

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE MEJORA EN LA FORTIFICACIÓN EN MINA
CERRO NEGRO DEL 1 AL 12**

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

Alumnos:

Catalina Constanza Astudillo Villalobos

Matías Ignacio Toro Andrades

Profesor Guía:

Ing. Sr. Marcelo Rojas Vidal

2020

RESUMEN

KEYWORDS: CERRO NEGRO DEL 1 AL 12, FORTIFICACIÓN, ANÁLISIS GEOMECÁNICO, MÉTODO DE FORTIFICACIÓN (TÚNEL 657).

El fin del presente trabajo de titulación, es plantear un método de fortificación, donde se establecerán factores que influyen para una propuesta de fortificación de las labores de producción tales como fallas geológicas, discontinuidades o anomalías. Por lo tanto, junto a estos factores es por lo que se podrá determinar el método de sostenimiento más factible, en conjunto a una descomposición geomecánica y la calidad del macizo rocoso del túnel 657, el cual no presenta ningún tipo o método de sostenimiento en sus galerías de avance de la minera Cerro Negro del 1 al 12. Dicha área minera, se encuentra ubicada en la región de Valparaíso, en la localidad de Petorca, referente a la provincia de Petorca, conformada por un yacimiento a rajo y subterráneo de Oxido de Cobre.

El sistema de fortificación es un procedimiento importante en la minería subterránea, el cual consiste en recubrir o reforzar el entorno de una labor, mediante algún elemento de sustento, tales como marcos, pernos, shotcrete o una combinación de ellos, sobre todo para las pequeñas mineras la cuales están más expuestas a problemas de desprendimientos. Por ende, mediante el estudio de las condiciones geológica subterráneas del área, se pueden establecer los planes a seguir para garantizar la instalación adecuada de la fortificación a determinar. Con el sostenimiento adecuado del terreno es esencial garantizar la seguridad tanto en las personas como los equipos que operen al interior de la mina, además evitar derrumbes y deformaciones de las labores subterráneas.

Durante el desarrollo de trabajo de título, se realizó estructuradamente en tres capítulos fundamentales, por un conjunto de informaciones, antecedentes y análisis, los cuales estuvieron orientados principalmente a objetivos específicos del trabajo.

El primer capítulo, se basa en la organización de generalidades y antecedentes relacionados con la minería en general, la ubicación de la mina, clima, geología, método de fortificación y bases principales de como calcular el análisis geomecánico según clasificación RMR de Bieniawski 1979.

El segundo capítulo, consiste en la descripción de los diferentes métodos que se utilizan y se trabajan en labores subterráneas, los cuales se presentan como una

solución al problema planteado, de una propuesta de método de fortificación para esta labor subterránea, con el fin de poder eliminar toda causa posible de accidente.

El tercer y último capítulo se basa en realizar, analizar y determinar, mediante un análisis geomecánico, que permite hacer una clasificación de un macizo rocoso “in situ”. El cual se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones. Consta de un índice de calidad RMR (Rock Mass Rating), independiente de la estructura, y de un factor de corrección. Por ende, la finalidad de este mecanismo es dar a conocer la calidad del macizo rocoso y de esa forma seleccionar el método de fortificación más adecuado para la galería de avance, en este caso del túnel 657 de la minera Cerro Negro del 1 al 12.

Por último, según la calidad de la roca, establecido por el análisis geomecánico, determino un tipo de roca media entre el 60-40% de irregularidad, por lo tanto, el mejor método para poder implementar en esta labor será una fortificación pasiva, la cual está compuesta de un apernado sistemático en techo y cajas, malla en techo y shotcrete.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMÁTICA	3
OBJETIVOS	4
OBJETIVOS GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	5
1.1 LA MINERÍA	6
1.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LA MINERÍA	6
1.3 LA MINERÍA EN CHILE	7
1.4 MINERA CERRO NEGRO DEL 1 AL 12	7
1.4.1 Ubicación de faena minera	8
1.4.2 Clima	9
1.5 MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN	8
1.6 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN USADO EN EL YACIMIENTO	10
1.6.1 Especificaciones del método	12
1.6.2 Ejecución	11
1.6.3 Ventajas y desventajas	13
1.7 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ROCAS	12
1.8 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	15
1.8.1 Clasificación geomecánica según RMR	15
1.9 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FORTIFICACIÓN SEGÚN RMR	21
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	25
2.1 ¿QUÉ ES LA FORTIFICACIÓN?	26
2.2 ¿POR QUÉ SE DEBE FORTIFICAR?	26
2.3 CAÍDA DE ROCAS	27
2.3.1 Los factores, aspectos o agentes “naturales” que contribuyen o generan una caída de rocas son los siguientes:	27
2.3.2 Causa de los accidentes por caída de rocas	28
2.3.3 Medidas preventivas generales para evitar la caída de rocas	28
2.4 ACUÑADURA	29
2.4.1 Causas específicas de los accidentes	30
2.4.2 Recursos necesarios en la operación de acuñadura	30
2.4.3 Trabajadores	31

2.4.4 Equipo de protección personal	31
2.4.5 Herramientas para acuñar	32
2.4.6 Procedimiento de acuñadura	34
2.4.7 Instrucción del supervisor	34
2.4.8 Verificación de las condiciones generales de seguridad	35
2.4.9 Localización de la zona a acuñar	36
2.4.10 Dirección de avance al acuñar	36
2.4.11 Posición segura al acuñar	36
2.4.12 Detección de planchones	37
2.4.13 Operación de acuñadura	38
2.4.14 Postulado de acuñadura	38
2.5 FORTIFICACIÓN	39
2.6 CLASIFICACIÓN DE LA FORTIFICACIÓN	39
2.6.1 Fortificación Activa o Reforzamiento	39
2.6.2 Fortificación Pasiva	40
2.6.3 Fortificación Combinada	41
2.7 FORTIFICACIÓN CON MADERA	41
2.7.1 Para elegir correctamente la madera a utilizar se deben considerar dos factores fundamentales:	42
2.7.2 Ventajas y desventajas de la fortificación con madera	42
2.7.3 Marcornas de madera	43
2.7.4 Caracterización de la madera	49
2.7.5 Maderas utilizadas en la fortificación en minería subterránea	49
2.7.6 Calidad requerida de la madera	50
2.7.7 Anomalías que tienen efecto en las propiedades físicas de la madera	50
2.7.8 Tiempo de vida de la madera	51
2.8 FORTIFICACIÓN CON MARCOS METÁLICOS	52
2.8.1 Ventajas y desventajas de la fortificación con marcos metálicos	52
2.8.2 Tipos de marco de acero	53
2.9 FORTIFICACIÓN CON MALLAS DE ACERO	54
2.9.1 Malla soldada	55
2.9.2 Malla trenzada o de “bizcocho”	55
2.10 FORTIFICACIÓN CON SHOTCRETE	56
2.10.1 Consideraciones generales del Shotcrete	56
2.10.2 Materiales de elaboración de la mezcla	57
2.10.3 Formas en la que puede ser usado el Shotcrete	58
2.10.4 Función del Shotcrete	58

2.10.5 Métodos de Shotcrete	59
2.10.6 Características técnicas resistivas del Shotcrete	59
2.10.7 Uso de fibras metálicas y sintéticas	62
2.11 FORTIFICACIÓN CON PERNOS	63
2.11.1 Ventajas de la fortificación con pernos:	63
2.11.2 Tipos de pernos de fortificación:	64
2.12 FORTIFICACIÓN CON CABLES	68
2.12.1 Ventajas y desventajas de los cables de acero	68
2.12.2 Existen dos alternativas para poder inyectar la lechada a los pernos cables:	69
CAPÍTULO 3 CÁLCULO Y PROPUESTA DE SISTEMA DE FORTIFICACIÓN	71
3 CÁLCULO Y PROPUESTA DE SISTEMA DE FORTIFICACIÓN	72
3.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE FORTIFICACIÓN BASADO EN EL ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE BIENIAWSKI 1979	73
3.1.1 Determinación del RQD túnel 657 de la mina Cerro Negro del 1 al 12	73
3.2 ROCK MASS RATING (RMR) DE BIENIAWSKI	75
3.3 ANÁLISIS GEOMECÁNICO POR TRAMOS (RMR 1979 – 1989)	76
3.3.1 Tramo 1 de 14 m de longitud y área de sección (2,05 m x 2,20 m)	76
3.3.2 Tramo 2 de 12 m de longitud y área de sección (2,05 m x 2,20 m)	78
3.3.3 Tramo 1 de 12 m de longitud y área de sección (2,05 m x 2,20 m)	80
3.4 TIPO DE FORTIFICACIÓN A IMPLEMENTAR EN EL TÚNEL 657	82
3.5 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA A FORTIFICAR	82
3.6 DIAGRAMA DEL TÚNEL 657	83
3.7 CÁLCULOS DE LA MASA A SOSTENER	83
3.8 CÁLCULO DEL ÁREA A FORTIFICAR	85
3.9 SELECCIÓN DE UN PERNO	87
3.10 DISEÑO MODIFICADO	90
3.10.1 Vista interior del túnel (sin sistema de fortificación)	90
3.10.2 Referencia del diseño fortificado en el túnel	90
3.11 INSTALACIÓN	92
3.12 COSTO DE FORTIFICACIÓN	92
3.13 BENEFICIOS DEL MÉTODO DE FORTIFICACIÓN	95
3.14 IMPACTOS OPERACIONALES DEL MECANISMO DE SOPORTE EN LA MINERA	96
RELACIÓN DE LA PROPUESTA DE FORTIFICACIÓN Y COSTOS CON EL TRABAJO REALIZADO	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99

BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación Geográfica Cerro Negro del 1 al 12	
Figura 1-2. Método a Cielo Abierto	
Figura 1-3. Método Subterráneo	
Figura 1-4. Método Shrinkage Stopping	
Figura 1-5. Valores del RCS para el Cálculo del RMR	
Figura 1-6. Valores del RQD según calidad de la roca	
Figura 1-7. Valores del RQD para el cálculo de RMR	
Figura 1-8. Valores del espaciado de las discontinuidades, para el cálculo del RMR	
Figura 1-9. Valores de la longitud de las discontinuidades, para el cálculo del RMR	
Figura 1-10. Valores de la apertura de las discontinuidades, para el cálculo del RMR	
Figura 1-11. Valores de la rugosidad de las discontinuidades, para el cálculo del RMR	
Figura 1-12. Valores del relleno de las discontinuidades, para el cálculo del RMR	
Figura 1-13. Valores de la alteración de las discontinuidades, para el cálculo del RMR	
Figura 1-14. Flujo de agua en las juntas, para el cálculo del RMR	
Figura 1-15. Resumen del cálculo del RMR	
Figura 1-16. Relación entre el RMR y las propiedades geomecánicas	
Figura 2-1. Equipo de Protección Personal	
Figura 2-2. Selección de Barretilla	
Figura 2-3. Pequeño Escudo Circular de la Barretilla	
Figura 2-4. Tipos de Puntas de Barretillas.	
Figura 2-5. Instrucciones del Supervisor Antes de Cada Acuñadura	
Figura 2-6. Verificación de las Condiciones de Ventilación y Visibilidad	
Figura 2-7. Sistema de Ventilación	
Figura 2-8. Zona de Acuñamiento	
Figura 2-9. Dirección de Avance y Posición Segura para Acuñar	
Figura 2-10. Detección de Planchones	
Figura 2-11. Acuñadura Manual	
Figura 2-12. Pernos de Fricción Split Set	
Figura 2-13. Fortificación con Madera	

