

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE FORTIFICACIÓN A LA GALERÍA  
PRINCIPAL DE LA MINA BLANCO III, LOS VILOS**

Trabajo de Titulación para optar al  
Título de Técnico Universitario en  
MINERÍA Y METALURGIA

Alumno:

Javier Palacio Ibacache

Valeria Vergara Hantsch

Profesor Guía:

Ing. Marcelo Eduardo Rojas Vidal

**2019**

## DEDICATORIA

*Dedico esta Tesis a mis padres que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional. El amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban mis padres por mi avance y desarrollo de esta tesis. Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes; he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio parecía interminable.*

*A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este momento se haga realidad. Gracias a todos por el compañerismo, amistad y apoyo moral que han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir y finalizar este ciclo.*

*A los profesores que me brindaron la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo. A todos ellos que me han dado la oportunidad de ayudarme para llegar a este punto.*

*Y en estos momentos solo llego a escuchar esta canción en mi mente al estar tan cerca del final.*

*&quot;And now, as tears subside, I find it all so amusing&quot; (Y, ahora que cesan las lágrimas, encuentro todo tan divertido)*

*&quot;To think, I did all that, and may I say, not in a shy way&quot; (Pensar que yo hice todo eso y, permítanme decirlo, sin timidez)*

*&quot;Oh no, oh no not me, I did it my way&quot; (Oh no, oh no yo no, yo lo hice a mi manera)*

*Javier Palacio Ibacache*

*“Para qué correr, si se puede caminar con la seguridad de no caer”*

*Valeria Vergara Hantsch*

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** Fortificación - Bieniawski - Macizo Rocoso

Desde los inicios de la minería, uno de los problemas más grandes que se han podido registrar es la falta de seguridad en las faenas. Esto se ha podido evidenciar con cifras de accidentes no menores que han sido a causa de malos procedimientos realizados al interior de las minas, y otro gran porcentaje por caída de rocas por la falta de fortificación o una mala implementación de ésta.

El presente trabajo de título, tiene como objetivo realizar una propuesta de fortificación adecuada y apta para las condiciones del macizo rocoso de la mina Blanco III, una mina que no cuenta con ningún tipo de seguridad en el ambiente laboral ya que carece de sistema de fortificación, aún cuando en 2010 se registró la caída de una roca de gran magnitud en su galería principal.

El primer capítulo da a conocer la descripción de la zona de la mina entre otras generalidades de la misma. A su vez se definen diferentes tipos de fortificación, haciendo un hincapié en el sexto capítulo del Decreto Supremo 132.

El segundo capítulo será enfocado en los parámetros geomecánicos de la galería de la mina y sus antecedentes técnicos como lo son las dimensiones y las características de su mineralización para luego desarrollar un RMR.

Por último, en el tercer capítulo, se sugerirá la opción más idónea del método de fortificación que se debiera emplear para el macizo rocoso de la galería principal, respecto a lo estudiado en los capítulos anteriores, resultado del RMR y el conocimiento obtenido.

## SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

### A. SIGLAS

SERNAGEOMIN : Servicio nacional de geología y minería

D.S : Decreto Supremo

RSM : Reglamento de seguridad minera

RMR : Rock mass rating

ISRM : Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

RQD : Rock Quality Designation

### B. SIMBOLOGÍA

CaCO<sub>3</sub> : Carbonato de calcio

cm : Centímetro

M : Metro

m<sup>2</sup> : metro cuadrado

m<sup>3</sup> : Metro cúbico

mm : Milímetro

L : Litros

Kg/cm<sup>2</sup> : Kilogramo por centímetro cuadrado

Mpa : Megapascal

Tm : Tonelada métrica

## INTRODUCCIÓN

Uno de los riesgos más importantes de accidentes en las labores mineras subterráneas, es la caída de rocas desde el techo de las galerías o de sus costados.

Es por ello, que dentro de los desafíos más importantes que enfrenta la industria minera en la actualidad, destaca la importancia de la seguridad y de resguardar la integridad física de los trabajadores, además de instalaciones y equipos, haciendo necesario establecer metodologías que permitan mejorar la estabilidad en excavaciones subterráneas. Las excavaciones mineras subterráneas, específicamente aquellas usadas para la entrada de personas y equipos, requieren de condiciones de diseño que garanticen su funcionalidad y seguridad. Para este fin, resulta indispensable el uso de sistemas de fortificación.

El presente trabajo se desarrollará en la mina Blanco (III), ésta es una mina subterránea ubicada en Los Vilos, que se dedica únicamente a la extracción de carbonato de calcio, un mineral no metálico que es vendido a una única empresa para ser utilizado en la creación de materiales cerámicas y pinturas. Dicha mina no tiene ningún sistema de fortificación, lo que resulta peligroso para los trabajadores, más aún cuando hay precedentes de caída de rocas al interior de la mina. Es por eso que nace el incentivo de crear este trabajo de título, para recomendar una fortificación en su galería principal, mejorando los aspectos de diseño y a su vez brindar un ambiente seguro para los trabajadores. Su elección debe ser considerando la necesidad de satisfacer exigencias técnicas: donde tiene que ser resistente, estable y duradera; productivas: debe ocupar el menor espacio posible; y económicas, donde el costo y gastos de mantenimiento deben ser mínimos.

Es a causa de esta problemática, que se propone un sistema de fortificación a base del sistema de clasificación geomecánico de Bieniawski, en donde según las características físicas y técnicas presentes en el yacimiento donde se asigna un valor numérico a cada uno de los cinco parámetros o criterios geomecánicos (resistencia a la compresión simple, índice de RQD, naturaleza y espaciado de las diaclasas, presencia de agua, ) que indica qué tipo o clase de macizo rocoso es de acuerdo a rangos dados por el RMR

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Determinar un sistema para fortificar la galería principal de la mina blanco III de acuerdo a las características geomecánicas del macizo rocoso

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- 1- Reconocer los diferentes medios para fortificar una mina subterránea, por medio de información bibliográfica.
- 2- Determinar las características del macizo rocoso en la galería principal en la mina Blanco III, mediante la clasificación geomecánica RMR, 1979.
- 3- Recomendar un sistema de fortificación a la galería principal de acuerdo a las características del macizo rocoso.

## **CAPÍTULO I : GENERALIDADES**

## **1. GENERALIDADES**

Para llegar al objetivo principal de este trabajo de título se empezará por dar a conocer el motivo por el cual las minas subterráneas necesitan de un sistema de fortificación óptimo para poder trabajar en condiciones dignas y seguras.

La ausencia de fortificación en una mina o una mala elección de ella, son causantes principales de accidentes ocurridos en la minería, las cuales suelen producirse por desprendimiento de rocas ya sea del techo o las paredes de las galerías. La importancia de contar con una fortificación que entregue un buen sostenimiento se debe netamente a la seguridad que representa y proporciona para el personal, sus máquinas y equipos, además de evitar derrumbes o deformaciones en las labores subterráneas.

Para el desarrollo de este capítulo hay que comenzar por describir algunos datos generales respecto a la zona de la mina, y la mina en sí y luego identificar los tipos de fortificación que se pueden encontrar en la minería subterránea.

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE LA MINA**

El socavón principal de la mina data del año 1978 y hoy en día pertenece a ENAMI, donde se arrienda a la compañía minera Grito del Zorro desde el año 2013. La mineralización está constituida principalmente por carbonato de calcio, donde además pueden encontrarse otros minerales secundarios que no son de interés de explotación, como la siderita, mica, aragonita y grafito.

#### **1.1.1 Ubicación geográfica de la mina**

La mina Blanco III, está ubicada en la ciudad y comuna de Los Vilos, perteneciente a la cuarta región de Chile, Coquimbo. Donde limita con la comuna de Petorca, Salamanca e Illapel. La geografía de la zona es muy montañosa y consta de dos cordilleras que cierran el valle por el norte y sur, la de la Costa y la de Los Andes.



