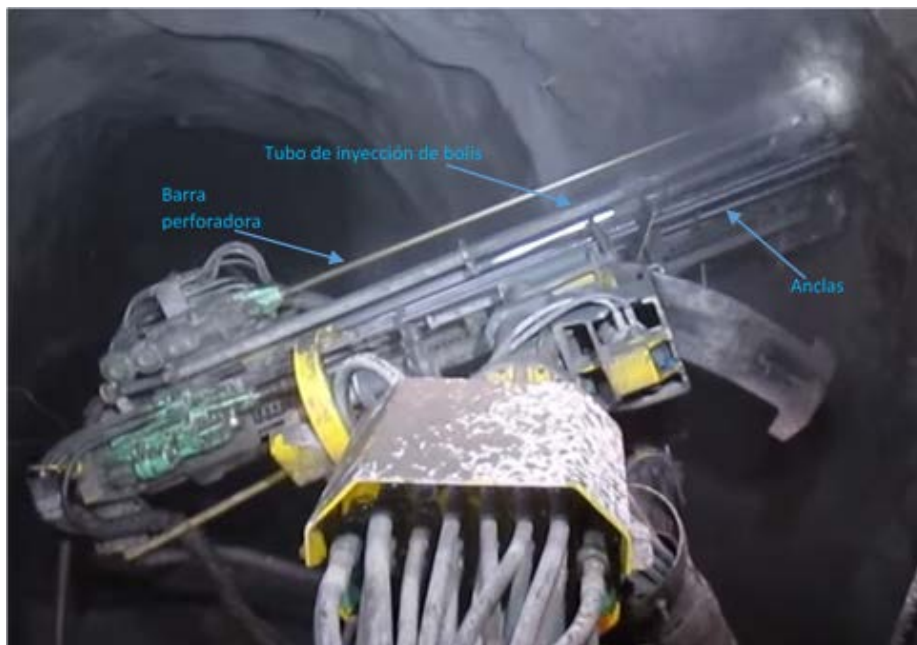


Figura 36: Imagen del jumbo anclador en interior mina. (Fotografía tomada en 2013)

Capítulo 4

Criterios aplicados para el soporte de obras en escenarios observados durante la experiencia profesional

- 4.1. Escenario 1: Concreto fracturado
- 4.2. Escenario 2: Rampa sin soportar
- 4.3. Escenario 3: Acceso sin soporte alguno
- 4.4. Escenario 4: Anclaje de polvorín
- 4.5. Escenario 5: Rampa con falta de soporte

4. Criterios aplicados para el soporte de obras en escenarios observados durante la experiencia profesional

4.1. Escenario 1: Concreto fracturado

En diversos recorridos por la mina me pude dar cuenta de las diferentes problemáticas que se pueden presentar después de soportar una obra. En este escenario después de poblar al equipo *Scoop Tram* para rezagar un rebaje de la mina (figura 37) se analizó que en el hombro izquierdo el concreto lanzado estaba fracturado y se observaban varias costras de concreto en el piso (50 x 50 cm) generando una condición insegura; por lo que se procede a retirar con una barra de amacice toda al área fracturada. Al momento de retirar, más costras de concreto se desprendieron, concluyendo que el concreto no estaba bien adherido al terreno, generando una condición insegura latente.



Figura 37: Concreto fracturado en el hombro izquierdo de la obra minera. (Fotografía tomada en 2013)

Para continuar con el ciclo fue necesario desviar a un *Scoop Tram* de su actividad primaria para que retire el concreto del piso de la obra y al analizar en base a los planos estructurales, no existía alguna falla, zona de fracturas ni filtración de agua, y de acuerdo al resultado del RMR, la calidad de roca estaba determinada como regular, por lo que se reevalúo la nueva colocación del concreto.

Por la baja cantidad de concreto que se iba a requerir para zarpear, por la altura del rebaje (3m) no se expondría al personal, por la buena ventilación que había en lugar ya que existía un contrapozo cerca del lugar, por la rápida recuperación del lugar para la extracción del mineral y con el apoyo del índice Q de Barton, se llegó a la conclusión de realizar la nueva colocación del concreto lanzado por el método de vía seca y así en poco tiempo la obra soportaría las fuerzas actuantes sobre ella, para continuar con el ciclo de operación. Ver figura 38.