Figura 2-14. Fuerzas de Flexión y Pandeo

Figura 2-15. Marcorna Correcta

Figura 2-16. Grietas en las Vigas

Figura 2-17. Marcorna Defectuosa y Marcorna Correcta

Figura 2-18. Inclínación de los Postes en Galerías Inclínadas

Figura 2-19. Tendidos

Figura 2-20. Marcorna en Contacto Directo con el Techo

Figura 2-21. Puntos de Contacto del Tendido

Figura 2-22. Tabiques

Figura 2-23. Cedentes

Figura 2-24. Anomalías de la Madera

Figura 2-25. Anomalías de la Madera

Figura 2-26. Marcos Metálicos Rígidos

Figura 2-27. Marcos de Acero Deslizantes

Figura 2-28. Malla Soldada

Figura 2-29. Malla Trenzada

Figura 2-30. Proyección Manual por Mezcla Húmeda y Seca

Figura 2-31. Fibras Metálicas

Figura 2-32. Perno Estabilizador o de Fricción

Figura 2-33. Característica Técnica del Perno Estabilizador

Figura 2-34. Partes del Perno Estabilizador

Figura 2-35. Perno con Anclaje Expansivo

Figura 2-36. Perno Cementado con Resina o Cemento

Figura 2-37. Cables de Acero

Figura 3-1. Acceso a túnel 657 Mina Cerro Negro del 1 al 12

Figura 3-2. Interior túnel 657 Mina Cerro Negro del 1 al 12

Figura 3-3. Cantidad de juntas por m³

Figura 3-4. Vista frontal del túnel 657 para fortificar

Figura 3-5. Determinación del ángulo β en el túnel

Figura 3-6. Imagen gráfica del área a fortificar

Figura 3-7. Distribución de pernos por parada

Figura 3-8. Distribución de pernos, vista superior

Figura 3-9. Vista interior del túnel 657 (sin sistema de fortificación)

Figura 3-10. Referencia malla de fortificación

Figura 3-11. Referencia de fortificación pasiva

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Ventajas y Desventajas del Método de Explotación Shrinkage

Tabla 1-2. Tipos de Fortificación Según RMR

Tabla 2-1. Características de Algunos Tipos de Madera

Tabla 2-2. Comparación entre Shotcrete seco y húmedo

Tabla 3-1. Cuadro Resumen para tramo 1

Tabla 3-2. Cuadro Resumen para tramo 2

Tabla 3-3. Cuadro Resumen para tramo 3

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

SERNAGEOMIN	: Servicio Nacional de Geología y Minería
D.S.	: Decreto Supremo
R.S.M.	: Reglamento de seguridad minera
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
RCS	: Resistencia a Compresión Simple

SIMBOLOGÍA

Km	: Kilómetros
Ton	: Tonelada
MPa	: Mega pascal
Jv	: El número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m ³ .
m	: Metros.
cm	: Centímetros
mm	: Milímetro
cm ²	: centímetro cuadrado
m ²	: Metro cuadrado
m ³	: Metro cubico
<	: Menor
>	: Mayor
Hr	: Hora
Un	: Unidad
HH	: Hora humana

INTRODUCCIÓN

La minería es uno de los pilares más sólidos en que se sustenta el desarrollo económico y social de Chile. El país posee una gran cantidad de recursos mineros y cuenta con las mayores reservas del mundo de cobre y otros minerales. Por ello, la industria minera es una actividad económica clave para el país, la cual no deja de realizar intentos constantes por seguir mejorando la calidad de extracción y de maximizar el mejor provecho de los recursos mediante nuevas tecnologías y estrategias que permitan facilitar la extracción de minerales, con el propósito de poder ascender a grandes logros organizativos y esquemáticos.

Por esta razón, la industria minera para poder seguir en ese estatuto de producción, se propusieron perfeccionar la productividad en las explotaciones mineras a cielo abierto y subterráneo, mejorar los mecanismos de seguridad, innovación fructosa en el sector, disponibilidad y calidad del capital humano, disponibilidad de recursos hídricos y el desempeño medioambiental.

Por lo tanto, como está estipulado en el trabajo de tesis, se planteará una propuesta de mejora mediante un método de soporte, el cual permitirá mediante la calidad de la roca del túnel, determinar la instalación adecuada de fortificación.

En la minería subterránea, en particular, dando referencia a lo anterior, se han generado nuevos desafíos que tienen como propósito principalmente, de prevenir derrumbes, resguardar la seguridad e integridad física de los trabajadores, de instalaciones, equipos y evitar deformaciones de las labores subterráneas.

Uno de los riesgos más frecuentes de las labores subterráneas son las caídas o desprendimientos de rocas desde el techo de las galerías, de sus cajas o costados en el área, puesto que, tras una voladura en una mina subterránea o a la hora de la extracción de mineral, es indispensable garantizar que, antes del ingreso de los equipos y el personal al interior de la mina, no haya rocas sueltas que puedan desprenderse, lastimando de algún modo al trabajador o a los equipos en funcionamiento en la faena correspondiente. Estos desprendimientos pueden provocarse por condiciones inadecuadas de características y condiciones determinadas de la masa rocosa, forma y dimensiones de la excavación, método empleado de explotación, operaciones provocadas por las vibraciones del trabajo (equipos y tronadura) o presencia de agua.

En la región de Valparaíso, en la localidad de Petorca, referente a la provincia de Petorca, se encuentra ubicada la Minera Juan Gabriel Muñoz Salas, yacimiento a

rajo y subterráneo de Cobre, en la cual se extrae principalmente Oxido De Cobre, a través, del método de explotación Shrinkage Stopping (Cámara de almacén), sistema de explotación vertical aplicable a vetas (estructuras verticales), generalmente para explotaciones menores.

Este yacimiento presenta algunas discontinuidades en las galerías de avance (fracturas) en ciertos sectores del túnel, lo cual es riesgoso para los trabajadores, ya que el macizo rocoso puede desprenderse en cualquier momento y ocasionar un accidente. Es por esto, que se planteara una propuesta de mejora de un sistema de fortificación en el túnel de avance 657, la cual permitirá mantener estable las labores, cuando su condición no sea auto soportante durante las obras en la mina subterránea. Método que en el plano minero brindará un trabajo más seguro y estable, donde mantendrá la estabilidad de las labores durante la explotación, compensando la condición inestable de la masa rocosa con la instalación de diversas alternativas de soporte. Donde se encuentre más debilitado, evaluando geomecánicamente los pilares principales del cuerpo mineralizando en sus principales caserones, para mantener la labor, ya sea mediante la utilización de marcos metálicos y/o enmaderados, pernos, mallas, Shotcrete o una combinación de ellos.

Para ello se analizarán métodos de fortificación, a través, de una comparación de características significativas, desde el punto de vista geo mecánico directamente de la mina, para así poder determinar el método más factible, con el fin de satisfacer las exigencias técnicas, productivas y económicas, y al mismo tiempo poder contribuir a la seguridad del personal, infraestructura y equipos.

PROBLEMÁTICA

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, claramente estos efectos han ido cambiando con el pasar de los años. Sin embargo, un gran porcentaje de accidentes son ocasionados por caídas de rocas, por la falta de un sistema de fortificación, en el cual, en un contexto de seguridad, se ha intentado asegurar a los trabajadores e infraestructura de las labores subterráneas, evitando la caída de rocas desde el techo de galerías o de sus cajas o costados. En la Región de Valparaíso, en la localidad de Petorca, se encuentra ubicada la minera Cerro Negro del 1 al 12, yacimiento a rajo y subterráneo, en la cual se extrae principalmente de Oxido de Cobre. Sin embargo, desde sus inicios la minera Cerro Negro, no ha implementado ningún método de fortificación seguro y eficaz principalmente en sus trabajos subterráneos, que presente una seguridad real a la labor.

Es por eso por lo que mediante varias visitas a terreno que se pudo analizar y averiguar con exactitud los problemas que presentaba el túnel 657 de la minera, se logró observar que, con la falta de un sistema de fortificación, la labor durante esas variadas visitas presenciales, presento algunos desprendimientos que claramente presentaban peligro, lo cual fue el claro indicio de que pudiera ocurrir algún derrumbe en un tiempo a corto plazo.

Por ende, el problema que demuestra la mina subterránea son variadas zonas de la labor, donde la roca muestra distintas discontinuidades graves las cuales podrían originar en un tiempo un derrumbe de grandes magnitudes sino se realiza algún sostenimiento con el tiempo debido, el cual causaría daños a sus trabajadores o equipos. Por lo tanto, con respecto a la causa mencionada, como grupo de trabajo, en conjunto se llegó a la iniciativa de proponer un método de fortificación factible, que, según la calidad de la roca, mediante un análisis geomecánico, que son procesos que determinarían la mejor propuesta para este tipo de yacimiento, con el fin de evitar accidentes y mejorar la producción en faena de forma segura.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Proponer una mejora mediante un sistema de fortificación en mina cerro Negro del 1 al 12, para mejorar la seguridad ante caída de rocas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar generalidades del proceso minero, y de la minera Cerro Negro del 1 al 12, estudiar los cálculos de un análisis geomecánico según el sistema de clasificación de Bieniawski.
- Reconocer y explicar el proceso de fortificación, sus diferentes métodos y tipos en una mina subterránea, mediante información bibliográfica.
- Determinar el RQD del túnel 657 de la minera Cerro Negro del 1 al 12, por medio de una ecuación geomecánica de Bieniawski RMR 1979-1989 y establecer el método de sostenimiento de acuerdo con las características del macizo rocoso, área a fortificar, para respectivamente definir análisis de costos.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 LA MINERÍA

La minería es la principal actividad económica en nuestro país, representada por la extracción o explotación de minerales que se han acumulado en nuestros suelos y subsuelos en forma de yacimientos.

Sabiendo el tipo de mineral a extraer la actividad se divide en minería metalúrgica que estos son empleados como materias primas básicas para la fabricación de diferentes productos industriales, minería no metalúrgica o también llamada de cantera y de construcción son utilizados como materiales de construcción, materia prima para joyería, entre otros usos.

Hoy en día los minerales con mayor significado son los energéticos o combustibles, que son empleados generalmente para generar energía, en estos se encuentran: gas natural, carbón y petróleo.