Fuente: Google Earth

fig.1-1 Vista Ubicación geográfica de la mina Blanco III

### 1.1.2 Clima

El clima de la zona donde se encuentra la mina corresponde a uno estepárico cálido, donde las temperaturas promedian los 33° en primavera y verano y 1° en otoño e invierno, siendo estas dos últimas estaciones lluviosas y los meses de verano sumamente secos.

### 1.1.3 Desarrollo socio económico.

Los habitantes de este sector tienen como principal actividad económica, el turismo, gracias a su borde costero tienen muchos visitantes y turistas durante las épocas de verano. Y yendo más hacia Petorca, la actividad que se destaca es la agricultura, sobre todo el cultivo de paltas en la zona.

## 1.2 CALIZA

La caliza es la roca sedimentaria que está compuesta mayoritariamente por calcita, la que es formada por carbonato de calcio, compuesto químico de fórmula  $\text{CaCO}_3$ , muy abundante en la naturaleza, y dentro de las más comunes en la corteza terrestre. En su versión más puro es de color blanco, pero mezclado adquiere otras tonalidades como marfil, marrón hasta gris azulado.

Aunque lentamente, la caliza es soluble en aguas como las de lluvia o de río, proceso al que se le conoce como meteorización cárstica. Si se somete a altas temperaturas, da origen a la cal.

La mina Blanco III extrae esta roca, siendo de interés económico la calcita en su interior, la que es vendida para ser procesada y llevada a la creación de materiales cerámicos y pinturas.



fuelle: PIEDRASPARA

Figura 1-2. piedra caliza

### 1.2.1 Propiedades.

- Es un tipo de roca sedimentaria
- Está formada por carbonato de calcio, magnesio y potasio
- Su color puede ser blanco, negro, gris, azulado, marrón
- Su dureza según la escala de Mohs es 3
- Minerales esenciales: calcita, aragonita
- Posee gran resistencia a la meteorización.
- Es un recurso natural no renovable
- Es un roca permeable
- Produce efervescencia en ácido clorhídrico

### 1.2.2 Usos de la caliza.

Generalmente tiene sus principales usos como material de construcción u ornamental

- Producción de cemento
- Producción de cal
- Fabricación de vidrio
- Como piedra ornamental
- Fabricación de pinturas

## **1.3 INFORMACIÓN GENERAL DE LA FORTIFICACIÓN EN LA MINERÍA SUBTERRÁNEA**

Es el conjunto de procedimientos que forma un sistema de soporte que permiten mantener estable las labores asegurando los equipos y trabajadores, evitando la caída de rocas desde el techo o de los costados de las galerías, de esta forma se asegura que el sector y los equipos estén seguros dentro del espacio subterráneo. Sus principales funciones son fortalecer el macizo rocoso provocando que ésta se auto soporte, disminuyendo de tal manera el fracturamiento gradual que se produce.

### 1.3.1 Definición de fortificación

La fortificación de minas es una construcción artificial que se hace en las excavaciones subterráneas para prevenir la destrucción de las rocas circundantes y preservar las dimensiones de la sección transversal. La fortificación de minas, como una obra más de ingeniería, debe satisfacer una serie de exigencias técnicas, productivas y económicas.

Su elección debe ser tal que satisfaga exigencias técnicas, productivas y económicas..

- Exigencias técnicas:

Resistente, es decir debe estar diseñada para soportar la carga que sobre ella va a actuar.

Estable: Debe conservar su forma aún bajo la acción de las cargas.

Duradera: La vida útil debe estar en función de la vida de servicio de la excavación.

- Exigencias de producción:

Menor resistencia posible al paso del aire.

Debe ocupar el menor área posible.

Debe ser segura ante el peligro de incendios.

- Exigencias de económicas:

El costo y los gastos de mantenimiento deben ser mínimos.

La fortificación debe diseñarse de forma específica y de manera racional para cada caso en particular. En faenas mineras de corta vida, la fortificación si es necesario, será lo más sencilla como sea posible; asegurando la estabilidad de la labor.. En faenas de mayor duración, generalmente se diseñan fortificaciones de carácter más permanente.

### 1.3.2 ¿Por qué se debe fortificar?

El Reglamento de Seguridad Minera (D.S. N°132, Capítulo Sexto “Fortificación” artículo 157) indica que:

“Los trabajos subterráneos deben ser provistos, sin retardo, del sostenimiento más adecuado a la naturaleza del terreno y solamente podrán quedar sin fortificación los sectores en los cuales las mediciones, los ensayos, su análisis y la experiencia en sectores de comportamiento conocido, hayan demostrado su condición de auto soporte consecuente con la presencia de presiones que se mantienen por debajo de los límites críticos que la roca natural es capaz de soportar.”

## **1.4 CLASIFICACIÓN DE LA FORTIFICACIÓN.**

### 1.4.1 Fortificación Activa:

Son aquellos elementos que ejercen acción soportante, desde el mismo momento en que son instalado, mediante la aplicación de una carga externa sobre el macizo rocoso. Entre estos tenemos los pernos de anclaje expansivo, pernos de barra de construcción tensados y cables de acero.

### 1.4.2 Fortificación Pasiva:

Corresponde a aquellos elementos de soporte que no aplican ninguna carga externa al momento de la instalación y solo trabajan cuando el macizo rocoso experimenta deformaciones o cuando son solicitados estáticamente, marcos, mallas, shotcrete.

### 1.4.3 Fortificación combinada:

se clasifica como la combinación entre la fortificación activa y la fortificación pasiva, un ejemplo de fortificación es el sistema de shotcrete con malla y perno.

## **1.5 TIPOS DE FORTIFICACIÓN**

### 1.5.1 Fortificación con marcos metálicos

“Es uno de los sistemas más utilizados ya que el acero es uno de los elementos que mejor resiste el agresivo ambiente minero, especialmente los relacionados a temperatura, humedad, gases y agua. Además, el acero tiene dos características de gran relevancia en la minería subterránea: es un elemento incombustible y reutilizable. La unión de las piezas se puede hacer por medio de placas metálicas soldadas a los extremos de las piezas del marco, las cuales son unidas por pernos.”



fuelle: [industriaminera.cl](http://industriaminera.cl)

fig. 1-3 fortificación con marcos de acero

• Ventajas:

1. Soporta altas deformaciones.
2. Alta resistencia a los ambientes agresivos.
3. Material homogéneo con características uniformes en toda la estructura
- . 4. No inflamable

• Desventajas:

1. Disminuye el espacio útil de la galería.
2. Difícil adaptación a las irregularidades de la labor minera.

#### 1.5.2 Fortificación con mallas.

“Las mallas para fortificación de túneles están fabricadas, por alambre de acero especial de alta resistencia, en diferentes grosores, lo que permite utilizar una mayor distancia entre los anclajes. Su uso es especialmente indicado en zonas comprometidas por estallidos de rocas o donde el macizo rocoso está muy alterado y por lo tanto muy fragmentado. El alambre está protegido contra la corrosión por una aleación especial 4 veces superior al

galvanizado habitual, lo que lo hace muy útil y usado en ambientes mineros.

En minería hay dos tipos de mallas que son las utilizadas; las mallas mineras electrosoldadas y las mallas tejidas, trenzadas o de bizcocho.



Fuente: F&S minería

Fig. 1-4 Fortificación con mallas de acero

### 1.5.3 Fortificación Shotcrete.

El hormigón proyectado o shotcrete es un material transportado a través de una manguera, que se lanza neumáticamente, a alta velocidad, contra una superficie, hace que la mezcla se compacte logrando que esta se sostenga a sí misma, sin escurrir, incluso en aplicaciones verticales y sobre la cabeza.

Este sistema, relativamente nuevo y que ha tenido en los últimos años un gran desarrollo, solo o combinado con otros métodos activos de sostenimiento, da más rapidez, seguridad y menor costo a la faena.



Fuente: F&S minería

Fig.1-5 Fortificación por shotcrete

#### 1.5.4 Fortificación con madera.

Es la fortificación más usada a nivel de pequeña minería, debido a su menor costo y facilidad de manejo y colocación, sin embargo posee desventajas que la hacen no muy resistente, como que está muy condicionada a la humedad que posea, además de ser propensa a desgastarse por hongos e insectos. Los marcos de madera son la forma más representativa de “enmaderación”, los que están compuestos por tres piezas fundamentales llamadas: sombrero o viga, en posición horizontal, que se apoya en dos postes, pie derecho o vertical.



Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea

Fig. 1-6 Fortificación con enmaderación

#### 1.5.5 Fortificación con pernos y cables.

Este tipo de fortificación corresponde a una de tipo combinada, donde se utilizan los pernos y cables otorgando mucha flexibilidad con gran capacidad de soporte en macizos rocosos, lo que lo hace competente, durable y altamente resistente al aplicarlo con lechada.. De acuerdo a los requerimientos de la faena, se pueden fabricar en distintas longitudes.

### 1.6 PERNOS EN FORTIFICACIÓN

Los pernos refuerzan y aumentan la resistencia del macizo rocoso, oponiéndose a la deformación del macizo, ayudándolo a auto soportarse. Una de las principales ventajas del uso de pernos es su versatilidad, ya que pueden ser usados bajo cualquier geometría de la galería.

Dentro de la fortificación, hay diferentes tipos de pernos que pueden ayudar al sostenimiento de la roca, para su elección se debe tener en consideración el tiempo de vida útil de la labor, los grados de humedad de la roca presente en el macizo rocoso, la altura de las labores, la longitud del perno

a utilizar., etc. Algunos de los pernos más utilizados en la pequeña minería son:

#### 1.6.1 Pernos anclados por fricción

este tipo de perno se considera temporal y trabajan por fricción, esto quiere decir que trabajan en función de la resistencia al deslizamiento a lo largo de toda la longitud del tiro. la fricción ejercida por los costados del perno lo mantiene en su lugar creando fuerzas que se extienden radialmente y alcanza valores de anclaje de 1 a 1,5 ton. por cada 30.5 cm, dependiendo del diámetro de la perforación efectuada. Su desventaja es la poca resistencia al ambiente húmedo, sin embargo se destaca que es un perno de instalación simple y que además brinda una capacidad de soporte inmediata.

#### 1.6.2 Pernos anclados con resina o cemento

Estos pernos consisten en un barrote de acero o fierro, con un extremo biselado, el cual es confinado dentro del taladro por medio de cemento (en cartuchos o inyectados), resina (en cartuchos) o una combinación de ellos, usándolos como adherencia.

La resina resulta conveniente para ser utilizada en pernos que soportan grandes tensiones, el cemento también es una buena opción, pero no es muy utilizado por su costo relativamente alto.

#### 1.6.3 Pernos anclados mecánicamente

El más usado de este tipo es el perno con cabeza expansiva. Al introducir el perno en la cuña de la cabeza de expansión, ésta se expande quedando sujeta a las paredes de la roca dentro de la perforación. Se utiliza tanto en las actividades mineras con rocas medianamente duras a duras, masivas, sin presencia de agua. Se puede rellenar con cemento en los lugares en que la labor durará por mucho tiempo.

Este tipo de soporte produce una tensión de aproximadamente 3,5 toneladas y tiene una resistencia en tracción máxima de 12,5 toneladas.

## **1.7 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

Debido a la complejidad que presentan los macizos rocosos, diversos autores han intentado establecer sistemas de clasificación. Muchos de estos métodos han sido mejorados con el paso del tiempo.

El propósito de los sistemas de clasificación es calificar de manera cuantitativa la calidad geotécnica de un macizo rocoso, permitiendo la distinción entre un macizo y otro de manera rápida y fácil. Ayudan a tener un parámetro para efectos de diseño de fortificaciones. Y se basan en apreciaciones empíricas.

Hay que tener en cuenta que son subjetivos, a mayor experiencia mejor es la clasificación y siendo que estos se basan en sistema de ratings, en que se asigna un puntaje a diversas características y se calcula un puntaje final.

Algunos sistemas de clasificación:

- Terzaghi.
- RQD de Deer.
- RMR de Bieniawski.
- Método Q de Barton, Lien y Lunde.
- GSI de Hoek y Brown.

Para poder proponer un sistema de fortificación adecuado al terreno de la mina Blanco III, se debe comenzar por conocer qué tipo de fortificación existe a base de su temporalidad, funcionalidad, o su forma de sostenimiento. Ya que esto es importante para poder elegir un sistema que se acople a lo largo de la vida de la mina o si solo será por un corto periodo, si se debe ocupar una estructura más rígida que no permita el movimiento de la roca o ser más flexible para que haya leves deformaciones que alivien los esfuerzos para mejorar resistencia, ya que éstos serán instalados en la galería principal y en el socavón de entrada de dicha mina. La cual mantendrá seguro a maquinarias y a trabajadores que estén presentes en el interior laburando.

## 1.8 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (1979)

Este sistema de clasificación, también llamado RMR, consiste en una metodología de clasificación, que permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento. Un valor numérico es asignado a cada factor, de acuerdo a los rangos dados. La suma de los valores encontrados para los cinco factores indicará el tipo o clase de macizo rocoso. La suma máxima de estos parámetros es de 100. Se utiliza usualmente en taludes y en la construcción de túneles.

La clasificación RMR toma en cuenta los siguientes criterios geomecánicos que son característicos de cada macizo rocoso:

- a) Resistencia a la compresión simple de la roca intacta, es decir, el esfuerzo máximo que puede soportar el macizo rocoso bajo una carga de aplastamiento en la parte de la roca que no presenta discontinuidades.
- b) El índice R.Q.D, que es una designación a la calidad de la roca, es considerado un criterio bastante importante ya que permite seleccionar el revestimiento de los túneles. Es una recuperación modificada del testigo obtenido en un barrenos a diamante. Se basa en el porcentaje de núcleo recuperado en el que la roca se encuentra relativamente intacta. Se utiliza la siguiente fórmula:

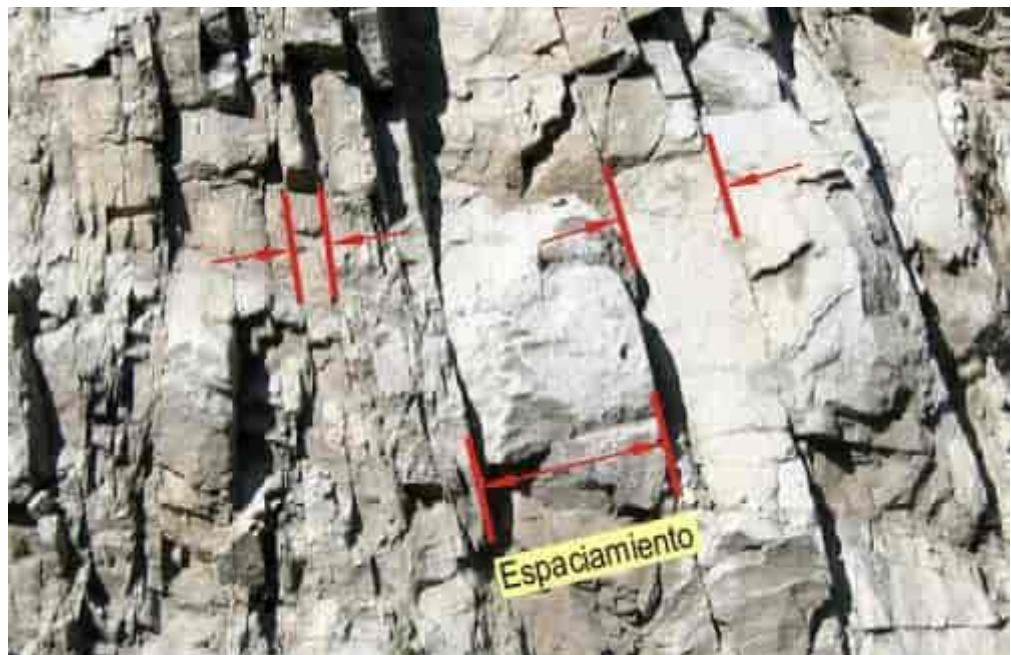
Fig. 1-7 formula RQD

Fuente: SGS

$$RQD = \frac{\text{Longitud de los nucleos } \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longitud de barrenacion en cm}} * 100$$

En la fórmula se puede ver que el valor de RQD es la división de todos los trozos del testigo mayores o iguales a 10 cm. por la longitud total de este y multiplicado por 100 para quedar en porcentaje.