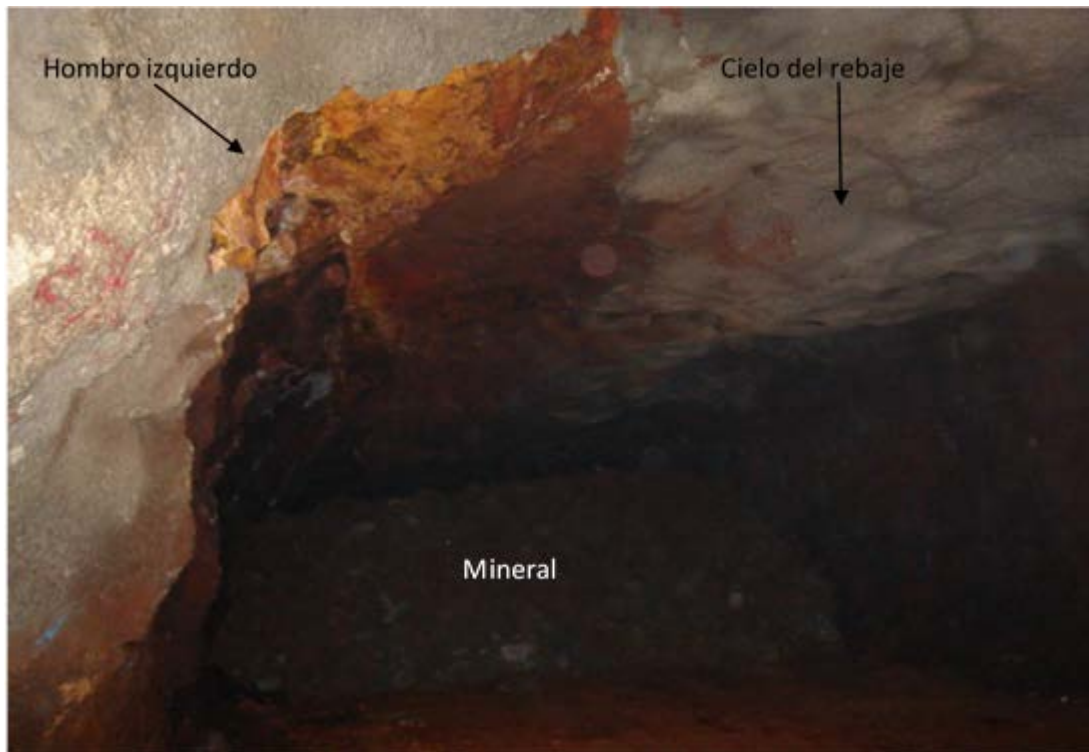


Figura 38: Vista de rebaje terminado de retirar el concreto fracturado. (Fotografía tomada en 2013)

Ya una vez zarpeado, la condición insegura se eliminó para que el operador realizara su actividad de rezagar el mineral. Es importante la producción diaria sin embargo es más importante hacerlo de una manera segura y responsable.

4.2. Escenario 2: Rampa sin soportar

En recorrido por la mina se observó otra problemática en un rampa de desarrollo, la cual es muy transitada por personal y por equipos pesados (*Scoop Tram, Jumbo*), y en la inspección solo estaba encalada (agua con cal lanzada sobre una superficie) por lo cual era fácil detectar los caídos de roca por la diferencia de color en las tablas y cielo de la obra ya que la roca de este yacimiento es de color oscuro. Ver figura 39.

Al regresar a la rampa se observó que en el mismo sitio había más desprendimientos de roca por lo cual era imprescindible tomar medidas para eliminar estas condiciones inseguras por lo que se procede a dar indicaciones de retirar los servicios que estaban colocados en las tablas y posteriormente ejecutar el soporte de la obra. Se analizó la situación con mecánica de rocas y con apoyo del plano estructural se observó que no había fallas que pasaran por el lugar, no había fracturamiento del macizo rocoso, no había presencia de agua y la clasificación del macizo rocoso daba como resultado regular.



Figura 39: Rampa de desarrollo sin soporte alguno. (Fotografía tomada en 2014)

La altura de la rampa era de 4 metros, la cantidad de concreto lanzado que se iba a requerir era alta por la gran superficie de terreno a cubrir, el lugar estaba ventilado por contrapozos cercanos, y al ser una obra de desarrollo debe estar segura para el libre tránsito (figura 40). Por lo anterior se tomó la decisión de zarpear toda el área por el método de vía húmeda con apoyo del *Alpha 20*, ya que no se expondría al personal al realizar el zarpeo y no generar polvo, además de tener gran rendimiento de lanzado por hora, y con el apoyo del índice Q de Barton, por ser un macizo rocoso de calidad regular, con el zarpeo tendría el soporte ideal para continuar con el desarrollo de la mina.

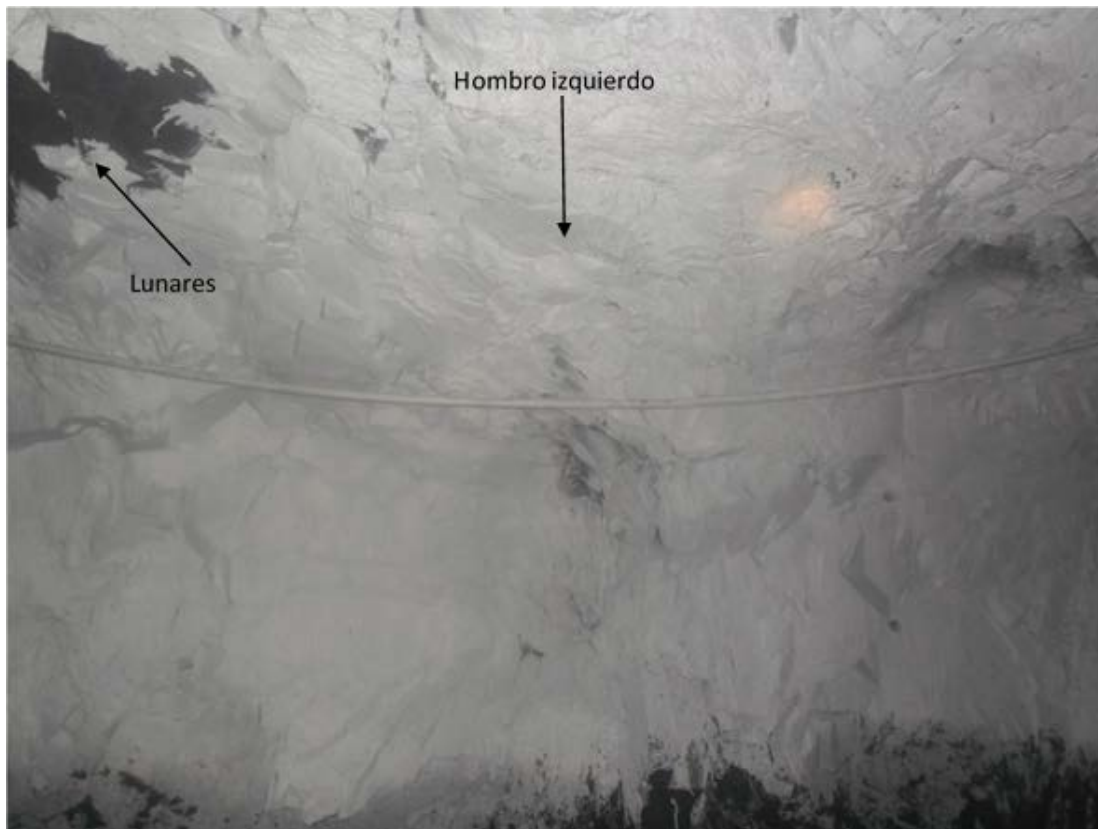


Figura 40: Vista de hombro izquierdo de la obra. (Fotografía tomada en 2014)