El rubro minero siempre ha establecido en ser uno los indicadores básicos para el desarrollo económico de un país.

1.2 RESEÑA HISTORICA DE LA MINERÍA

El hombre ha sido minero desde los albores de la humanidad. Primero:

- Industrias líticas: fragmentos de rocas o minerales más o menos trabajadas para su uso como herramientas o armas.
- Metales: extrayéndolos desde los minerales (era del cobre, era del bronce, era del hierro), refinándolos y combinándoles en aleaciones a medida que progresaba, de paso, inventando la metalurgia.

Lista con los principales hitos mineros-metalúrgicos (y tecnologías asociados) de la humanidad:

- Era de piedra (paleolítico, mesolítico, neolítico)
- Era del cobre 6000 a.c (comienzo)
- Era del bronce 2500 a.c (comienzo)
- Era del hierro 1000 a.c (comienzo)

- Era del carbón 1600 d.c (comienzo)
- Revolución industrial 1750 – 1850 d.c
- Era del petróleo 1850 d.c (comienzo)
- Era eléctrica 1875 d.c (comienzo)
- Era atómica 1945 d.c (comienzo)

1.3 LA MINERÍA EN CHILE

Durante los primeros 200 años de la Conquista, el cobre fue una industria pequeña que se realizaba básicamente en la zona norte del país. Recién en 1820 comenzó la expansión de la producción que abarcó desde la Región de Atacama hasta la Región del Aconcagua.

Durante los siglos 19 y 20, Chile se posicionó como importante productor de cobre a nivel mundial y recibió ingenieros y especialistas en minas y metalurgia desde el extranjero. Asimismo, creció la inversión extranjera en el rubro minero, especialmente norteamericana, inglesa, francesa, alemana e italiana. Adelantos como el uso de carbón mineral, la construcción de ferrocarriles y nuevas fundiciones dieron un gran impulso a la minería nacional.

Luego de una baja en la producción de cobre a fines de 1800, el país vivió otro boom del cobre a inicio del siglo XX cuando varias compañías estadounidenses realizaron grandes inversiones para explotar los yacimientos de Chuquibambilla, Potrerillos y El Teniente.

Chile consolidó su posición como segundo país productor de cobre en el mundo a mediados del siglo XX, después de Estados Unidos y después en la década de los ochenta pasó a ser primer productor mundial.

Luego de los procesos de chilenización, con la formación de sociedades mixtas entre el Estado de Chile y las empresas privadas extranjeras y la posterior nacionalización que culminó en julio de 1971, estos yacimientos pasaron a propiedad del Gobierno de Chile.

Mediante el Decreto Ley Número 1.350/76, se creó la **Corporación Nacional del Cobre de Chile** (CODELCO-CHILE), que es la encargada de la explotación de ellos y de la comercialización del cobre que producen.

Durante la década entre 1990 y 2000, el sector minero mostró un dinamismo sin precedentes, resultado de una abundante inversión extranjera. El flujo de capitales mineros llegó a nuestro país gracias a la riqueza de su subsuelo y a su estabilidad política, social y económica.

La minería en general, pero particularmente la del cobre, ha llegado a ser el sector más activo en el desarrollo de la economía nacional debido al monto de sus inversionistas y por la magnitud alcanzada en la producción de cobre.

1.4 MINERA CERRO NEGRO DEL 1 AL 12

La mina Cerro Negro del 1 al 12 es una mina a cielo abierto y subterránea, en la cual se extrae óxido de cobre, primero se realizó la extracción de mineral en la subterránea mediante el método de explotación Shrinkage Stopping (cámara de almacén) y caserones en el año 2000 aproximadamente. Se extrae 400 ton/mes con una ley entre 6%.

En la actualidad cuenta con 2 niveles principales y un caserón a explotar. Los túneles tienen una dimensión de 2m x 2m aproximadamente, van variando, dependiendo del sector. Las perforaciones se realizan de forma manual y se extrae con minicargadores, el polvorín está ubicado dentro de la mina y la fortificación es la correspondiente para la pequeña minería.

El mineral extraído es enviado a la minería Amalia en Catemu, y antiguamente a Illapel.

1.4.1 Ubicación de faena minera

La mina Cerro Negro del 1 al 12 se encuentra ubicada en el sector La Vega, en las coordenadas UTM en punto de interés Norte 6.433.266 (m); Este 322.773 (m); Elevación 653,5 (m.s.n.m.), en la comuna de Petorca, Provincia de Petorca, Región de Valparaíso.

Para llegar a la mina se sale de Petorca, por el camino hacia Chincolco recorriendo unos 6,1 km, para llegar al sector de La Polcura, se sigue hacia el Norte por un camino interior, luego se cruza el río Petorca, hacia el sector de Placeta Las Águilas. Se continua hacia el Norte bordeando un cerro de más o menos 1 km para

llegar a un cruce con un camino minero, se sigue por este a la izquierda hasta llegar a una curva frente a un campamento donde está ubicada esta.

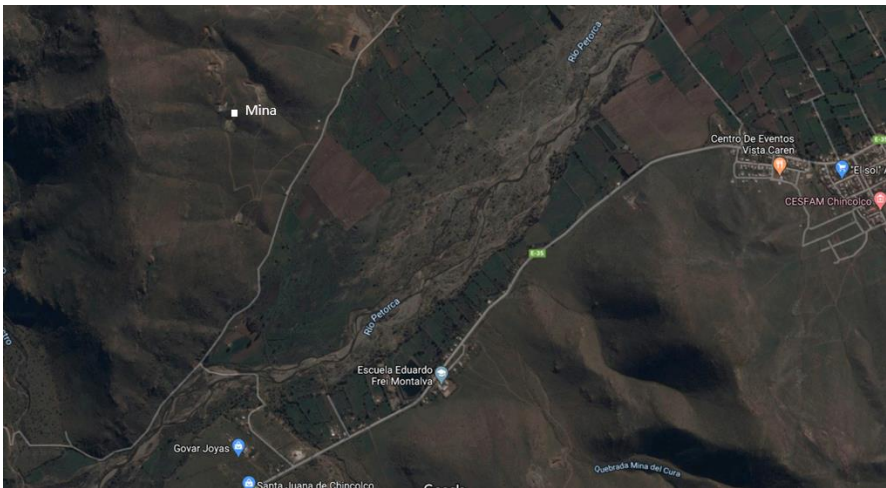


Figura 1-1. Ubicación Geográfica Mina Cerro Negro del 1 al 12

Fuente: Google Earth, Elaboración Propia.

1.4.2 Clima

El clima es reconocido por cielos puros debido a la baja humedad atmosférica, por sus cielos despejados y alta luminosidad. La temperatura media anual es de 16°C, no tiene influencia oceánica, la variación de las temperaturas durante todo el año es de 10,4°C.

Las lluvias son escasas e irregulares por lo que las sequías son frecuentes en el valle de Petorca.

1.5 MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

El método de explotación es el cual permite la excavación y extracción de un mineral de la forma técnica y económica más eficiente para el yacimiento. La primera clasificación es si será a cielo abierto o subterráneo.

Para el método de explotación a cielo abierto se puede identificar los siguientes:

- Open pit (tajo abierto).
- Quarry (cantera).
- Lavaderos o placeres.



Figura 1-2. Método a Cielo Abierto

Fuente: <https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/>

En cuanto a los métodos de explotación subterráneo, estos se distinguen según el tratamiento que se realice, estos se dividen en tres grupos:

- Auto portantes:
 - Room/Stope and Pillar (cámaras y pilares).
 - Shrinkage Stopping (cámara almacén).
 - Sublevel Stopping (cámaras subniveles).
- Por hundimiento:
 - Sublevel Caving (hundimiento por subniveles).
 - Block Caving (hundimiento por bloques).
 - Long/Short Wall (tajo largo/corto).
- Con sostenimiento artificial:

- Cut and Fill (Corte y relleno).



Figura 1-3. Método Subterráneo

Fuente: <https://www.chilemineria.cl/2015/04/ferrostaal-chile-pasa-a-formar-parte-del-desarrollo-de-la-mina-chuquicamata-subterranea/>

1.6 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN USADO EN EL YACIMIENTO

Dadas a las características geológicas donde está ubicada la mina, la naturaleza del yacimiento y las características subterráneas, en este utiliza el método Shrinkage Stopping que es utilizado principalmente en vetas con gran buzamiento (estructuras verticales), generalmente se aplica a vetas angostas de 1.2 a 10 metros.

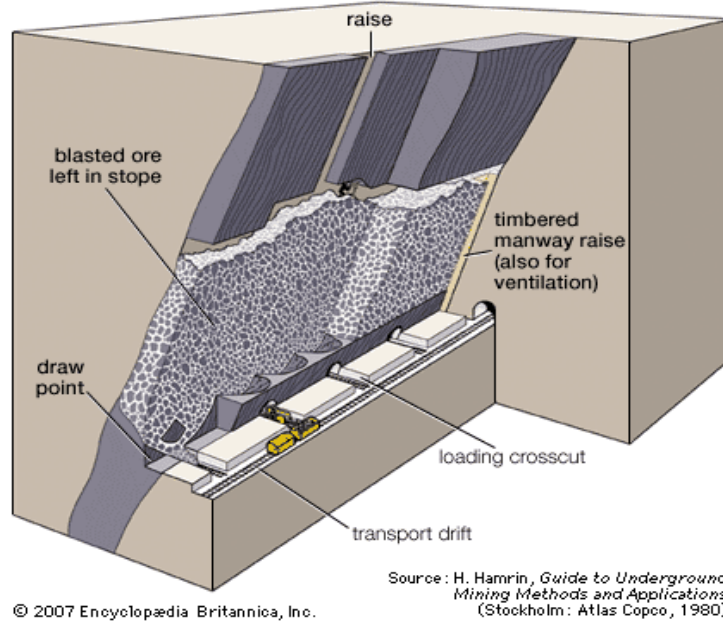


Figura 1-4. Método Shrinkage Stopping

Fuente: <https://www.britannica.com/technology/shrinkage-stopping>

1.6.1 Especificaciones del método

La extracción del mineral a través del método de explotación Shrinkage Stopping, consiste en usar el mineral explotado como piso para seguir tronando de forma ascendente. Este da soporte adicional desde las paredes hasta el caserón que sea completado y quede listo para su vaciado. Los caserones se van explotando de forma ascendente de forma horizontal, se extrae solo el 40% aproximadamente y el resto se deja hasta que se vacíe.

Este es un método en el cual se usa mucha mano de obra y es difícil de mecanizar, es utilizado normalmente en vetas angostas. Para que este método funcione de forma correcta no debe tener mucha arcilla, tampoco se debe oxidar de forma rápida para que no se genera la cementación.

En este método se debe trabajar de forma continua el mineral, así se evita la dilución, el estéril se debe retirar como dilución o dejarse como pilares aleatorios.