- c) Espaciado de las diaclasas, es una valoración del espaciamiento o separación entre las discontinuidades. Si los espaciamientos son pequeños, la resistencia del macizo rocoso disminuye.



fuelle : GEOVIRTUAL

Fig. 1-8 espaciamiento de diaclasas

- d) Naturaleza de las diaclasas, el cual considera los siguientes parámetros de la misma:

Abertura: Es la distancia que separa las paredes de la discontinuidad cuando no presenta relleno.

Longitud de la discontinuidad: Medición del tamaño de la discontinuidad, del área que ocupa dentro de un macizo.

Rugosidad: Es la medida de la aspereza de la discontinuidad, y da cuenta de la ondulación y de la rugosidad. Está relacionada directamente con la resistencia al cizalle de la discontinuidad. La rugosidad aumenta la resistencia al corte de una discontinuidad.

Alteración: Es el nivel o grado de fracturamiento que presenta una roca desde estar intacta a estar descompuesta. Puede deberse a una fracturación mecánica artificial en el momento de iniciarse las obras.

Relleno: Característica del macizo que puede estar o no presente en la discontinuidad, que separa la roca. Es fundamental para comprender la cohesión del macizo rocoso y la resistencia.

- e) Presencia de agua, puede acelerar el aflojamiento y actuar como lubricante para producir deslizamientos de bloques. Si el agua empieza a filtrarse a través de la roca dentro de un área seca, es signo de que la roca está pasando por cambios de esfuerzo, estos harán que las fracturas se abran o se extiendan, apareciendo la humedad.



fuelle: STUDOCU

Fig. 1-9: presencia de agua en mina subterránea

**CAPÍTULO II : PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA GALERÍA**  
**PRINCIPAL**

## **2. PARÁMETROS GEOMECANICOS DE LA GALERÍA PRINCIPAL**

Al iniciar un proyecto de construcción subterránea, se debe conocer las características que presentan el macizo rocoso y los problemas que pueden surgir en ciertas etapas del proyecto por las condiciones que tiene el macizo, así mismo, también se deben conocer las dimensiones que presenta el lugar a trabajar, en este caso, la galería principal de la mina Blanco III.

### **2.1 ANTECEDENTES TÉCNICOS**

#### **2.1.1 Dimensiones de la galería principal de la mina Blanco III**

En las visitas a la mina Blanco III, se tuvo acceso a información de ésta, como la dimensión de toda su galería principal en el estado actual en el que se encuentra, las cuales se entregan a continuación:

tabla 2-1 medidas mina blanco III

<b>Sección</b>	<b>Medida</b>
Largo	64m
Ancho	3m
Alto	4,5 m
Área (considerando ½ circunferencia en la parte superior)	14,78 m <sup>2</sup>

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

**Fig. 2-1** galería principal mina Blanco III

### 2.1.2 Caracterización del mineral.

La mineralización básicamente está constituida por distintas variedades de calcita granoblástica, mineral de origen metamórfico, en algunos casos cristalina, aunque lo más común es que aparezca como material masivo, sin ser visibles sus cristales, siendo el componente fundamental y casi único mineral de estas rocas que son las calizas con un porcentaje de ley de 80-90%. Pero la calcita no es lo único que podemos encontrar, ya que además puede contener otros minerales como lo son aragonita, grafito, siderita, etc. a continuación se tiene el detalle de sus minerales principales y secundarios.

tabla. 2-2 Detalle minerales de mena y ganga

Minerales de mena	
Principales	Calcita (CaCO <sub>3</sub> )
secundarios	Aragonita (CaCO <sub>3</sub> )
Ley CaCO <sub>3</sub>	80-90 %
Minerales de ganga	
principales	Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )
	Siderita (FeCO <sub>3</sub> )

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III

### 2.1.3. Método de explotación en la mina Blanco III

Para la explotación de yacimientos vetiformes, verticales o subverticales a pequeña escala, se utiliza el método “Realce sobre saca”. Este método consiste en utilizar el mineral quebrado, como piso de trabajo para explotar de manera ascendente. Mediante éste método, se extraía de la mina 72 toneladas diarias.

## 2.2 CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI

Dicha tabla da a conocer los cinco parámetros físicos necesarios para la identificación de la calidad del macizo rocoso junto a las puntuaciones referentes a cada uno de ellos.

Tabla.2-3 Parámetros de RMR de Bieniawski

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
		valor	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
		valor	15	10	7	4	0		

Fuente: : Excavaciones subterráneas en roca Bieniawski, 1979

La suma de los valores de los cinco factores indicará el tipo o clase de macizo rocoso. La suma máxima de estos parámetros es de 100.

La clasificación de Bieniawski ha separado siempre el índice RMR dentro de 5 clases (I, II, III, IV y V) con las designaciones desde “Muy buena” a “Muy mala”.

Tabla.2-4 parámetros para la clasificación del macizo

RMR	CLASE	CALIDAD
100 a 81	I	Muy buena
80 a 61	II	Buena

60 a 41	III	Mediana
40 a 21	IV	Mala
< 20	V	Muy mala

fuelle : elaboración propia

La clase I “Muy buena” es muy poco frecuente porque no abundan los macizos inalterados y de gran calidad.

La clase III “Media o Regular” es la más frecuente pero cubre un rango demasiadamente amplio. Las necesidades de sostenimiento de un túnel de RMR = 40 son muy diferentes de las de un túnel de RMR = 60.

La clase IV “Mala” es demasiado amplia. Un túnel de RMR = 20 se excavó mecánicamente, y en condiciones precarias de estabilidad, mientras que en un túnel con RMR = 40 podrán utilizarse las voladuras y las necesidades de sostenimiento, aunque importantes, permitirán unos ciclos de trabajo con rendimientos sistemáticos y tolerables.

### 2.2.1 RMR de la Galería Principal de la mina Blanco III

Resistencia a la compresión simple: para la recolección de datos se le solicitó a la minera unas muestras de roca de la galería principal para ensayos de compresión. Se tomaron 3 muestras de roca de la galería principal, con la intención de realizar una prueba de carga puntual, el ensayo de laboratorio fue realizado por la oficina de Minería y metalurgia del Liceo Politécnico Pablo Rodríguez Caviedes, los cuales tenían en su laboratorio un equipo de compresión simple, lo que resultó ser una roca de grado D5 de dureza entre 100-250 Mpa según la ISRM, 1981.

Tabla. 2-5 Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo (ISRM, 1981)

Clase	Descripción	Identificación del campo	Valor aproximado de la resistencia a compresión simple
-------	-------------	--------------------------	--

			<b>Mpa</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
S <sub>1</sub>	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0.025	< 0.25
S <sub>2</sub>	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0.025 - 0.05	0.25 – 0.5
S <sub>3</sub>	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para penetrar el dedo	0.05 – 0.1	0.5 - 1
S <sub>4</sub>	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1 – 0.25	1 – 2.5
S <sub>5</sub>	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25 – 0.5	2.5 – 5.0
S <sub>6</sub>	Arcilla dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña	> 0.5	> 5.0
R <sub>0</sub>	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0	2.5 - 10
R <sub>1</sub>	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja	1.0-5.0	10-50
R <sub>2</sub>	Roca blanda	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0-25	50-250

<b>R<sub>3</sub></b>	Roca moderadamente dura	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indenta hasta 5 mm.	25-50	250-500
<b>R<sub>4</sub></b>	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, especímenes sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo	50-100	500-1000
<b>R<sub>5</sub></b>	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	100-250	1000-2500
<b>R<sub>6</sub></b>	Roca extremadamente dura	El martillo produce solamente descarrillado de la muestra, sonido metálico de golpe. Solo saltan esquirlas de roca.	> 250	> 2500

fuelle: Ministerios de minería de Perú

Tabla.2-6 Resultados

N° muestra	MPa	Resistencia de la roca (ISRM,1981)
1	120,8	R-5
2	99,98	R-4
3	115,4	R-5

fuelle: Cálculos obtenidos de ensayo

Tabla.2-7 Valores mínimo, máximo y promedio de la resistencia de la roca.