Se continuó observando la obra durante los días siguientes (figura 41) para verificar que el soporte hiciera su trabajo y efectivamente no se suscitó ninguna fisura o desprendimiento de concreto lanzado en las tablas y cielo de la obra por lo que el lugar quedó en condiciones seguras. Otra forma de verificar, es colocando un sistema de monitoreo, pero en la mina no se tenía este proceso.



Figura 41: Problemática corregida de la obra. (Fotografía tomada en 2014)

Hay que corregir las problemáticas que se observan, ya que al realizarlo se logra que los lugares sean más seguros y una mina segura es una mina productiva.

4.3. Escenario 3: Acceso sin soporte alguno

En el acceso hacia un rebaje (figura 42) se observó que el lugar no estaba soportado, solo estaba en calado y al tratarse de una obra de entrada hacia un rebaje es de suma importancia que esté soportado hasta donde se presente el mineral ya que se pivotarán varios cortes y por consiguiente el acceso debe estar bien fortificado, para que no se vea interrumpido el sistema de explotación y extracción del mineral.

Se comenzó a planear y ejecutar las acciones necesarias para soportar el acceso. Se dieron las indicaciones de retirar los servicios de agua y aire que estaban en la parte del hombro izquierdo de la obra y el cable eléctrico que estaba en el hombro derecho.



Figura 42: Acceso sin soporte alguno. (Fotografía tomada en 2013)

Con el apoyo de los planos estructurales se observó que la obra al ser de desarrollo es en material estéril, en este caso roca caliza, además de que la clasificación del macizo rocoso daba como resultado regular. En un área del cielo del acceso se observaban unas fallas, además había poco fracturamiento de la roca y no había presencia de filtración de agua, ni desprendimiento de roca. Por lo cual debía tener un soporte adecuado hasta finalizar la extracción del rebaje.

La altura del acceso era de 3.5 m, la cantidad de concreto a utilizar era alta por la superficie a cubrir, la obra sería temporal hasta explotar el mineral y había poco flujo de ventilación. Por lo cual debía tener un soporte ideal para no perder la explotación del mineral y no se vea afectada la producción diaria. Con apoyo del índice Q de Barton, se llegó a la decisión de zarpear toda el área con ayuda del *Alpha 20* esto para no exponer al personal y por el rendimiento que se tiene por hora de concreto lanzado, además de no generar polvo y se forme aire viciado por la poca ventilación. Anclar con split set por ser obra temporal y generar resistencia al posible movimiento del macizo rocoso. Fortificar con malla los hombros y cielo del acceso donde se presentaban las fallas para tener un mayor soporte en la obra. Ver figura 43.

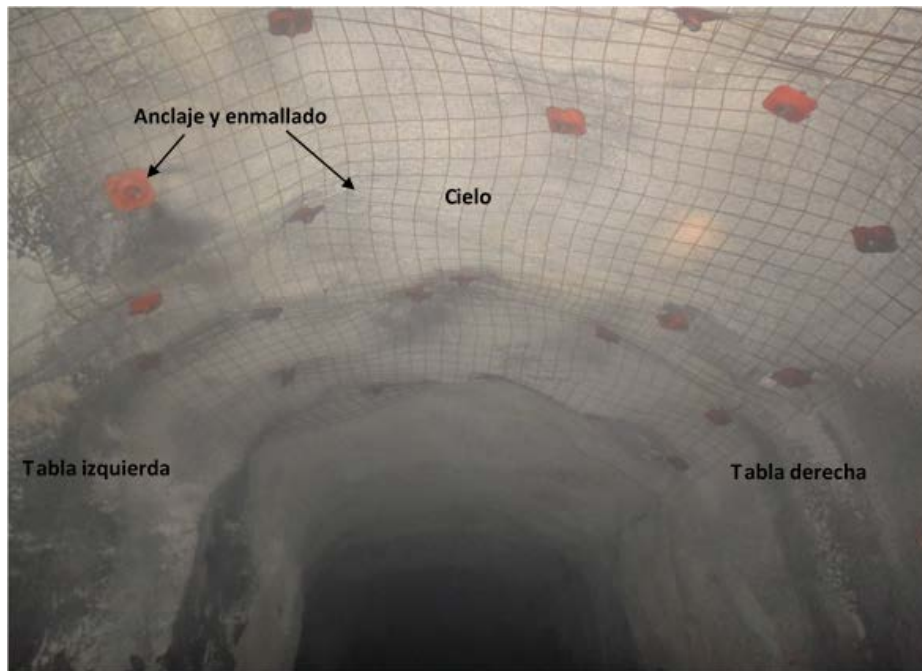


Figura 43: Acceso zarpeado, anclado y enmallado. (Fotografía tomada en 2013)

Al concluir las acciones se continuó observando el acceso y no aparecieron condiciones inseguras como fisuras en el concreto lanzado, desprendimiento de la malla, por lo cual el acceso estaba seguro para continuar con la explotación del rebaje.