1.6.2 Ejecución

- Se debe excavar el cuerpo mineralizado por tajadas horizontales.
- El mineral tronado se utiliza como piso para seguir trabajando.
- La secuencia es ascendente, partiendo desde la base del caserón.

- Una parte del mineral explotado es extraído continuamente por la base.
- El resto del mineral queda en el caserón y es usado como piso de trabajo para seguir trabajando ascendentemente.

1.6.3 Ventajas y desventajas

Todos los métodos de explotación poseen pros como contras y el Shrinkage Stopping no es una excepción, en la siguiente tabla (Ver Tabla 1–1.), pero este es el más apto para explotar el yacimiento de la mina Cerro Negro del 1 al 12.

Ventajas	Desventajas
Método simple para pequeña minería.	Mucha mano de obra.
Poco sostenimiento, ya sea del mineral o paredes.	Aproximadamente el 60% se queda “detenido” dentro del caserón hasta el final.
Tasas de producción pequeñas a mediana.	Productividad baja a moderada 3-10 ton/hombre-turno.
Baja dilución (10 – 25%).	Costos moderados a altos.
Vaciado del caserón por gravedad.	Mecanización limitada.

Tabla 1-1. Ventajas y Desventajas del Método de Explotación Shrinkage Stopping

Fuente: Realizado con los conocimientos adquiridos en el ramo Métodos de Explotación.

1.7 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ROCAS

El objetivo de la clasificación geomecánica es evaluar las propiedades de los macizos rocosos para poder determinar la calidad de la roca con fines muy diversos, desde que se elige el tipo de sostenimiento más adecuado o el sistema de excavación

más apropiado, hasta la determinación de índices para predecir la perforabilidad o ripabilidad de las rocas.

La clasificación geomecánica ha surgido para poner orden en los procedimientos de investigación “in situ”, principalmente se realiza por la necesidad de disponer de más criterios para el diseño de túneles (donde tienen su mayor campo de aplicación). Esta consta de dos partes:

- La primera es en la cual se define un índice numérico que caracteriza la calidad de la roca a partir de la valorización de determinados parámetros.
- La segunda se proponen diversos tipos de sostenimiento de la excavación en función del índice de calidad y en base a experiencia previas.

En la práctica cuando esta es utilizada para el diseño del sostenimiento, este debe ir acompañado de una instrumentación que suministre datos sobre el comportamiento del terreno y del sostenimiento, para que en un momento se puedan tomar las medidas correctoras necesarias.

Para que la evaluación sea lo más objetiva posible, se debe calificar los factores geomecánicos que los definen, de esta forma que los índices de calidad propuestos por las distintas clasificaciones sean comparables unos con otros.

Partiendo de la base de que el índice de calidad es representativo del macizo rocoso, las clasificaciones geomecánicas dan datos adicionales sobre ciertas características.

En las excavaciones complejas las clasificaciones geomecánicas no deben remplazar los estudios analíticos, pero pueden ser usadas en las fases iniciales del diseño.

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas son:

- RQD (Rock Quality Designation)
- Clasificación de Bieniawski (RMR)
- GSI (Geological Strength Index)
- Índice de Q de Barton

1.8 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

La finalidad es proporcionar un estudio geomecánico general del macizo rocoso a partir de observaciones en el campo y pruebas sencillas, de esta forma estimar la calidad del macizo rocoso y de los parámetros de resistencia (ángulo de fricción y cohesión) para establecer las necesidades de sostenimiento más convenientes.

1.8.1 Clasificación geomecánica según RMR

Esta se ha realizado a partir de la experiencia en obras realizadas en África del Sur, este estudio se adapta mejor a macizos rocosos homogéneos y escasamente fracturados, que presentan una alta fracturación o están constituidos por rocas expansivas y fluyentes.

El parámetro que define esta clasificación es el llamado Índice RMR (Rock Mass Rating) el cual indica la calidad del macizo rocoso. Este resulta de la suma de seis parámetros considerados. El macizo rocoso será más competente cuanto más alto sea el RMR.

1. La resistencia a compresión simple del macizo rocoso.
2. El RQD (Rock Quality Designation).
3. El espaciamiento de las discontinuidades.
4. El estado de las discontinuidades.
5. La presencia de agua.
6. La orientación de las discontinuidades.

$$R.M.R. = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 - 6$$

No se aplicará la corrección que corresponde al número 6, debido a que este es aplicado para el cálculo del sostenimiento, se tiene que:

$$R.M.R. = 1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

1.8.1.1 Parámetro 1: Resistencia a compresión simple, RCS.

Esta valoración puede ser realizada mediante procedimientos directos o indirectos, en el procedimiento directo se ejecuta mediante un ensayo de laboratorio sobre probeta cilíndrica de roca sometida a una carga axial.

Para que este ensayo sea realizado de forma correcta se debe disponer de una prensa de capacidad adecuada que permita aplicar la carga sobre la probeta a velocidad constante hasta que se produzca la rotura de esta con un intervalo de tiempo entre 5 y 15 minutos.

La RCS se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_c = \frac{P}{S}$$

Donde:

σ_c = RCS en MPa

P = Carga de rotura en kg.

S = Selección de probeta.

1	Resistencia de la roca intacta a Compresión Simple	>250 MPa	250 -100 MPa	100 -50 MPa	50 -25 MPa	25 -5 MPa	5 M-1 MPa	<1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0

Figura 1-5. Valores del RCS para el Cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

1.8.1.2 RQD

Este está basado en la recuperación modificada de un testigo, depende indirectamente del número de fracturas y del grado de la alteración del macizo rocoso.

Solo se cuentan los fragmentos iguales o superiores a 100 mm de longitud. El diámetro del testigo debe ser igual o superior a 57,4 mm y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo.

$$RQD = \frac{\sum(longitud\ fragmentos \geq 10\ cm)}{longitud\ total\ perforada} \times 100$$

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

RQD (%)	Calidad de la roca
0 - 25	Muy mala
25- 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Figura 1-6. Valores del RQD según calidad de la roca.

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

Cuando no se han realizado sondeos, se recurre a las fórmulas alternativas:

$RQD = 115 - 3,3 J_v$ $RQD = 100$

para $J_v > 4,5$

para $J_v \leq 4,5$

2	R.Q.D.	100 - 90%	90- 75 %	75 - 50 %	50 - 25 %	< 25 %
	VALOR	20	17	13	8	3

Figura 1-7. Valores del RQD para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

1.8.1.3 Espaciamiento de las discontinuidades o juntas.

Para medir el espaciado de las juntas se utiliza la clasificación propuesta por DEERE que se refleja en la figura 1-5.

3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	2 – 0,6 m	0,6 – 0,2 m	0,2 – 0,06 m	< 0,06 m
	VALOR	20	15	10	8	5

Figura 1-8. Valores del espaciado de las discontinuidades, para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

1.8.1.4 Estado de las discontinuidades.

Para describir el estado de las discontinuidades o juntas se utilizan los siguientes parámetros:

- Longitud de las discontinuidades: el concepto de dimensión se refiere a la extensión o tamaño de una discontinuidad

4a	Longitud de las discontinuidades	< 1 m	1 - 3 m	3 -10 m	10 - 20 m	>20 m
	VALOR	6	4	2	1	0

Figura 1-9. Valores de la longitud de las discontinuidades, para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

- Apertura de las juntas y tipo de relleno: la apertura de la junta se define como la distancia existente entre sus labios, el tipo de relleno influye sobre las características resistentes de la junta. La apertura se estima en base a la tabla propuesta por BROWN, 1981.

4b	Apertura de las discontinuidades	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1 mm	1 - 5 mm	>5 mm
	VALOR	6	5	4	1	0

Figura 1-10. Valores de la apertura de las discontinuidades, para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

- Rugosidad: es el factor determinante de la resistencia del corte y está caracterizada por su ondulación y su aspereza. Para valorar la rugosidad de las juntas se utiliza la tabla propuesta por BROWN, 1981, que se muestra continuación.

4c	Rugosidad de las discontinuidades	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	VALOR	6	5	3	1	0

Figura 1-11. Valores de la rugosidad de las discontinuidades, para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

- Relleno de las discontinuidades

4d	Relleno de las discontinuidades	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm
	VALOR	6	4	2	1	0

Figura 1-12. Valores del relleno de las discontinuidades, para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

- Alteración de las discontinuidades

4e	Alteración de las discontinuidades	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	VALOR	6	5	3	1	0

Figura 1-13. Valores de la alteración de las discontinuidades, para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

1.8.1.5 Presencia de agua en el macizo rocoso.

En un macizo rocoso diaclasado el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, en túneles hay que estimar el flujo del agua, en litros/minuto, cada 10 m de túnel.

5	Agua subterránea	Flujo de agua por cada 10 m túnel (l/m)	Nada	< 10	10-25	25-125	>125
		Condiciones generales	Completamente seca	Ligeramente húmedo	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
	VALOR		15	10	7	4	0

Figura 1-14. Flujo de agua en las juntas, para el cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

1	Resistencia de la roca intacta a Compresión Simple		>250 MPa	250-100 MPa	100-50 MPa	50-25 MPa	25-5 MPa	5-1 MPa	<1MPa
	VALOR		15	12	7	4	2	1	0
2	R.Q.D.		100 - 90%	90 - 75 %	75 - 50 %	50 - 25 %		< 25 %	
	VALOR		20	17	13	8		3	
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 – 0,6 m	0,6 – 0,2 m	0,2 – 0,06 m		< 0,06 m	
	VALOR		20	15	10	8		5	
4a	Longitud de las discontinuidades		< 1 m	1 - 3 m	3 -10 m	10 - 20 m		>20 m	
	VALOR		6	4	2	1		0	
4b	Apertura de las discontinuidades		Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1 mm	1 - 5 mm		>5 mm	
	VALOR		6	5	4	1		0	
4c	Rugosidad de las discontinuidades		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada		Suave	
	VALOR		6	5	3	1		0	
4d	Relleno de las discontinuidades		Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm		Relleno blando >5 mm	
	VALOR		6	4	2	1		0	
4e	Alteración de las discontinuidades		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada		Descompuesta	
	VALOR		6	5	3	1		0	
5	Agua subterránea	Flujo de agua por cada 10 m túnel (l/m)	Nada	< 10		10 - 25	25 - 125	>125	
		Condiciones generales	Completamente seca	Ligeramente húmedo		Húmedas	Goteando	Agua fluyendo	
	VALOR		15	10		7	4	0	

Figura 1-15. Resumen del cálculo del RMR

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

$R.M.R. = 1 + 2 + 3 + (4a + 4b + 4c + 4d + 4e) + 5$

Valor del R.M.R.	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy malo

Figura 1-16. Relación entre el RMR y las propiedades geomecánicas

Fuente: Bieniawski, Z.T.: " Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley & Sons, Inc., 1989.