Mínimo (Mpa)	Máximo (Mpa)	Promedio (Mpa)
99,98	120,8	112,06

fuelle: cálculos recopilados

Los puntos a ser evaluados están ubicados tomando como punto de referencia la bocamina, conocida como entrada de la mina.

1° Clasificación del macizo rocoso: desde la entrada de la mina hasta los 12 metros de la galería principal

tabla. 2-8 Parámetros Resistencia de la matriz de la roca

Compresión simple (Mpa)	250 - 100
Puntuación	12

fuelle: elaboración propia

tabla.2-9 Parámetros RQD

RQD	80%
Puntuación	17

fuelle: elaboración propia

tabla: 2-10 Parámetro Separación entre diaclasas

Separación entre diaclasas (m)	3 m
Puntuación	20

fuelle: elaboración propia

tabla: 2-11 Parámetros estado de discontinuidades

Longitud de la discontinuidad (m)	0.5 m
Puntuación	6
Abertura (mm)	1 mm
Puntuación	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Puntuación	3
Relleno	Ninguno
Puntuación	6
Alteración	Ligeramente alterada
Puntuación	5

fuelle: elaboración propia

tabla 2-12 Parámetro agua subterránea o freática

Caudal por 10 m del túnel	Nulo
Relación presión de agua/tensión principal mayor	0
Estado general	Seco
Puntuación	15

fuelle: elaboración propia

tabla:2-13 Clase de macizo rocoso determinado del puntaje total

Puntaje	87
Clase	I

Descripción	Muy Bueno
-------------	-----------

fuelle: elaboración propia

2° Clasificación del macizo rocoso: Desde los 12 metros a los 28 metros de la galería principal

Tabla 2-14 Parámetro Resistencia de la matriz de la roca

Compresión simple (Mpa)	250 – 100
Puntuación	12

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-15 Parámetro RQD

RQD	80%
Puntuación	17

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-16 Parámetro Separación entre diaclasas

Separación entre diaclasas (m)	2 m
Puntuación	15

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-17 Parámetro estado de discontinuidades

Longitud de la discontinuidad (m)	0.4 m
Puntuación	6
Abertura (mm)	1 mm
Puntuación	3

Rugosidad	Ligeramente rugosa
Puntuación	3
Relleno	Ninguno
Puntuación	6
Alteración	Moderadamente alterada
Puntuación	3

fuentes : elaboración propia

Tabla 2-18 Parámetro agua subterránea o freática

Caudal por 10 m del túnel	Nulo
Relación presión de agua/tensión principal mayor	0
Estado general	Seco
Puntuación	15

fuentes : elaboración propia

Tabla 2-19 Clase de macizo rocoso determinado del puntaje total

Puntaje	80
Clase	II
Descripción	Buena

fuentes : elaboración propia

3° Clasificación del macizo rocoso: Desde los 28 metros a los 44 metros de la galería principal

Tabla 2-20 Parámetro Resistencia de la matriz de la roca

Compresión simple (Mpa)	250 – 100
Puntuación	12

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-21 Parámetro RQD

RQD	80%
Puntuación	17

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-22 Parámetro Separación entre diaclasas

Separación entre diaclasas (m)	0.6 m
Puntuación	10

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-23 Parámetro estado de las discontinuidades

Longitud de la discontinuidad (m)	1.2 m
Puntuación	4
Abertura (mm)	0.5 mm
Puntuación	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Puntuación	3
Relleno	Ninguno
Puntuación	6
Alteración	Moderadamente alterada

Puntuación	3
------------	---

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-24 Parámetro agua subterránea o freática

Caudal por 10 m del túnel	Nulo
Relación presión de agua/tensión principal mayor	0
Estado general	Seco
Puntuación	15

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-25 Clase de macizo rocoso determinado del puntaje total

Puntaje	73
Clase	II
Descripción	Buena

fuelle : elaboración propia

4° Clasificación del macizo rocoso: Desde los 44 metros a los 64 metros de la galería principal

Tabla 2-26 Parámetro Resistencia de la matriz de la roca

Compresión simple (Mpa)	250 – 100
Puntuación	12

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-27 Parámetro RQD

RQD	80%
Puntuación	17

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-28 Parámetro Separación entre diaclasas

Separación entre diaclasas (m)	0.65 m
Puntuación	15

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-29 Parámetro estado de discontinuidades

Longitud de la discontinuidad (m)	1.45 m
Puntuación	4
Abertura (mm)	0.3 mm
Puntuación	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Puntuación	3
Relleno	Ninguno
Puntuación	6
Alteración	Moderadamente alterada
Puntuación	3

fuelle : elaboración propia

Tabla 2-30 Parámetro agua subterránea o freática

Caudal por 10 m del túnel	Nulo
Relación presión de agua/tensión principal mayor	0
Estado general	Seco
Puntuación	15

fuentes : elaboración propia

Tabla 2-31 Clase de macizo rocoso determinado del puntaje total

Puntaje	78
Clase	II
Descripción	Buena

fuentes : elaboración propia

**CAPITULO III : PROPUESTA DE SISTEMA DE FORTIFICACIÓN DE  
ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI**

### **3. PROPUESTA DE SISTEMA DE FORTIFICACIÓN**

El tercer capítulo trata de encontrar una propuesta de fortificación que sea apta para la geoestructura de la galería principal de la mina Blanco III a partir de las características del macizo rocoso que se identificaron y se vieron usadas en el método de clasificación de Bieniawski de 1979, se utilizan los resultados obtenidos en el capítulo anterior, ya que con estos podemos aprovechar la capacidad de autoaporte de éstos para que se emplee la menor fortificación, evitando accidentes provocados por la deformación de la galería y desprendimiento de rocas de esa forma manteniendo la seguridad de los trabajadores, maquinarias y herramientas.

Considerando que es un caserón de producción de una vida útil estimada de 2 años, donde transita poco personal y poca maquinaria.

#### **3.1 FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DE UN MÉTODO DE FORTIFICACIÓN**

Estos son los factores que se deben examinar para llegar a la decisión de cual método de fortificación realizar.

##### **3.1.1. Factores Geotécnicos-Geomecánicos**

###### a) Tipos de roca

Una roca es un compuesto de granos de uno o más minerales y/o trozos de cristales. Estas constituyen la estructura de las montañas, los cañones y las planicies. Existen tres tipos de rocas:

Rocas ígneas o magmáticas: Comenzaron como roca fundida en el interior de la Tierra, a profundidades donde las temperaturas son extremadamente altas. Y conforman el tipo más común que se halla en la corteza terrestre. El proceso da inicio cuando se produce la fusión de materiales de la corteza o el manto, lo que da origen al magma, que es una masa fundida que contiene gases disueltos y algunos materiales sólidos suspendidos. El magma suele subir hacia la superficie, y como durante este proceso se enfría, posteriormente se

cristaliza y se vuelve sólido. Hay 3 tipos de rocas ígneas, en función del lugar donde el magma se solidifica:

- Plutónicas o intrusivas: Se lleva a cabo cuando la cristalización ocurre en el interior de la corteza y se forman “plutones” o masas de tamaño moderado.
- Volcánicas o extrusivas: Se forman en la superficie de la tierra como resultado del enfriamiento brusco del material rocoso fundido que se forma bajo la corteza terrestre y es expulsado principalmente por procesos volcánicos terrestres y submarinos. El material expulsado se conoce como lava, la solidificación brusca de la lava genera rocas con tamaño de grano muy pequeño a veces imperceptibles.
- Filonianas: Se crean cuando el magma pasa hacia la superficie a través de una grieta de la corteza terrestre llamada filón, entre las rocas circundantes, y se vuelve sólido en su interior.

Rocas metamórficas: La formación se produce a partir de otras rocas, ya sea sedimentarias, ígneas o metamórficas, las cuales cambian sus propiedades por efecto del calor, la presión y las reacciones entre diferentes minerales. Una vez que están formadas, son muy resistentes a la erosión y al desgaste.