4.4. Escenario 4: Anclaje de polvorín de artificios

Se pretendía acondicionar un polvorín para artificios (noneles, cañuelas) de acuerdo a la NOM-008-STPS-1993¹⁶ en el interior de la mina, por lo cual se procede a inspeccionar el lugar y se observó que al final de la obra existían 2 fallas que al intersectarse formaban una cuña. Se analizó si la zona era adecuada para tal fin y con el apoyo de planos estructurales se observó que en el sitio no había desprendimiento de roca, ni filtración de agua, no había fracturamiento y de acuerdo al resultado del RMR, la calidad de roca estaba determinada como regular.

Se consideró que el polvorín estaba en una ubicación intermedia de las diferentes obras de la mina por lo que el abastecimiento sería rápido y no se vería interrumpido por tránsito de vehículos, el lugar estaba bastante ventilado por la existencia de un socavón intermedio que ya no se utiliza. Por lo cual se decidió zarpear por el método de vía seca, esto por la baja altura del cielo, porque no se expondría al personal y por la baja cantidad requerida de concreto lanzado y la generación de polvo no afectaría al personal. Anclar con split set perpendicularmente a las fallas para oponer resistencia al posible desplazamiento de roca y obtener un soporte ideal. Ver figura 44.

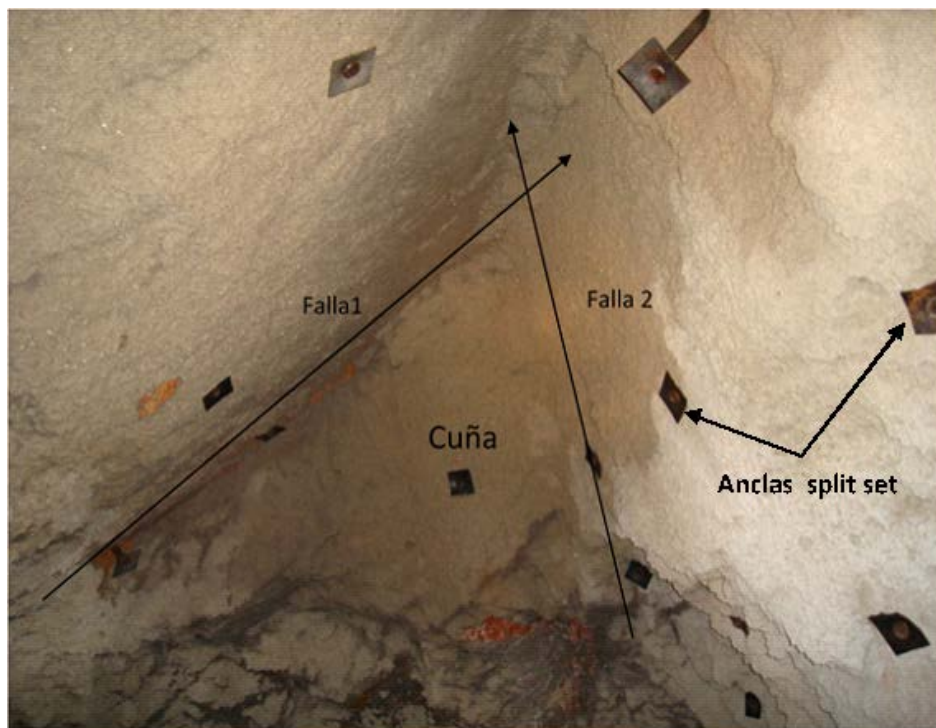


Figura 44: Fallas pronunciadas en el polvorín. (Fotografía tomada en 2013)

¹⁶ Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4943543&fecha=02/02/1999

Al término de las maniobras de soporte se observó la mala colocación de un par de anclas (figura 45), ya que aunque estaban perpendiculares a la falla no estaban pegadas a la superficie del terreno por lo que se tenían que retirar y volver a colocar para que los esfuerzos de anclaje queden distribuidos uniformemente (ver página 54).

Se continuó observando la obra por cualquier condición insegura que se pudiese generar pero el soporte fue adecuado y se pudo utilizar el polvorín de artificios sin ningún problema.