1.9 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FORTIFICACIÓN SEGÚN RMR

El sostenimiento en minería subterránea es muy importante, ya que por naturaleza del trabajo toda labor que se hace en el interior de la mina se realiza en espacios vacíos, inestabilizados producto de la rotura de la roca o mineral extraído; para lograr que se mantenga nuevamente estable la zona y en condiciones de trabajarla, la zona debe redistribuir sus fuerzas, para ello es necesario apoyar inmediatamente con el refuerzo o el sostenimiento adecuado (sistema de fortificación). Por lo cual, es un proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo de trabajo.

Algunas consideraciones significativas en la selección de un sistema de sostenimiento son las siguientes:

- Proximidad de las fallas.
- El peso máximo de los bloques del lugar.
- Tamaño y dirección de las fuerzas (presiones) in situ.
- Dislocación o desplazamiento total anticipado.

Es fundamental detectar las zonas que poseen filtración de agua, ya que la presión de estas sobre las fracturas y algunos tipos de arcillas, son parámetros de diseño muy importantes a tomar en cuenta para el sostenimiento de cavidades subterráneas.

En el contexto de identificar sectores que requieran sostenimiento o fortificación, existen diferentes formas de identificar las condiciones peligrosas del terreno. Entre ellas se incluye: revisar si las perforaciones normales y los sondajes tienen deformaciones, si han adoptado una forma ovalada o si se han tapado. Si el piso o caja del túnel se desvían de repente, también es una señal de que hay presiones, por lo que se debe informar igual que cuando hay rocas nuevas caídas en el túnel.

Igualmente se debe tener cuidado con las cuñas, fallas, fracturas y los quiebres que se ubican en el terreno. Estos pueden generar bloques que podrían caer en forma repentina si no se fortifican. También se debe informar si hay cualquier ruido o movimiento extraño en la roca. En aquellas áreas que tienen un alto contenido de cuarzo es normal que la roca “trabaje” y produzca leves chasquidos después de una voladura o cuando se le echa agua. Este tipo de actividad es normal, sin embargo, se debe informar cuando se perciban ruidos intensos en las rocas.

La inspección y tratamiento adecuado del terreno en mal estado es fundamental para prevenir accidentes, pérdidas en la producción o daños en el equipo. Existen diversos indicadores que muestran un aumento de la presión, por lo tanto, se deben revisar en forma constante.

Estos incluyen:

- Los pernos deformados o doblados.
- Los pernos cortados.
- Las maderas quebradas o dobladas.
- La línea del túnel varía o sube.
- La aparición de nuevas fisuras o señales de movimiento reciente sobre todo a lo largo de las cuñas.
- Las mallas que se pandean debido a la gran cantidad de roca suelta que está sobre ella.
- Los ruidos extraños fuertes o muy repetitivos o si el cerro comienza a gotear.
- La aparición repentina de rocas nuevas en el túnel o en el área de trabajo.

Según el parámetro obtenido por el Rock Mass Rating (RMR), se muestra a continuación una relación entre el valor calculado y un sistema de fortificación determinado. Esto es:

Tipo y Tasa de Roca	Tipo de Fortificación		
	Pernos lechados, 20 mm diámetro	Shotcrete	Marcos de acero
Muy Buena (100 - 81)	No necesita fortificación, salvo apernado puntual.		
Buena (80 – 61)	Puntuales en techo de 3 m de largo, cada 2,5 m. Malla en techo	50 mm espesor si es necesario	No

Regular (60 – 41)	Apernado sistemático en techo y cajas, 3 m de largo, cada 1,2 a 2m. Malla en techo	50 a 100 mm espesor en techo; 30 mm de espesor en cajas	No
Mala (40 – 21)	Apernado sistemático en techo y cajas, 3 a 5 m de largo, cada 1 a 1,5 m. En mallado total	100 a 150 mm espesor en techo: 100 mm de espesor en cajas	Marcos livianos, puntuales
Muy mala (< 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 la tronadura	Marco mediano a pesados cada 0,75 m y uso de mallas

Tabla 1-2. Tipos de Fortificación Según RMR

Fuente: Elaboración propia en base ANEXO A.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 ¿QUÉ ES LA FORTIFICACIÓN?

Es el conjunto de procedimientos que permiten tener estables las labores cuando su condición no es auto soportante en una mina subterránea. El rol fundamental de la fortificación es:

- Mantener la cohesión de los terrenos.
- Impedir el desmoronamiento de material fracturado.
- Disminuir el movimiento de las cajas, techo y piso (minería de carbón).
- Mantener las labores seguras y con una sección y dimensiones suficientes para la circulación del personal, equipos, aire, etc.

2.2 ¿POR QUÉ SE DEBE FORTIFICAR?

y

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 autosoporte consecuente con la presencia de presiones que se mantienen por debajo de los límites críticos que la roca natural es capaz de soportar.”

El reglamento de Seguridad Minera (D.S. N°132, Capítulo Sexto “Fortificación” artículo 158) indica que:

“Toda galería que no esté fortificada, debe ser inspeccionada periódicamente al 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.”

2.3 CAÍDA DE ROCAS

Uno de los riesgos más importantes de accidentes en las labores mineras subterráneas, es la caída d rocas desde el techo de las galerías a sus cajas o costados, y en las minas a cielo abierto el deslizamiento de terrenos.

Al realizar labores subterráneas, se extrae un volumen de masa rocosa que provoca varios cambios en las condiciones naturales de equilibrio. Se forman espacios en los cuales las caras libres quedan sometidas a fuerzas que quedan sin oposición y convergen hacia el espacio vacío, de esta forma provocando grietas en el techo y las cajas, y estas pueden generar el desprendimiento de rocas sueltas o planchones.

El desprendimiento de rocas puede ocurrir por las siguientes condiciones inadecuadas:

- Características y condiciones determinadas de la masa rocosa.
- Presencia de agua.
- Método empleado de explotación.
- Forma y dimensiones de la excavación.
- Debilitamiento producto por las tronaduras.

2.3.1 Los factores, aspectos o agentes “naturales” que contribuyen o generan una caída de rocas son los siguientes:

- Factores geológicos: este tiene relación directa a las características del macizo rocoso; tipo de roca, discontinuidades o diaclasas, fallas, alteraciones, lo que origina el debilitamiento y luego el desprendimiento de rocas.
- Factores ambientales: los cambios bruscos de temperatura, la humedad y la presencia de agua subterránea, son factores que contribuyen a debilitar la roca.
- Campo de esfuerzo: cuando las excavaciones llegan a grandes profundidades se originan cada vez más grandes y mayores esfuerzos en la masa rocosa, lo que origina fracturas y luego caídas de rocas.

2.3.2 Causa de los accidentes por caída de rocas

- No acuar: es el más torpe de los accidentes. Se produce por considerar en algún momento a esta actividad como innecesaria o como pérdida de tiempo. Su causa suele ser la exagerada confianza por conocimiento de la actividad.
- Acuar en forma deficiente: este se produce cuando los trabajadores sólo hacen un examen visual de la zona de riesgo y se limitan a botar solo aquellas piedras que a simple vista se aprecian sueltas.
- Falta fortificación: se produce cuando se utiliza la acuar para asegurar terrenos que por su inestabilidad debieran fortificarse.
- Acuar incorrecta: estos accidentes ocurren cuando la acuar se ejecuta en forma incorrecta.

Como ejemplo se puede señalar:

- Posición peligrosa: cuando el personal se ubica bajo la línea de caída de planchones o cuando los planchones rebotan contra otras rocas u objetos y se proyectan al trabajador.
- Uso inadecuado de las herramientas: cuando el personal utiliza barretillas muy cortas y trabaja sobre superficies improvisadas o inadecuadas para alcanzar zonas de mayor altura.

2.3.3 Medidas preventivas generales para evitar la caída de rocas

La caída de planchones puede ocasionar daños tanto a las instalaciones materiales como a los equipos. Asimismo, puede afectar seriamente a los trabajadores. Para evitar estas lamentables consecuencias debe realizarse una permanente acción preventiva, la cual debe incluir:

- Adecuado diseño de las labores mineras y de los diagramas de disparo.
- Adecuada dosificación de explosivos al objeto de evitar sobre golpes de cajas y techos, lo cual fragmenta y debilita innecesariamente las caras libres.
- Programas de acuar, reforzamiento y fortificación.

2.4 ACUÑADURA

La acuñaadura es la operación destinada a desprender oportunamente planchones o material rocoso suelto susceptible de caer desde las cajas y/o techos, evitando que caigan imprevistamente y provoquen lesiones y daños, cuyo objetivo es verificar, detectar y hacer caer de manera controlada estas rocas y/o planchones que se encuentren desprendidos y/o ligeramente desprendidos impidiendo que caigan de forma imprevista. La Acuñaadura es una labor que se puede realizar de manera manual o mecanizada, además esta operación se debe realizar las veces que sea necesario; esto dependerá principalmente de las condiciones del terreno y de las operaciones que allí se efectúen. La cual se deberá efectuar de forma obligatoria.

La acuñaadura debe efectuarse de manera:

- Planificada
- Sistemática
- Controlada
- Debe realizarse las veces que sea necesario.

Acuñaar es una actividad obligatoria y permanente que se debe realizar en un determinado sector o zonas agrietadas, donde principalmente se debe prohibir el paso de personas o vehículos hasta que el sector se encuentre seguro, colocando barreras o letreros avisando de esta medida. Se debe verificar en la zona de acuñaadura la existencia de instalaciones eléctricas o cañerías de aire comprimido o agua, las que deberán protegerse por la eventual caídas de planchones sobre ellas. El personal que desarrolla esta actividad debe estar preparado, de manera que sepa dónde y cómo ubicarse y cómo manejar eficientemente las herramientas para realizar esta labor.

La secuencia para revisión y acuñaadura en galerías que no estén fortificadas deben ser inspeccionadas periódicamente para evaluar sus condiciones de estabilidad y requerimientos de “acuñaadura”, donde se debe comenzar en el techo y continuar en las cajas, en ambos casos desde atrás hacia la frente de trabajo, debiendo realizarse de inmediato las medidas correctivas ante cualquier anomalía detectada, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Fractura del terreno.
- Planos de falla.

- Rocas sospechosas.
- Debe realizarse con la iluminación adecuada.
- Los acuñadores deben tener un rango adecuado a la sección.

La acuñadura debe estar siempre presente en el desarrollo de una excavación en roca, sea ésta una galería, un pique, un desquinche, un camino en una ladera, etc., ya que en estos trabajos se generan planchones, cualesquiera sean las características de la roca y de la excavación.