Rocas sedimentarias: Se forman cuando los sedimentos arrastrados de las rocas por meteorización o erosión se unen entre sí y forman aglomeraciones que alcanzan un considerable espesor hasta que se convierten en nuevas rocas. Los materiales arrancados suelen depositarse en el fondo de cuerpos de agua, y con el paso del tiempo se acumulan en varias capas. El peso de las capas superiores aplasta a las inferiores de esta forma quedando compactas. Posteriormente los fragmentos se unen en un proceso llamado cementación, el cual origina las rocas sedimentarias.

En la mina Blanco III el tipo de roca que predomina es la sedimentaria, como lo es la caliza que procede de allá. Las propiedades físicas de esta son necesarias para la determinación del grado de calidad de la roca que forma parte de la galería principal.

b) Calidad de la roca

Se asocia al nivel de auto sustentación del macizo rocoso. Cuando se tiene una mejor calidad de roca, se permite perforaciones de mayor longitud y un menor tiempo y costo económico en la implementación de fortificación dado su estabilidad. El contorno y tamaño del túnel dependen de este factor.

c) Área de esfuerzo

Secciones en las cuales las fallas de un nivel alto o leve son encontrados de formas más agrupadas y este sector se vuelve menos resistente generando estas llamadas “zonas críticas”. Para prevenir futuros accidentes provocadas por estas zonas son apoyadas con métodos de fortificación determinadas por su calidad.

d) Presencia de agua

Algunos de sus efectos perceptibles en la minería subterránea son la producción de daños en las instalaciones y empleo de costosos equipos. Se ve la reducción de la vida útil del sostenimiento, especialmente si este es de madera, ya que la humedad provoca en la madera putrefacción. Consecuentemente, esto da lugar a un incremento del deterioro del túnel y otras obras subterráneas, así limitando y reduciendo la vida útil de estas obras.

### 3.1.2 Factores operacionales

a) Funcionalidad de la obra

Es un factor considerable ya que se debe dar protección a trabajadores y maquinarias en labores tales como: producción, donde los trabajadores extraerán mediante perforaciones el mineral y las vibraciones producidas podrían provocar desprendimiento de rocas desde el techo o paredes, acceso tanto para trabajadores y maquinaria, evitando pérdidas humanas y material, y por último el transporte del mineral ya extraído para que no hayan pérdidas económicas.

b) Dimensionamiento de la labor

Es la forma y tamaño que tiene una labor subterránea, en la cual dependerá si es irregular o regular, ya que si es irregular se tomará más tiempo para adaptar un método de fortificación a esa zona y al contrario si es una forma más regular el tiempo necesario es menor. Las dimensiones de la galería principal están descritas en el capítulo anterior.

#### c) Método de explotación

Es un factor considerable ya que algunos métodos de explotación poseen un sistema de auto soporte, unos ejemplos serían: Room and Pillar y Sublevel Stopping. en los cuales tiene importancia la calidad del macizo rocoso dado que se apoya en ellos para la estabilidad del trabajo, reduciendo tiempo y gastos económicos en fortificación. En cambio otros métodos usan un soporte artificial como lo es Cut and Fill donde se rellena con material estéril o cemento. y por último métodos por hundimiento como el Sublevel Caving, Panel Caving y Block Caving. Estos deben ser inspeccionados para un plan de fortificación ya que no poseen una forma de auto soporte natural ni artificial como lo son los anteriores, a menos que la calidad de la roca sea muy buena. El método de explotación de la mina Blanco III está descrito en el capítulo anterior.

#### d) Vida útil de la mina

Dependiendo de la vida útil de las labores uno puede usar un método de fortificación temporal que dure al menos un año que se instala inmediatamente después de los disparos brindando seguridad inmediata, evitando el deterioro prematuro del macizo rocoso. También cabe la posibilidad de adoptar una fortificación permanente que esté diseñado para que dure la vida útil del proyecto. Este instala en forma posterior a los disparos de avance.

Considerando todos estos factores se puede llegar a deducir que tipo de fortificación es la más conveniente ya que se descartan algunos de ellos y según análisis se elige el más apto para la seguridad del personal y maquinaria, siempre cumpliendo con las exigencias técnicas que este amerita.

### **3.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE FORTIFICACIÓN BASADO EN LOS RESULTADOS DE BIENIAWSKI**

Como se mencionó anteriormente existen distintos factores que inciden en una selección de un procedimiento de fortificación, los cuales hay que adecuar al lugar donde se quiere realizar la propuesta de fortificación, que en este caso es en su galería principal. El siguiente cuadro da proposiciones de fortificación mediante los valores obtenidos de la clasificación de roca de Bieniawski, utilizando su puntaje y descripción.

Tabla 3-1 : proposición de bieniawski

tipo y tasa de roca	Pernos lechado	Shotcrete	marco de acero
muy buena (81-100)	No necesita fortificación, salvo apernado puntual	No necesita fortificación, salvo apernado puntual	No necesita fortificación, salvo apernado puntual
Buena (61-80)	Puntuales en techo de 3 m. cada 2,5 m. Malla ocasional	50 mm de espesor si es necesario	no
Regular (41-60)	Apernado sistemático en techo y cajas, 3 m, cada 1,2 a 2 m. Malla en techo.	50 a 100 mm espesor en techo; 30 mm de espesor en cajas.	no
Mala (21-40)	Apernado sistemático en techo y cajas, 3 a 5 m, cada 1 a 1,5 m. Enmallado total	100 a 150 mm espesor en techo; 100 mm de espesor en cajas.	muros livianos, puntuales
Muy Mala (<20)	(<20) Apernado sistemático en techo y cajas. Enmallado total.	150 a 200 mm espesor en techo; 150 mm de espesor en cajas. Instalación inmediata después de tronadura.	Marco medianos a pesados cada 0,75 m. Y uso de mallas.

fuelle: Excavaciones subterráneas en roca, Bieniawski, 1979

### 3.2.1 Elección de los métodos de fortificación

Después de comparar los resultados con ambas tablas, se pudo obtener una propuesta de fortificación para la galería principal.

El primer sector que abarca desde la entrada de la mina hasta los primeros 12 metros de la galería obtuvo un resultado de 87 en el rating de clasificación del RMR quedando en la Clase I, eso demostrando que ese sector era de una “Muy buena” calidad. En cambio, los resultados posteriores del resto de la galería principal fueron 80, 73 y 78 en el rating del RMR. Todos estos resultados entraron en la Clase II que serían de un macizo de calidad “Buena”, estando en un nivel menor en calidad pero aun así en un nivel de estabilidad considerable.

En el sector de calidad “Muy buena” referido a las tablas anteriores puede llegar a ser una labor que no necesite un sistema de fortificación por su nivel de resistencia pero no obstante proponen que puede haber apernados puntuales en algunas intersecciones de fisuras, ya que en terreno en el periodo de visitas a las instalaciones se pudo apreciar la presencia de algunas fisuras en ciertos sectores de esta. Así evitando posteriormente deterioro de la roca. (ver tabla)

Mientras el resto de la galería presenta un nivel equitativo de calidad de descripción “Buena”, se propone unos apernados puntuales en el techo de 3 m de profundidad cada 2,5 m. Ocasionalmente se puede utilizar malla en las áreas para una mayor estabilidad y si es necesario un agregado de Shotcrete de 50 mm de espesor, según la tabla pero solo se ocupara los apernados puntuales, sin la necesidad de malla ni shotcrete ya que este sector aún posee un buena resistencia.