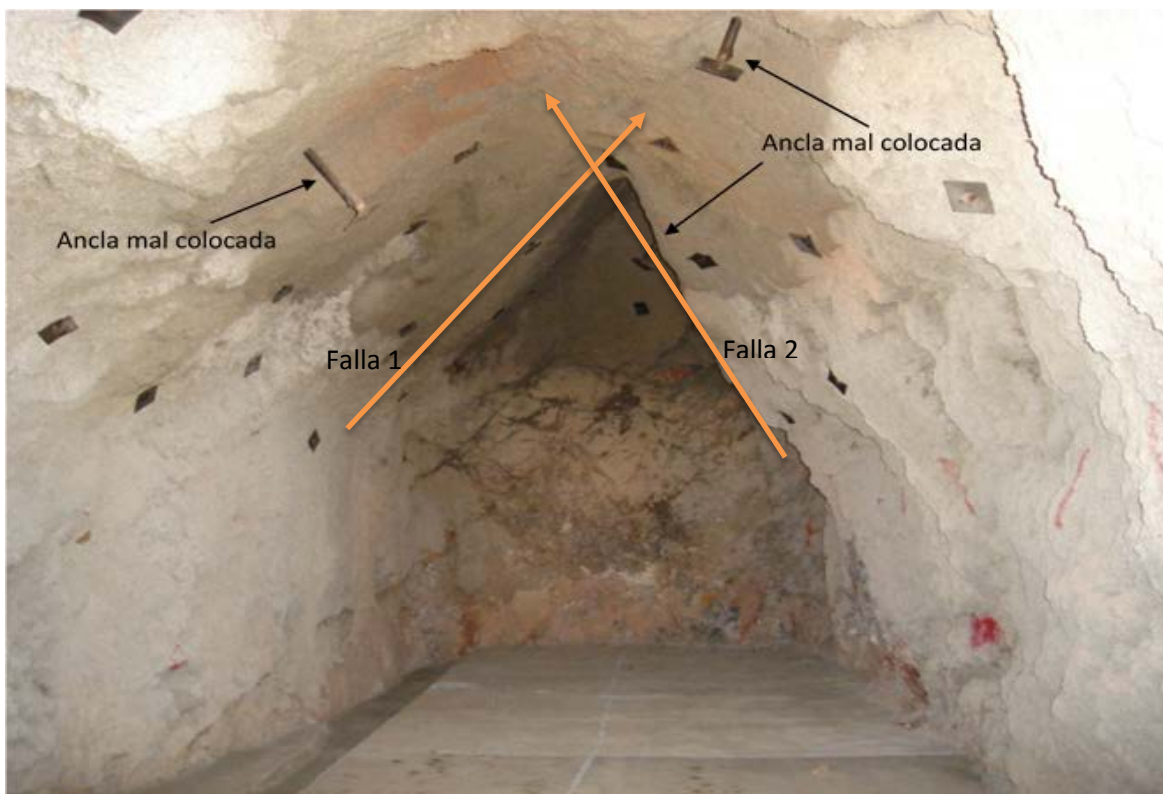
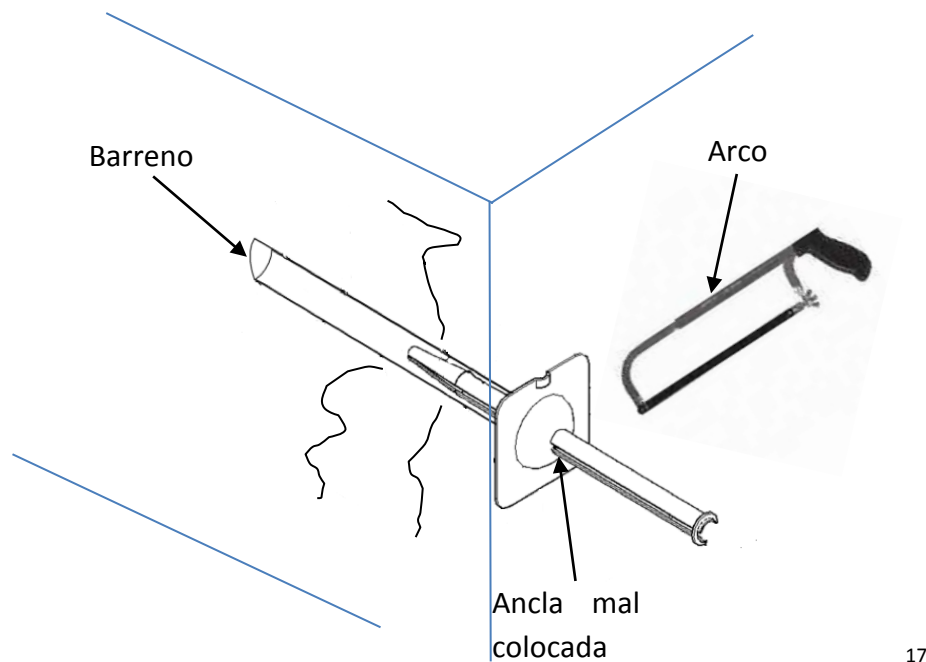


Figura 45: Polvorín soportado con zarpeo y anclaje. (Fotografía tomada en 2013)

Retiro de anclas mal colocadas

Las anclas mal colocadas (figura 46), se deben de retirar con ayuda del arco y una segueta cortando la sección del ancla lo más cercano a la superficie del terreno y la nueva ancla se debe colocar a lado de esta para que no se vea afectado el soporte de la obra. Se realiza a 5 cm de separación respecto a la horizontal y del lado derecho para tener una clara visualización y guía de la antigua ancla, además de la experiencia del operador que realice esta acción.

Para retirar anclas mal colocadas en secciones con alturas mayores de 3 metros se debe realizar con apoyo de una retroexcavadora o un *scoop tram* para obtener la altura deseada y el operador pueda maniobrar fácilmente además de siempre estar amarrado a una línea de vida.



17

Figura 46: Retiro de anclas mal colocadas

¹⁷ Disponible en: <http://www.rockbolt.com.mx/productos/accesorios-rockbolt/111-accesorios/576-zanco-tipo-dolly-para-ancla-split-set>

4.5. Escenario 5: Rampa con falta de soporte

En una rampa de desarrollo con dimensiones de 4 x 4.5m de ancho y altura respectivamente se procede a la actividad habitual del supervisor y como se observa en la figura 47 la obra ya estaba marcada y el *Jumbo* posicionado para empezar la barrenación. La obra ya tenía 12 metros de avance sin ningún tipo de soporte y el RMR estaba clasificado como regular y por seguridad en esta mina no se podían tener esas longitudes sin soporte alguno. Por ser obra de desarrollo debe de asegurarse su avance, ya que de estas obras depende la vida de la mina.