2.4.1 Causas específicas de los accidentes

En minería, la acuñadura se genera entre el 30% y 40% de los accidentes de trabajo y en la mayoría de los casos, son gravemente incapacitantes o fatales. Además de la inadecuada o falta de fortificación, generalmente los accidentes que se producen por caídas de roca se deben a las siguientes causas:

- Falta de acuñadura: Los trabajadores confían sólo en una revisión ocular o en la creencia que el cerro no presenta mayores problemas de planchoneo, por lo que se piensa que acuñar es una pérdida de tiempo.
- Acciones inseguras al acuñar: Los accidentes también ocurren, por ejemplo, cuando el trabajador toma una mala posición para acuñar, colocándose muy cerca del lugar donde caerá el planchón, o por no usar el equipo adecuado.
Otros accidentes se producen por emplear barretillas muy cortas y trabajar sobre superficies improvisadas o inadecuadas para alcanzar zonas de mayor altura.
- Acuñadura en forma deficiente: A veces la caída de rocas ocurre a pesar de haber acuñado previamente una labor, ya que se ha hecho botando sólo aquellas rocas que se ven sueltas de manera más evidente, sin considerar que hay rocas sueltas que no se ven a simple vista.

2.4.2 Recursos necesarios en la operación de acuñadura

Acuñar es la operación básica para prevenir accidentes por caída de planchones, donde se detallará los recursos que son necesarios y los requisitos que deben cumplirse para realizar una acuñadura oportuna, completa y segura.

2.4.3 Trabajadores

Los trabajadores-acuñadores deben ser muy responsables, con gran experiencia en trabajos mineros y amplio conocimiento de los riesgos y las medidas de control, así como de las normas y procedimientos sobre acuñadura. Es conveniente capacitar a todos los trabajadores mineros en técnicas de acuñadura, a objeto que sepan ubicarse y actuar eficientemente al realizar esta labor.

2.4.4 Equipo de protección personal:

Los acuñadores deben contar con un completo equipo de protección personal: calzado o botas de seguridad, cinturón minero, lámpara bien cargada, casco de seguridad con barbiquejo, protector de oídos, protector de ojos, protector respiratorio para polvo y gases, guantes de cuero, casaca o chaleco reflectante, cuerda de vida y auto rescatador.

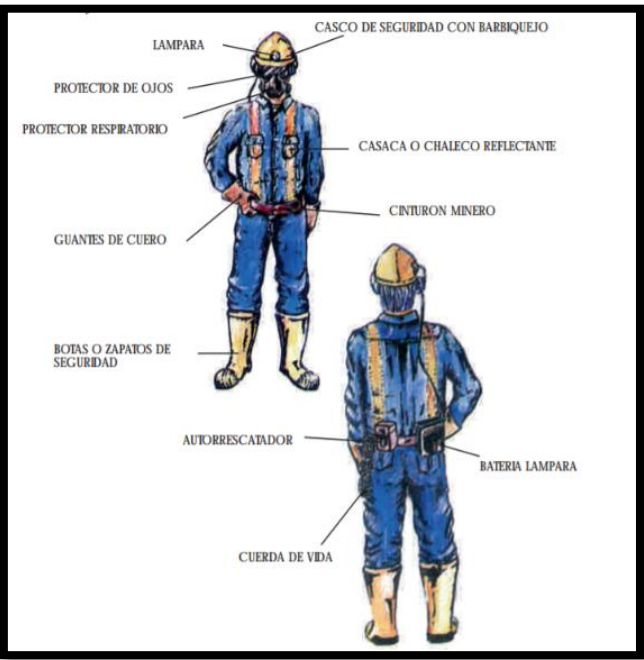


Figura 2-1. Equipo de Protección Personal

Fuente: Acuñadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

2.4.5 Herramientas para acuar

Para realizar trabajos de acuar se deben utilizar herramientas diseadas para acuar, tales como “barretillas de seguridad”, “laucas” o “acuaradores”. Sus dimensiones mínimas son de 1,2 metros para el trabajo en chimeneas, de 1,8 metros para labores de realce y de 2,4 metros para otras labores, con un máximo de 4,5 metros.

Las barretillas deben tener buena resistencia a los golpes y estar fabricadas de fierro duro, aluminio o fibra de vidrio. Su largo oscila entre 1 metro y 20 centímetros como mínimo y 4 metros con 50 centímetros como máximo. La sección puede ser circular o elíptica, con un diámetro máximo de una y media pulgada.

No est  permitido el uso de coligues en la acuar de galerías subterráneas, como tampoco reemplazar este elemento por otros como cucharas de carguío, brocas, picotas, palas o el uso de las manos.



Figura 2-2. Selección de Barretilla

Fuente: Guía N 5 de operación de la pequeña minería perforación y acuar

La barretilla de seguridad tiene un pequeño escudo, cuyo objetivo es proteger las manos del acuarador o trabajador.

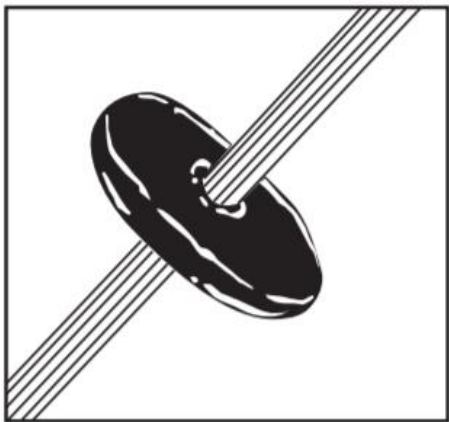


Figura 2-3. Pequeño Escudo Circular de la Barretilla

Fuente: Acuñadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

En uno de sus extremos esta herramienta (barretillas) está provista de un dispositivo en punta o una bola que es útil para detectar planchones. En el extremo opuesto tiene forma de paleta y sirve para hacer palanca y desprender el material suelto.

Toda empresa debe contar con un número suficiente de barretillas de seguridad, de distintos tamaños y en buen estado, para cubrir sus necesidades.

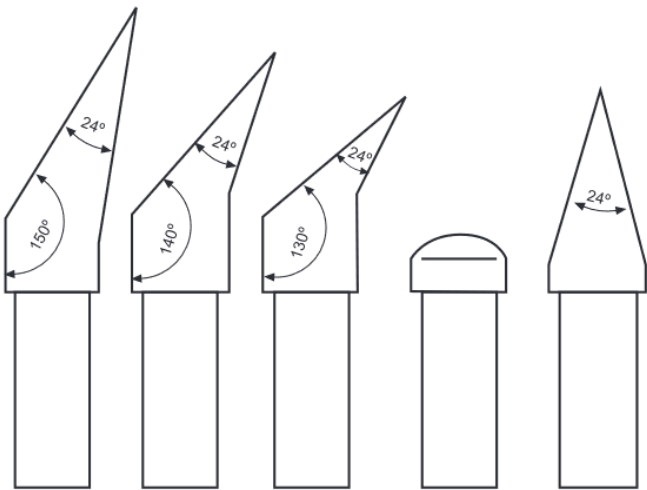


Figura 2-4. Tipos de Puntas de Barretillas.

Fuente: Acuñadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

2.4.6 Procedimiento de acuñadura

El procedimiento de acuñadura contempla las siguientes etapas:

- Instrucciones del supervisor.
- Verificación de las condiciones generales de seguridad.
- Localización de la zona a acuñar.
- Dirección de avance al acuñar.
- Posición segura para acuñar.
- Detección de planchones.
- Operación de acuñadura.

2.4.7 Instrucción del supervisor

- El supervisor a cargo debe entregar instrucciones precisas sobre el trabajo de acuñadura, de cómo trabajar de la forma correcta como posición del trabajador y postura.
- Hacer énfasis en las medidas de prevención y en el buen uso de: equipos de protección personal, herramientas y superficies de trabajo.
- Posteriormente, el supervisor debe verificar el cumplimiento de sus instrucciones en el terreno mismo.



Figura 2-5. Instrucciones del Supervisor Antes de Cada Acuñadura

Fuente: Acuñadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

2.4.8 Verificación de las condiciones generales de seguridad

Antes de comenzar la acuñadura se deberá verificar las condiciones de ventilación y visibilidad.



Figura 2-6. Verificación de las Condiciones de Ventilación y Visibilidad

Fuente: Acuñadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

Se detectan humos y gases, se debe informar previamente al supervisor para que se haga una evaluación y se superen los riesgos con ventilación adecuada.

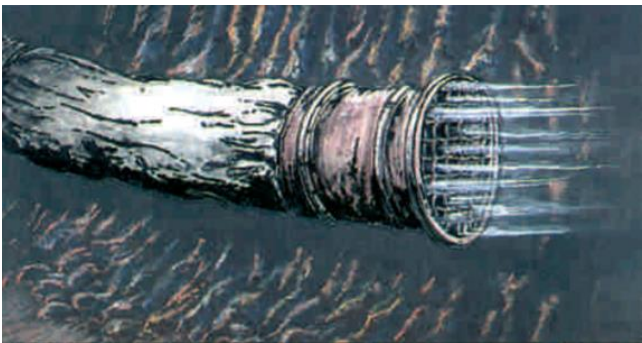


Figura 2-7. Sistema de Ventilación

Fuente: Acuñadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

2.4.9 Localización de la zona a acuñar

El operario a cargo de cada acuñadura deberá ubicarse en un sitio seguro, acuñado, reforzado o fortificado. Observando y determinando la zona afectada por el disparo que deberá acuñar. Es importante que esté dotado de una lámpara en buenas condiciones para iluminar adecuadamente el área inspeccionada.

Al realizar esta observación no se deberá exponerse a la caída de planchones. Por ende, no se debe transitar bajo la zona que no está acuñada, “está estrictamente prohibido transitar o trabajar en zonas que no han sido acuñadas”.



Figura 2-8. Zona de Acuñamiento

Fuente: Acuñadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

2.4.10 Dirección de avance al acuñar

El inicio de cada acuñadura, el trabajador deberá partir desde la zona más segura, acuñando en avance, de esa forma siempre quedará ubicado bajo lugares ya acuñados y podrá aproximarse en forma segura hacia la frente de avance.

En ocasiones ocurren accidentes porque se acuña solamente la zona más próxima a la frente, descuidándose tramos anteriores.

2.4.11 Posición segura al acuñar

Ante cualquier acuñadura, el personal a cargo se deberá ubicar a la mayor distancia posible del punto en que caerá el planchón. Por lo que es necesario contar

con una herramienta suficientemente larga, la cual se debe colocar a un costado del cuerpo del trabajador y manipularla a no más de 45 grados, con respecto a la horizontal, tanto al golpear como al palanquear rocas sueltas. Esta inclinación le mantendrá distante del punto de caída.

Se debe adoptar una posición equilibrada, con los pies bien apoyados sobre el piso y ligeramente separados, manteniendo un pie más adelantado que el otro.

Además, preocuparse de pisar terreno firme o estable y mantenerse atento para retirarse rápidamente hacia la zona ya acuada en caso de peligro.