La mina posee un estado general seco, lo que favorece la utilización de los pernos, ya que algunos con la presencia de humedad estarían en un ambiente desfavorable que disminuiría su vida útil por corrosión. Se utilizara pernos de varilla cementados o con resina que son generalmente usados como refuerzo permanente, pero también pueden ser utilizados como refuerzo temporal en varias condiciones de roca, constituye el mejor sistema para rocas desde buena a mala calidad y también para rocas en ambientes de altos esfuerzos. Teniendo en cuenta esto, que es la galería principal donde transita el personal y maquinaria para salir y entrar de la mina, además de presentar labores de extracción de mineral, el tipo de perno sería la varilla de fierro corrugado que se implementaría a lo largo de la galería principal. Consiste en una varilla de fierro o acero, con un extremo

biselado, que es confinado dentro del taladro por medio de cemento, resina o ambos. Dentro de este tipo de pernos, los de mayor utilización en el país son:, generalmente de 20 mm de diámetro y la barra helicoidal de 22 mm de diámetro, con longitudes variables (de 5' a 12'). La primera es ya un tipo de perno convencional en nuestro medio, la segunda es de reciente introducción en la industria minera.

### 3.2.2 Generalidades del método de fortificación seleccionado

El anclaje entre la varilla y la roca es proporcionado a lo largo de la longitud completa del elemento de refuerzo, por tres mecanismos: adhesión química, fricción y fijación, siendo los dos últimos mecanismos los de mayor importancia, puesto que la eficacia de estos pernos está en función de la adherencia entre el fierro y la roca proporcionada por el cementante, que a su vez cumple una función de protección contra la corrosión, aumentando la vida útil del perno. Cuando se usa cemento, se requiere varios días de curado antes que el perno trabaje a carga completa, pero apropiadamente instalados son competentes y durables, con alta resistencia en condiciones de roca dura. Estos pernos tienen larga vida útil y constituyen el sistema más versátil de pernos de roca. El uso de varillas con cemento inyectado es frecuentemente el sistema de sostenimiento más barato, pero no se debe usar en taladros con agua y tampoco se debe tensar inmediatamente. El diámetro requerido por los taladros es de 32 a 36 mm pero para varillas de 20 mm el diámetro máximo debe ser 32 mm.

De acuerdo a esta función, en presencia de agua, particularmente en agua ácida, el agente cementante recomendado será la resina, en condiciones de ausencia de agua será el cemento. Cuando se usa resina, sea ésta de fraguado rápido (menos de 30 segundos) o fraguado lento (2 a 4 minutos), el perno trabaja a carga completa en más o menos 5 minutos, permitiendo así pretensar el perno e instalarlo en presencia de filtraciones de agua.

La barra helicoidal, tiene la forma de una rosca continua a lo largo de toda su longitud, esta característica le da múltiples ventajas comparada a la anterior. Entre otros, su mayor diámetro le confiere mayor resistencia y su rosca constante permite el reajuste de la placa contra la pared rocosa. La capacidad de anclaje de las varillas de fierro corrugado es del orden de 12 TM, mientras que de las barras helicoidales superan las 18 TM.

La resina viene en cartuchos con el catalizador separado de la resina y por efecto de la rotación del perno al momento de introducir al taladro, éstos se mezclan generando el fraguado.

Se pueden instalar las varillas combinando la resina de fraguado rápido con el cemento. En este caso, la resina va al fondo del taladro y el resto es llenado con lechada de cemento o cartuchos de cemento.

#### VENTAJAS:

1. El perno entrega rápidamente la acción de sostenimiento
2. Si se usa una resina de rápido fragüe en el fondo de la perforación, el perno de anclaje puede ser tensionado.
3. Alta resistencia a la corrosión en instalaciones permanentes.

#### DESVENTAJAS:

1. Influencia de las condiciones ambientales subterráneas propia de una actividad minera pueden afectar las características químicas de la resina.
2. La resina tiene una vida útil limitada dependiendo de las condiciones ambientales que se tengan.
3. El sistema de perno de anclaje con resina es de alto costo.

#### 3.2.3 Procedimientos de instalación

1°- El equipo técnico de apoyo de la mina debe determinar el patrón adecuado de los pernos.

2°- Se perforan los taladros.

3°- Se inyecta cemento, después de la perforación.

4°- Se introduce la varilla dentro del taladro.

5°- Se coloca la pasta de cemento utilizando un tubo hueco de PVC, que se introduce asegurándose ligeramente a la varilla.

6°- La pasta se inyecta mediante el uso de una bomba y se va retirando el tubo de PVC conforme se va inyectando.

7°- Finalmente se coloca la placa sin tensionar el perno.

8° - El tensionado se deberá ejecutar como mínimo 48 horas después de colocado el perno, salvo el uso de acelerantes de fragua. La relación cemento/agua ideal de la pasta de cemento es de 3.5:1 en peso, lo cual equivale a 16 litros de agua por 45 kilos de cemento.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el tiempo que tomo realizar este trabajo, se llegó a fortalecer los conocimientos asociados a la calidad de la roca y los distintos medios de fortificación. A saber más sobre la importancia de la seguridad minera y como llegar a las medidas preventivas para la estabilidad de la mina, debido de que esta forma los trabajadores y maquinarias están en un ambiente más confortable.

Se cumplieron los objetivos previstos anteriormente, enseñando conceptos y diferenciando métodos de fortificación, pernos y las características de la calidad de la roca. Se comprobó la calidad de la galería principal donde según sus parámetros físicos obtuvimos dos descripciones que serían de “Muy buena” y “Buena” por medio de la clasificación de Bieniawski con los datos obtenidos en las visitas a la mina, gracias al aporte de los dueños de esta.

Finalmente llegando a la decisión de ocupar pernos cementados o con resinas de forma puntual en los sectores que presenten un agrietamiento. Gracias a la calidad de la roca no es necesario la utilización de marcos de madera o acero ni siquiera de malla o shotcrete.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BIENIAWSKI, Z. T. (1979). Engineering Rock Mass Classification.
- MINISTERIO DE MINERÍA, Reglamento de seguridad minera. Decreto supremo, N°132. Publicado en el diario oficial el 07 de febrero de 2004.
- IÑIGO MEDRANO. (2014). características físicas y técnicas de la mina. En Proyecto de explotación mina blanco 3 (5-18). Los Lilos: servicio nacional de minería y geología.
- SEGURIDAD MINERA (2012). Características de los pernos de roca.
- SERNAGEOMIN. (2013). “NORMAS DE SEGURIDAD MINERA APLICABLE A FAENAS MINERAS”, según Título XV del D.S. 34. Fortificación y acuñadura.

## **ANEXO A: DECRETO SUPREMO N° 132**

Capítulo cuarto, sistemas de fortificación:

Artículo 287 En los frentes de explotación se debe arrancar el carbón en la forma más completa posible, especialmente en las partes poco estables y en las capas muy inclinadas, con el objetivo de evitar la combustión espontánea de éste en etapas posteriores de la explotación. Con este mismo propósito debe evitarse la práctica de dejar pilares o macizos de carbón sin extraer.

Artículo 288 En el método de explotación por cámaras y pilares con recuperación de los pilares, el arranque de éstos debe emprenderse lo más rápidamente posible después de terminado el ciclo de trabajo.

Artículo 289 La operación de recuperación de fortificación de la última calle, debe realizarse de acuerdo a un reglamento aprobado por la Administración.

Artículo 290 Se deberá someter a la aprobación del Servicio, la reglamentación referente al empleo de fortificación en frentes de arranques, en el que se detallarán como mínimo:

- Tipo de fortificación a utilizar;
- Distribución geométrica e intervalos de distribución;
- Pautas operativas y de mantención de equipos;
- Normas de recuperación de los elementos;
- Sistema de empaquetado de las “ciegas”;
- Uso de encastillado de patente o empaquetados.

El Servicio tendrá un plazo de treinta (30) días para responder la solicitud, desde la fecha de presentación de ella en la Oficina de Parte.

Artículo 291 Los sistemas de fortificación de subtechos, de maestras principales y retorno de ventilación de “frentes” de arranque, deberán ser reglamentados por la Administración. El sistema de fortificación de fallas geológicas en frentes de arranque debe ser objeto de una norma especial aprobada por la Administración

## **ANEXO B : "CAPÍTULO SEXTO FORTIFICACIÓN"**

136.- Incorporase a continuación del actual artículo 417, que pasará a ser artículo 157, los siguientes artículos 158, 159, 160, y 161, nuevos:

"Artículo 158.- Toda galería que no esté fortificada, debe ser inspeccionada periódicamente a objeto de evaluar sus condiciones de estabilidad y requerimientos de "acuñadura", debiendo realizarse de inmediato las medidas correctivas ante cualquier anomalía detectada. En aquellas galerías fortificadas, deberá inspeccionarse el estado de la fortificación con el fin de tomar las medidas adecuadas cuando se encuentren anomalías en dicha fortificación.