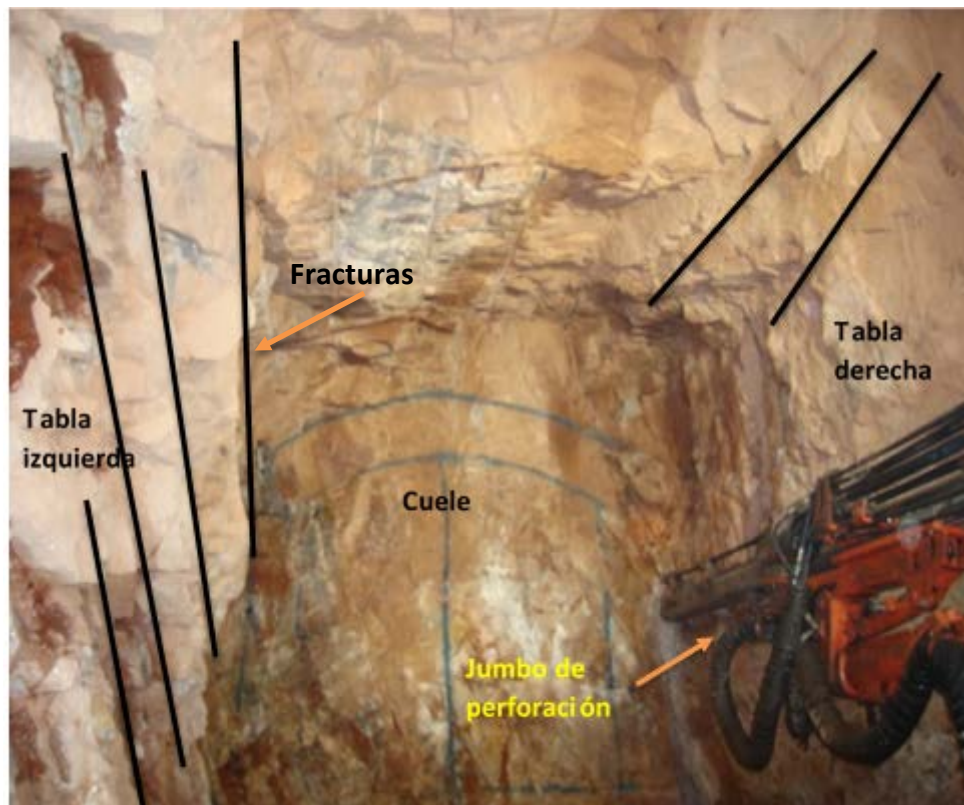


Figura 47: Rampa sin soporte alguno en roca caliza fracturada. (Fotografía tomada en 2013)

Se dio la indicación de retirar el *Jumbo* de la zona y como equipo multidisciplinario se platicó con el personal de geología, seguridad y operación para llegar al mejor plan de acción. Al analizar los planos estructurales se observó que por el lugar no pasaban fallas que tuvieran algún impacto en la estructura de la obra, no había presencia de agua y que el fracturamiento era moderado.

Por la altura de la obra (4.5m), por la poca ventilación, por la gran cantidad de concreto lanzado que se iba a requerir, por seguridad del persona y con apoyo del índice Q de Barton se llega a la conclusión de zarpear por el método de vía húmeda utilizando el equipo *Alpha 20*, así no se expondrá al personal de una caída de roca y no se generará polvo por el poco flujo de ventilación. Anclar con split set por que las condiciones estructurales no tienen impacto en la estabilidad del terreno y se opondrá al movimiento de la roca. Así la rampa es segura para el libre tránsito. Ver figura 48.

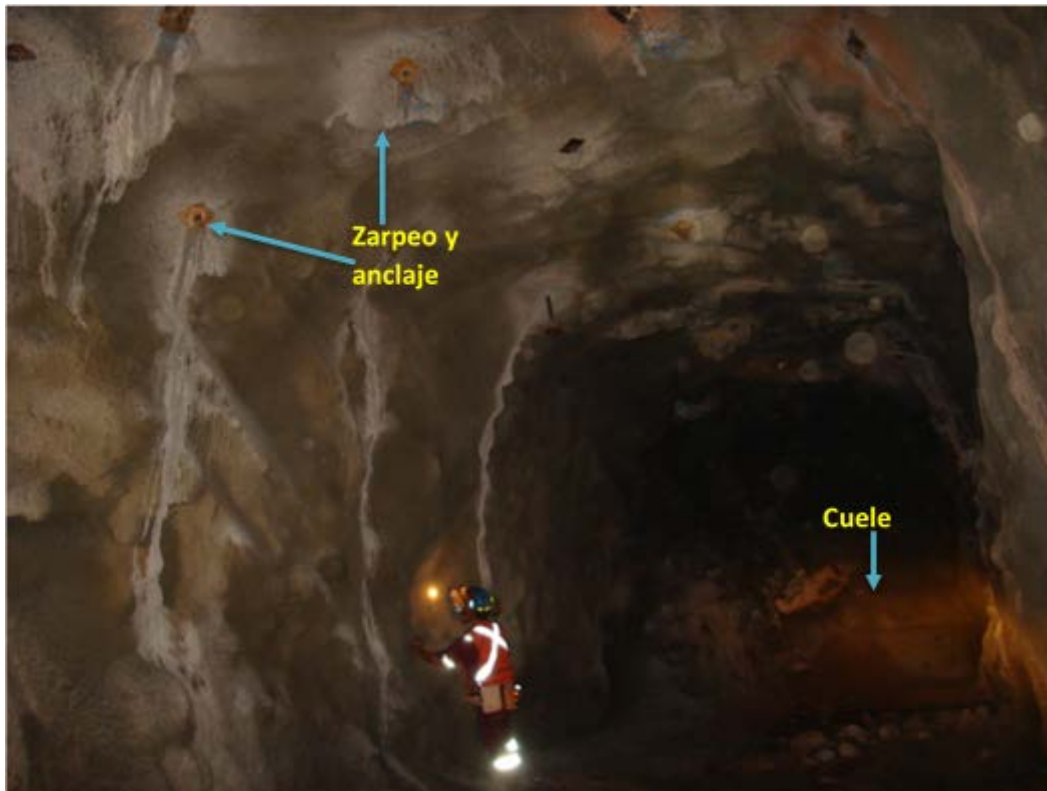


Figura 48: Rampa soportada con zarpeo y anclaje. (Fotografía tomada en 2013)

Un punto importante que se puede ver en la figura 49 es que una ancla quedo mal colocada y se procede a retirarla como se indica en la página 54. Se continuó observando la rampa y no se presentaron condiciones inseguras.