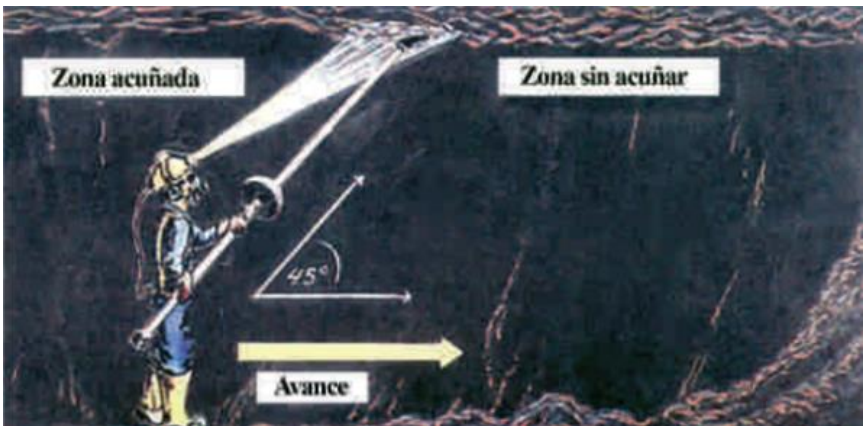


Figura 2-9. Dirección de Avance y Posición Segura para Acuar

Fuente: Acuadadura Manual, Asociación Chilena de Seguridad

2.4.12 Detección de planchones

La acuadadura debe ser oportuna, ejecutada correctamente y realizada en forma acuciosa, sistemática. En primer lugar, acue el techo y déjelo tan liso como sea posible, luego acue las cajas.

Detectar toda roca suelta golpeando con el extremo en punta o bola de la herramienta. Si se escucha un sonido hueco (TUMB) significa que hay rocas sueltas y deberá botarlas inmediatamente. Si el sonido es metálico (TLANG), significa que el cerro está firme en ese punto.



Figura 2-10. Detección de Planchones

Fuente: AcuñaManual, Asociación Chilena de Seguridad

2.4.13 Operación de acuñadura

Durante la operación del acuñamiento. Si se percibe “crujidos y goteo”, son señales muy claras de peligro de caída de rocas.

Al acercarse a la frente se deberá utilizar agua para regar la marina y disminuir el polvo y los gases. También se debe aplicar agua a la frente de disparo con el objeto de detectar tiros quedados. Si se detecta alguno o restos de explosivos, se le informara al personal especializado para que proceda de acuerdo con las normas de seguridad correspondientes, “nunca se debe introducir la herramienta en fondos de tiros, en tiros quedados o con restos de explosivos”.

2.4.14 Postulado de acuñadura

Siempre debe acuñarse, antes, durante y después de cada operación minera.

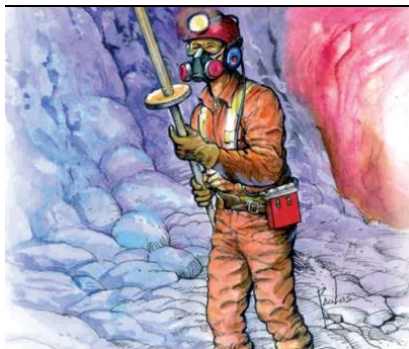


Figura 2-11. AcuñaManual

Fuente: AcuñaManual, Asociación Chilena de Seguridad

2.5 FORTIFICACIÓN

Esta tiene el objetivo de resguardar a los trabajadores y evitar derrumbes en la minería subterránea, la industria ha implementado en la construcción de túneles el proceso de fortificación, el cual consiste en un procedimiento para recubrir o reforzar el entorno de una labor subterránea, por medio de un elemento de sustento como, por ejemplo:

- Pernos (helicoidales, fibra, Split Set, swellex)
- Malla (biscocho, acma)
- Shotcrete (con fibra, sin fibra)
- Marcos (metálicos, noruegos, madera)
- Cables (simples, dobles, triples)

2.6 CLASIFICACIÓN DE LA FORTIFICACIÓN

2.6.1 Fortificación Activa o Reforzamiento:

Es aquel método de soporte que permite la acción de sujetar o sostener desde el mismo momento que son instalados y, al mismo tiempo, a modificar estructuralmente la roca para hacerla “auto soportable”, mediante el empleo de una carga externa sobre el macizo rocoso.

Los métodos más empleados son el anclaje de rocas (puntuales o repartidas), y las proyecciones neumáticas de hormigón (shotcrete) o mortero (gunita).



Figura 2-12. Pernos de Fricción Split Set

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

2.6.2 Fortificación Pasiva:

Es aquella en que, por fundamentos de seguridad y operacionales, no ocupa ninguna carga externa al momento de la instalación, este tipo de fortificación solo trabaja si en el macizo rocoso se percibe algún tipo de deformación. De la misma manera se define como fortificación pasiva los sistemas que transforman el exterior de la excavación.

Los métodos más empleados son la en maderación, los marcos metálicos (rígidos, deslizantes o articulados), el hormigón armado (vigas/marco de concreto, mampostería), shotcrete, malla.



Figura 2-13. Fortificación con Madera

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

2.6.3 Fortificación Combinada:

Es aquella en que, por razones operacionales y de seguridad, combina refuerzos y soportes. Los métodos más utilizados son la enmaderación (reforzada con perfiles metálicos), los marcos de acera/pernos de anclaje y shotcrete, e hormigón proyectado (reforzado con cerchas o perfiles metálicos), y el shotcrete con pernos de anclaje y mallas de acero.

Los soportes deben ser ubicados de manera uniforme, sistemática y en los intervalos apropiados.

- Grouting: son inyecciones de cementos o resinas que tienen un cierto tiempo de fraguado para que este ingrese en las fisuras y después las consolide, la presión de inyección se debe estudiar de acuerdo con las fisuras o grietas de la roca, se usa principalmente para eliminar filtraciones de agua o consolidar sectores fracturados.
- Sistema de hormigón proyectado con malla y perno: en caso de ser necesario y garantizar la permanencia de labores subterráneas, se debe adicionar hormigón proyectado (shotcrete) al sistema perno malla.

2.7 FORTIFICACIÓN CON MADERA

El enmaderado es uno de los sistemas de fortificación más utilizado a nivel de pequeña minería, por la factibilidad de manejo, colocación y bajo costo. Este tipo de fortificación tiene la ventaja que, al momento de recibir fuertes presiones de algún presunto derrumbe, este hace que la madera no se quiebre de forma inesperada y brusca, esto es debido a su gran elasticidad; lo que dará aviso anticipado en caso de que sea necesario reemplazarla o reforzarla.

La madera se adapta mejor a las necesidades de los diferentes terrenos debido a su capacidad de trabajar satisfactoriamente a la FLEXIÓN (fuerzas perpendiculares a las fibras, y al PANDEO (fuerzas en dirección a sus fibras).

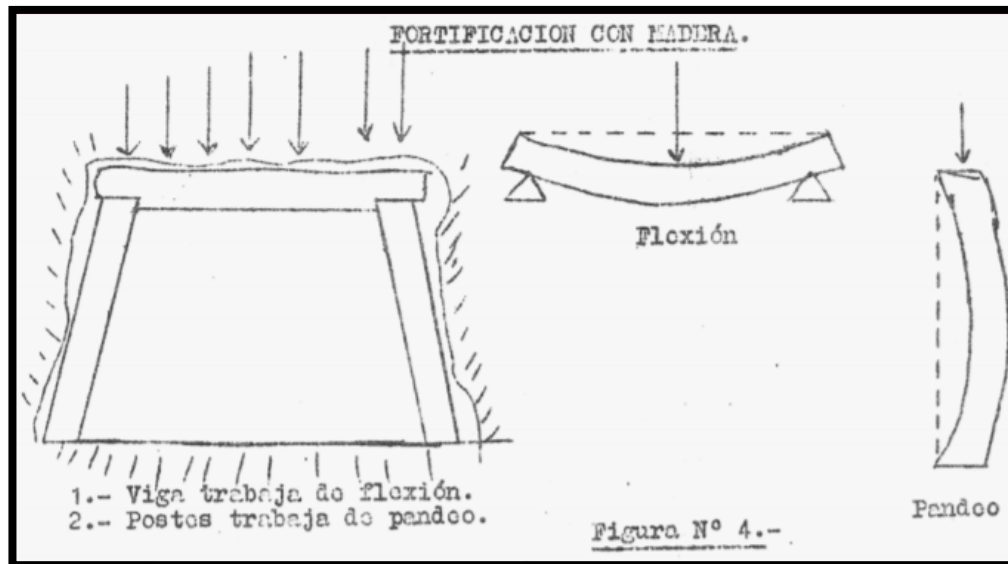


Figura 2-14. Fuerzas de Flexión y Pandeo

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

2.7.1 Para elegir correctamente la madera a utilizar, se deben considerar dos factores fundamentales:

- Las demandas que puede estar sometida, pudiendo ser del tipo compresión perpendicular a la fibra, o bien pandeo, flexión, tracción y esfuerzo de corte.
- Las condiciones ambientales en las que se utilizara, que puede ser desde húmedo a seco, y que influye en la variación de peso, durabilidad y propiedades mecánicas.

2.7.2 Ventajas y desventajas de la fortificación con madera

2.7.2.1 Ventajas:

- Facilidad al ser cortada, transportada e instalar.
- Da señales audibles y de su situación de estabilidad.

2.7.2.2 Desventajas:

- Resistencia depende de sus estructuras fibrosas, sus defectos naturales y su humedad.

- Baja resistencia a los empujes de la roca.
- Se degrada fácilmente por medio de parásitos (hongos, insectos).
- Es combustible.
- Es de corta vida.
- Dificil adaptación a las irregularidades del perímetro de la labor.
- Disminuye el espacio útil de la galería.

2.7.3 Marcornas de madera

Se define como marcornas el conjunto de una viga y dos postes debidamente ensamblados.

- La viga o sombrero: es una pieza rolliza, previamente preparada y colocada en forma horizontal apegado al techo.
- Los postes: son dos piezas rollizas que sostienen firmemente las vigas por sus extremos, afirmados al piso o sobre cedentes y separados convenientemente hacia el exterior de la galería. El sistema consiste en colocar en espacios previamente preparado marcos de madera a distancias regulares.

El sistema consiste en colocar en espacios previamente preparado marcornas de madera a distancia regulares.

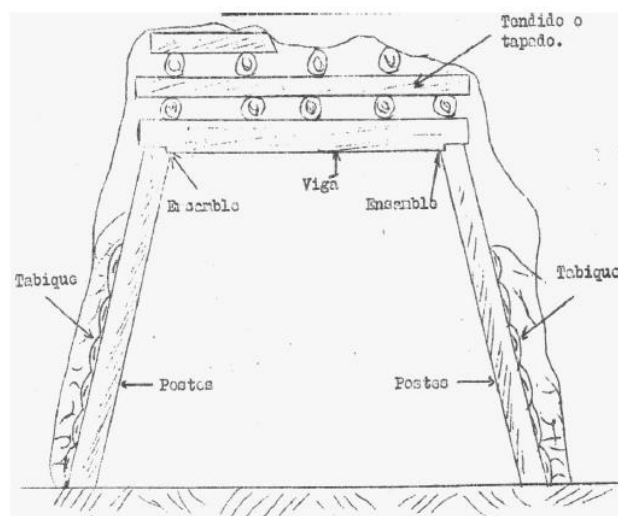


Figura 2-15. Marcorna Correcta

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

2.7.3.1 Para que el sistema sea realizado de forma correcta, las marcornas deben cumplir los siguientes requisitos

La viga o sombrero:

- Las vigas preparadas con las grietas muy abiertas en el sentido indicado, se recomienda no usarlas.
- Los cortes para el ensamble no deben quedar en las grietas en la misma línea de asentamiento del poste, debido a que con las primeras presiones el poste las rasga con facilidad.