Artículo 159.- En los piques cuya fortificación sea total o parcial, la revisión deberá efectuarse en períodos no superiores a seis meses, pudiendo el Servicio exigir, de acuerdo al estado de éstos, revisiones antes de la fecha límite.

Artículo 160.- En los piques para tránsito de personal y materiales que no estén protegidos o fortificados, se deberá disponer la acuñadura permanente a través de personal instruido y preparado para tales fines.

Artículo 161.- Se prohíbe trabajar o acceder a cualquier lugar de la mina que no esté debidamente fortificada, sin previamente acuñar."

137.- Reemplazase el actual artículo 411, por los

siguientes artículos 162 y 163, nuevos:

"Artículo 162.- La operación de acuñadura tendrá carácter permanente en toda mina y cada vez que se ingrese a una galería o cámara de producción, después de una tronada, además, de la ventilación, se deberá chequear minuciosamente el estado de la fortificación y acuñadura.

La Administración deberá elaborar el procedimiento respectivo, el que consigne a lo menos:

- a) Obligatoriedad que tiene toda persona al ingresar al lugar de trabajo, de controlar "techo y cajas de galerías y frentes de trabajo", al inicio y durante cada jornada laboral y proceder, siempre y cuando esté capacitado para ello, a la inmediata acuñadura cuando se precise o en su defecto informar a la supervisión ante problemas mayores.
- b) Obligatoriedad de la Administración de proporcionar los medios y recursos para ejecutar la tarea. Ello incluye "Acuñadores" apropiados, andamios, plataformas o equipos mecanizados si las condiciones y requerimientos lo hacen necesario.
- c) Capacitación sobre técnicas y uso de implementos para llevar a efecto esta tarea.

Artículo 163.- Si se requiere acuñar un sector donde existan conductores eléctricos protegidos o desnudos, la acuñadura deberá hacerse hasta una distancia prudente en que se garantice que no ocurrirá contacto eléctrico, tanto con la barretilla acuñadora como con otros elementos que se usen. Si es necesario se deberá desenergizar los conductores."

138.- Introdúcese la siguiente modificación en el actual artículo 415 que pasará a ser artículo 164, nuevo:

- a) Sustituyese la frase "e informará al Director", por "y deberá obtener la aprobación del Servicio", y
- b) Incorporar a continuación del punto (.) final, que pasará a ser punto (.) seguido, la siguiente frase:

"El Servicio tendrá un plazo de treinta (30) días para responder la solicitud, desde la fecha de presentación de ella en la Oficina de Parte."

139.- Incorporase el siguiente artículo 165, nuevo:

"Artículo 165.- Los sistemas de fortificación que se empleen, deben fundarse en decisiones de carácter técnico, donde se consideren a lo menos, los siguientes aspectos de relevancia:

- a) Análisis de parámetros geológicos y geotécnicos de la roca y solicitaciones a la que estará expuesta a raíz de los trabajos mineros.
- b) Influencia de factores externos y comportamiento de la roca en el avance de la explotación.
- c) Sistema de explotación a implementar y diseño de la red de galerías y excavaciones proyectadas.
- d) Uso y duración de las labores mineras.
- e) Otros, según se observe.

Cualquiera sea el sistema que se aplique, éste debe estar claramente reglamentado, aplicado y controlado por la Administración de la faena minera, informando de ello al Servicio."

140.- Sustitúyase los actuales artículos 413 y 414, por

el siguiente artículo 166, nuevo:

"Artículo 166.- Para el caso de apernado y malla, se deberán cumplir a lo menos los siguientes requisitos mínimos:

- a) Uso de materiales (malla y perno) de calidad probada y certificada.
- b) Colocación de pernos de manera uniforme, cuyas longitudes y espaciamientos hayan sido calculados con criterio técnico.
- c) Uso de golillas "planchuelas" o similar con una dimensión mínima de 20 cm. de diámetro o 20 cm. de lado si es un cuadrado.
- d) En la colocación de pernos con cabeza de expansión, el apriete de la tuerca debe ser tan firme como para verificar que el anclaje trabaje, absorba la primera deformación y genere en la roca una fatiga de compresión vertical que impida su ruptura.
- e) El elemento ligante aplicado en la colocación de pernos de anclaje repartido, debe emplearse encapsulado o inyectado cuidando que este elemento ligante se encuentre en buenas condiciones de uso.
- f) Cuando se usen pernos en que la sujeción dependa de la fricción generada por la deformación radial del perno (split-set o swellex) el diámetro de la perforación debe ser el adecuado.
- g) En los pernos que se coloquen usando como elemento ligante cartuchos de resina, todo el largo del perno debe quedar ligado a la perforación. "

141.- Introdúcense las siguientes modificaciones al actual artículo 416 que pasará a ser artículo 167, nuevo:

- a) Sustituyese en la letra b) la expresión "a golpe de

macho", por "a presión",

b) En la letra c) elimínese la palabra "posible",

c) En la letra c) Sustituyese la expresión "intercalación de", por "intercalar en lo posible",

d) Sustituyese las letras d), e), y f), por las siguientes:

"d) En las labores inclinadas, como chiflones, rampas u otras similares, la instalación de los postes se hará de modo tal que su base quede instalada en la bisectriz del ángulo que forman la normal al piso de la galería y la vertical al mismo punto;

e) Tanto los postes soportantes como las vigas principales de sostenimiento deben ser de madera de la mejor calidad, sin deterioros que afecten sus características de resistencia. De igual forma la instalación y reparación de los sistemas de fortificación, con maderas, deberán hacerse con personal entrenado y preparado para esos objetivos;

f) Todos los espacios que queden entre el sombrero y el techo deben ser rellenados con encastillados de madera bien apoyados y adecuadamente repartidos, para conseguir que la presión del cerro sea transmitida uniformemente a la viga y no como una carga puntual que concentre dicha presión. El mismo criterio debe emplearse en los costados de galerías con presión lateral. "

142.- Sustituyese los actuales artículos 418 y 419, por el siguiente artículo 168, nuevo:

"Artículo 168.- Los derrumbes se permiten como parte programada y controlada de un método de explotación aprobado por el Servicio.

Se prohíbe aceptar, en forma sistemática u ocasional, el uso de derrumbes accidentales, siendo obligatoria la prevención de estos últimos.

Se prohíbe la remoción o adelgazamiento de los estribos o pilares de sostenimiento sin que sean reemplazados por elementos que ofrezcan una resistencia similar o mayor. Ello solo se permitirá si se implementa un sistema de explotación técnicamente factible, el que deberá contar con la autorización del Servicio."

143.- Incorporase los siguientes artículos 169, 170 y 171, nuevos:

"Artículo 169.- Los soportes para el control de techos, paredes y/o pisos, se deben ubicar de manera uniforme, sistemática y en los intervalos apropiados.

El personal destinado a la inspección, así como a la instrucción y ejecución de los trabajos de fortificación minera, será el necesario y con amplia competencia en la función que desempeña.

Artículo 170.- Todos los equipos y accesorios utilizados para el transporte vertical o inclinado de personas, deben ser diseñados e instalados sobre la base de criterios técnicos y por personal competente, de modo de garantizar la plena seguridad y eficiencia de los sistemas.

En su operación se deberán adoptar todas las medidas de seguridad tendientes a evitar la caída de las personas que son transportadas o que éstas puedan ser afectadas por rocas u objetos que caigan a los piques.

Artículo 171.- Para el transporte vertical o inclinado de personas, se deberá disponer de jaulero o

de sistemas de seguridad automáticos que lo reemplacen.

La orden de movimiento se deberá dar sólo una vez que todo el personal este dentro de la jaula o balde.

No se permitirá el transporte de personal colgado o instalado fuera de la jaula o en plataformas anexas a él."