Figura 49: Rampa soportada para seguir con el avance. (Fotografía tomada en 2013)

Es importante mencionar que el orden y limpieza en las áreas es crucial para el correcto desarrollo de las operaciones, cuidando con ello al personal y los equipos. Algunas observaciones realizadas durante el desarrollo profesional se pueden apreciar en el Anexo.

Capítulo 5

Conclusiones

5. Conclusiones

Durante la experiencia profesional como supervisor me pude dar cuenta de las diferentes formas de trabajar el soporte en mina subterránea, el cual está en función de diferentes factores, como lo es el yacimiento mineral, calidad del macizo rocoso, los minerales que se extraen, el método de explotación, producción por día, equipos que se tienen para el sostenimiento.

Este trabajo proporciona los criterios a considerar para el sostenimiento en las diferentes minas subterráneas y que el lector tenga bases fundamentadas que le puedan servir para ampliar sus conocimientos, tener un amplio criterio y sobre todo aplicarlo a su lugar de trabajo.

El tipo de soporte para las obras mineras, está en función de los criterios geológicos estructurales como lo son la calidad del macizo rocoso, fallas estructurales, fracturamiento y desprendimiento de la calidad de roca, presencia de agua, intemperismo. También los criterios operativos, como saber la función y periodo de tiempo de la obra, alturas de las áreas de trabajo, sitios ventilados, equipos que se requieren para la instalación del soporte, transito de equipos que pasa por el lugar, distancias entre los lugares a soportar. Criterios técnicos como saber las características de nuestros elementos de soporte, para que estos sean los adecuados para fortificar los diferentes esfuerzos de compresión del terreno, además de determinar si se colocará un soporte temporal o permanente. Con base en lo escrito se analiza cuál es el sostenimiento ideal para las diferentes obras en la mina y no se vea interrumpido la operación de minado.

Se deben corregir siempre las problemáticas en el momento y darle seguimiento, ya que una mina segura es una mina productiva y el personal que labore se sentirá comfortable en su área de trabajo.

Capítulo 6

Recomendaciones

6. Recomendaciones

Al entrar a las diferentes obras de la mina subterránea siempre hay que observar detenidamente toda el área y amacizar siempre ya que es prioritario para la seguridad de nosotros y del personal. Saber con exactitud la función de la obra, ya sea temporal, corto plazo o permanente, para tener un criterio de soporte ideal para cada tipo de obra.

Tener una excelente comunicación con el anterior turno y con el siguiente, para que todos estemos enterados de las diferentes acciones que se lleven a cabo y no dar información errónea que pueda perjudicar en la explotación como al personal.

Dar pláticas de seguridad al personal en base al soporte de las diferentes obras, dar a conocer la planeación que se llevará a cabo en la mina para que todos estemos informados. Además de informar siempre con la verdad y dar confianza al trabajador.

Dejar los lugares marcados, marcar el mineral, el tepetate, los caminos de rezagado. Que se observe que hay personal que tiene una visión amplia de las labores que se estén efectuando.

Como supervisor es imprescindible tener un amplio criterio del soporte en cada obra, saber cuál es la función de cada elemento de sostenimiento. Aunque el soporte que se haya efectuado sea el ideal es necesario siempre darle seguimiento y si después de algún tiempo éste se ve afectado corregirlo inmediatamente para tener un lugar de trabajo limpio y seguro.

Hacer buen uso de los materiales que se utilizan para el soporte, por ejemplo, que el concreto lanzado sea el indicado, que las anclas sean las necesarias para el soporte y que estén bien colocadas, que las mallas estén bien adheridas a la superficie del terreno y no se tengan que colocar más. Todo con el propósito de cuidar el costo de la operación, ya que como ingenieros hacemos buen uso de la economía de la mina.

Referencias

BARTON,N.(2000). *“El sistema Q para la selección del sostenimiento con el método noruego de excavación de túneles”*. En ingeotúneles, vol.3. Cap.3. Ed. López Jimeno. Entorno Gráfico, Madrid.

BIENIAWSKI, Z.T. (1979). *“The geomechanics classification in rock engineering applications”*. Proc. 4th Int. Conference on Rock Mechanics. Montreaux. Balkema, vol 2

GONZÁLEZ DE VALLEJO Luis I., FERRER Mercedes, ORTUÑO Luis, OTEO Carlos. *“Ingeniería Geológica”*, Pearson Educación, Madrid, 2002.

GONZÁLEZ CUEVAS Oscar M., FERNÁNDEZ VILLEGAS Francisco Robles, *“Aspectos fundamentales del concreto reforzado”*, Tercera edición, Limusa, Noriega Editores, México, 1995.

HOEK E.D.,*“Excavaciones subterráneas en roca”*, Mc. Graw Hill, primera edición, MÉXICO, 1985

LOPEZ A. Víctor Manuel, *“Fundamentos para la explotación de minas”*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2008.

Manual operativo Alpha 20.NORMET, TUNELES&MINAS, 2015.

Manual operativo SIKA Industrias, 2015.

S. LEWIS Robert, *“Elements of Mining”*, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., EUA, 1964.

Fuentes de internet

- https://www.camimex.org.mx/files/4113/6029/5478/21_-_2.pdf
- [https://www.academia.edu/942863/manual general de minería y metalurgia.](https://www.academia.edu/942863/manual_general_de_miner%C3%ADa_y_metalurgia)
- <http://es.slideshare.net/psicologo88/malla-de-perforacion-split-set>

Anexo

Orden y limpieza

El desorden y la falta de aseo en los lugares de trabajo, los transforma en sectores peligrosos, sucios, desagradables, poco atractivos e incómodos. El permitir que se mantenga este ambiente de trabajo tiene un costo alto, ocasiona accidentes, incendios, y desperdicios, lo que retroalimenta muy negativamente la cultura de seguridad.

Orden: colocación de las cosas en el lugar que les corresponde.

Limpieza: aseo de lugar o cosa, dejándolo libre de desechos y elementos inapropiados.

Se recomienda que sea un lugar funcional donde los materiales que se necesiten estén al alcance. Demorarse en encontrarlos contribuye al deterioro del estado de ánimo y consume las energías que se necesitan para el trabajo.

Efectos del orden y limpieza en seguridad:

- Reduce tiempo de incidentes y accidentes.
- Reduce riesgo de enfermedades.
- Reduce el riesgo de incendios.

Efectos del orden y limpieza en funcionalidad:

- Amplia el espacio para laborar de los trabajadores.
- Evita pérdidas de tiempo, porque se elimina la búsqueda de herramientas y materiales a necesitar.
- Reduce distracciones y contribuye a mantener el nivel de atención.
- Favorece el control de materiales.

Efectos del orden y limpieza en productividad:

- Facilita el trabajo, porque hay mayor eficacia y eficiencia.
- Mayor calidad y cantidad de producción debido al ordenamiento y la eliminación de desperdicios.
- Un mejor aspecto del lugar predispone positivamente al trabajo.
- Se eleva la moral del trabajo del personal y así ellos se interesan más por su trabajo.

En las diferentes obras de la mina subterránea se observaba que los materiales utilizados para alguna actividad ya sea en un desarrollo, rebaje, sostenimiento no tenían un sitio ni un orden para tenerlos acomodados cuando estos se utilizaran.

En la figura 50 se puede observar la perforadora sin acoplar al pistón de avance, las anclas split set apoyadas en la tabla, una bolsa de cartuchos de cemento, y rezaga sobre el piso por lo cual se puede verificar que no hay un orden y limpieza ya que los materiales no están en un lugar adecuado para su uso.



Figura 50: Equipo y materiales desordenados. (Fotografía tomada en 2014)

En la figura 51 se puede observar un pedazo de struck pack en el piso, la malla electro soldada de igual manera, restos de un caja de cartón referente al explosivo, cascaras de naranja y el piso con rezaga.



Figura 51: Materiales desordenados. (Fotografía tomada en 2014)

Al analizar estos detalles en la mina se tomó la decisión de platicar con el equipo de supervisores para tomar acciones correctivas respecto al asunto y en poco tiempo tener con orden y limpieza todas las áreas de la mina. Se recomendó hablar con el personal para que ellos tuvieran conciencia de los hechos que estaban ocurriendo, por lo cual se empezó a dar platicas de seguridad en cuestión de orden y limpieza además de mostrarles las fotos para así todos actuar y obtener como resultado una mina limpia, segura y con las condiciones para trabajar.

Se empezó a promover el uso de tarangos como se muestra en la figura 52 en los diferentes lugares de trabajo ya sea en rebajes, como en desarrollos, esto con el propósito de tener todos los materiales que se utilicen acomodados y también para que estén a una distancia cerca de la obra y así no estén tirados en el piso o recargados en las tablas de la obra.

Un tarango se instala solo haciendo dos pequeños barrenos de 60 cm de longitud a 1 metro de altura del piso y separados por 1 m, ya estando los barrenos se instalan anclas “L” de varilla de acero dentro de los barrenos y así ya tenemos un lugar para colocar las herramientas a utilizar.



Figura 52: Uso del tarango en interior mina. (Fotografía tomada en 2013)

Líneas de servicios

Otro aspecto que se notó en la mina es el uso de las líneas de servicios que estuvieran correctamente colgadas en la tabla que les corresponde. Las líneas de aire y de agua siempre van en el hombro izquierdo de la obra y la línea eléctrica va en el hombro derecho. Estas líneas de servicios siempre van colgadas en las anclas y sin que se deje holgura para evitar que algún equipo al transitar raspe o dañe el struck pack en el caso del agua y aire y en el caso eléctrico que ocurra algún incidente.

Cada que se avance una obra ya sea rebaje, desarrollo o preparación es importante decirle al perforista que realice barrenos en los hombros de la obra a una altura de 2.5 m y cada 3m de separación, esto con la finalidad en que como valla avanzando la obra también vullan avanzando los servicios y estos no queden tirados en el piso además de tener los servicios a una distancia cercas de la obra. En la figura 53 se puede observar todas las líneas de los servicios en el suelo dando un aspecto desagradable además de poderlas dañar si un equipo transita por el lugar.



Figura 53: Líneas de servicio mal colocadas. (Fotografía tomada en 2012)

Al analizar estos aspectos se platicó con el personal para que todos tengamos conciencia de colgar los servicios en todas las áreas donde se vieran estos problemas impartiendo la responsabilidad de que una mina con los servicios en orden nos ayuda a tener un camino más limpio además de tener los servicios a la mano cuando se necesiten.

En la figura 54 se observa que después de quedar de acuerdo con la supervisión y de dar las pláticas con el personal se puede ver el cambio en las diferentes obras de la mina. Por ejemplo se puede ver como los servicios están correctamente acomodados arriba de las anclas y así cuando transite un equipo estos no dañen los servicios, y mostrar una apariencia agradable.



Figura 54: Líneas de servicio colocadas correctamente. (Fotografía tomada en 2012)