Figura 2-16. Grietas en las Vigas

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

Posición de la Viga

- No deben ir en contacto de forma directa con el techo. Su destrucción es muy rápida por falta de cedencia, para ella se utiliza el tapado o tendido al techo.
- No deben quedar apoyadas en cheminales, la roca al agrietarse puede provocar su caída.
- No deben usarse para su sostenimiento pedazo de poste apoyados en salientes de la roca, por lo mismo de lo anterior.
- Deben ubicarse de forma horizontal, aunque para ello sea necesario romper el techo de la labor aplomada y coloca a la altura pedida respecto a la razante.
- No deben quedar presionadas en sus extremos, se quiebran fácilmente sin carga y con mayor razón por las presiones laterales. Las paredes de las galerías deben permitir la suficiente holgura para que las puntas queden libres.

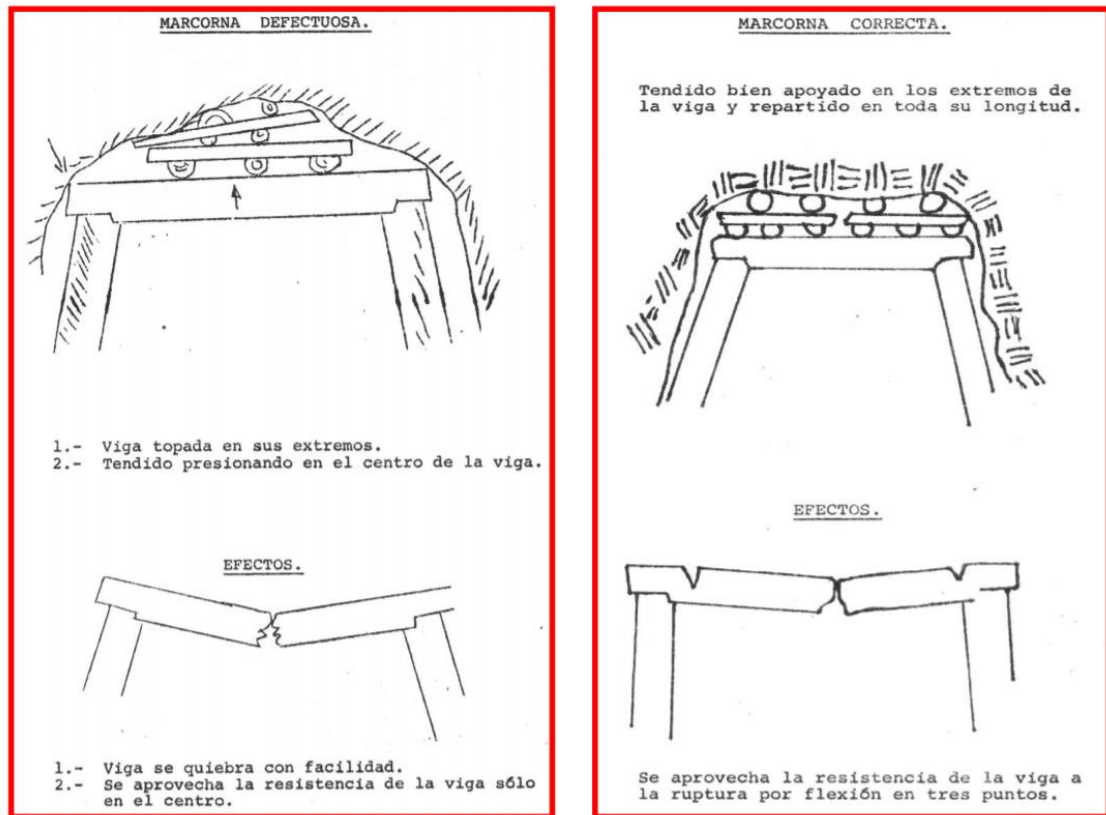


Figura 2-17. Marcorna Defectuosa y Marcorna Correcta

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

2.7.3.2 Posición de los postes

- La abertura de pata debe ser la indicada. El ángulo de inclinación o de cierre debe ser de 12° hacia la tosca. Esta abertura de pata permite lograr un apriete de los postes al actuar los empujes laterales del terreno.
- En las labores inclinadas debe tener una inclinación media con relación a la pendiente de la galería y las presiones normales y verticales al peso o techo de la labor.
- En labores a nivel (maestras) los postes se colocan verticales o normales a la razante.
- El asentamiento con la viga, ensamble, debe ser correcto.

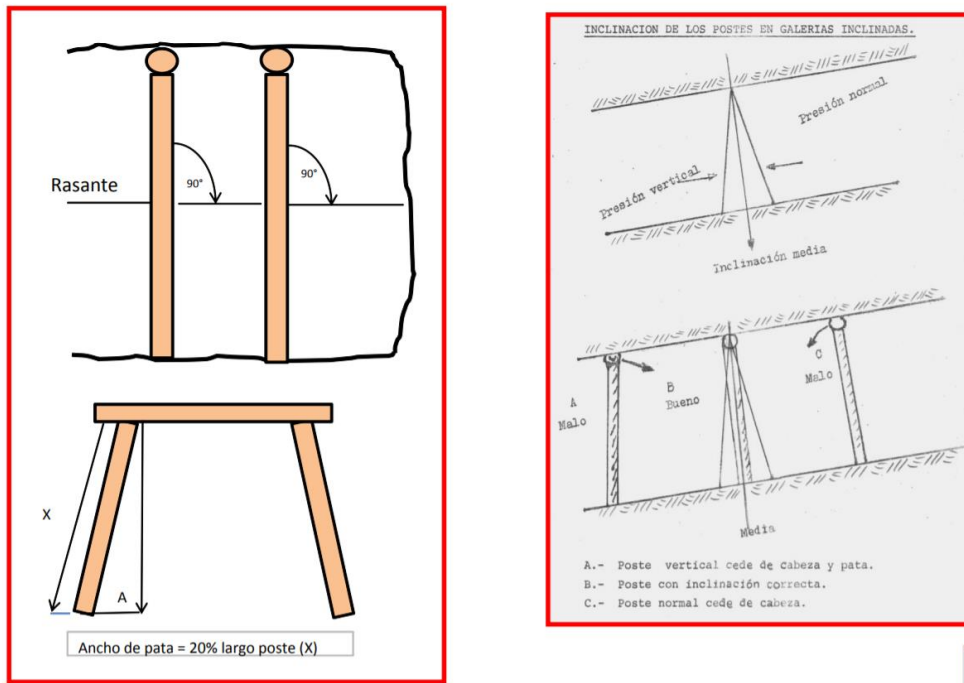


Figura 2-18. Inclínación de los Postes en Galerías Inclínadas

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

2.7.3.3 Elementos auxiliares de fortificación con Marcornas de madera:

- Tendidos o tapados: es la madera que se ubica entre la viga y el techo en dirección de la galería, apoyados en un cheminal o viga atrás y tentenadas adelante sobre la viga y a una distancia máxima de 0,40 m., con el objetivo de evitar las caídas de tosca y servir de cedencia a la marcorna. Se deben poner para evitar que rompan las vigas por contacto directo con el cerro. La distribución del tapado debe ser pareja, con distintos puntos de apoyo (4 a 6). Los castillos que pueden hacerse en picaduras del techo (sobre las vigas), deben elaborarse con los puntos de apoyo, para que tengas una resistencia uniforme, de lo contradictorio se quebraría la viga con facilidad en el centro.



Figura 2-19. Tendidos

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería



Figura 2-20. Marcorna en Contacto Directo con el Techo

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

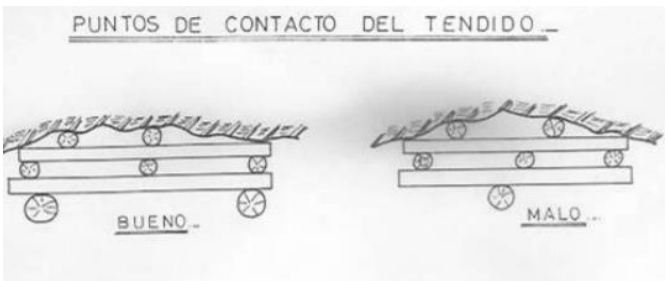


Figura 2-21. Puntos de Contacto del Tendido

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

- **Tabiques:** Es el revestimiento de los costados de la galería con madera entrelazada y relleno con tosca, hasta una altura de $\frac{2}{3}$ la longitud del poste, y en terrenos malos hasta $\frac{3}{4}$. Una mayor altura cargaría demasiado al poste, rasgaría la pestaña de corte de la viga. La distancia entre las piezas de madera debe ser como máximo 30 cm. y en lo posible tomar 3 postes para evitar desprendimientos de toscas. Debe realizarse con tosca granada y su parte de mayor longitud irá en dirección hacia la caja de la galería para obtener una mayor trabazón de la “pirca”. Con la tosca molida se rellenan los huecos interiores, dando al conjunto una mayor resistencia.

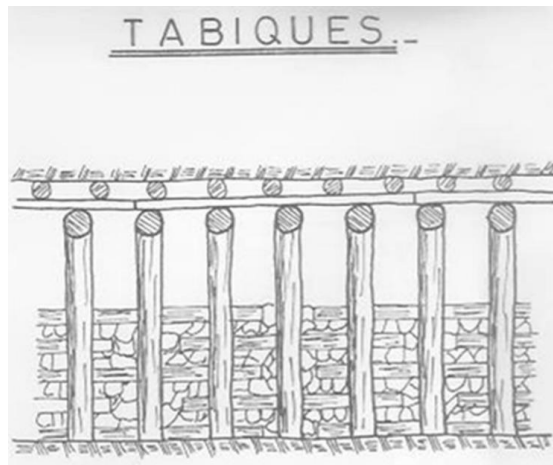


Figura 2-22. Tabiques

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

- **Cedentes:** Son trozos de tablones o cabezales, ubicados sobre sobre dos chocos, sobre los cuales se apoyan los postes. La abertura de los chocos debe permitir la pasada del poste al quebrarse el tablón o cabezal; su interior debe estar limpio. Los cedentes deben tener una mayor cedencia que los elementos contiguos: castillos y paquetes, para evitar que las cargas se concentren en las marcornas. Su objetivo es prolongar la vida útil de las marcornas.

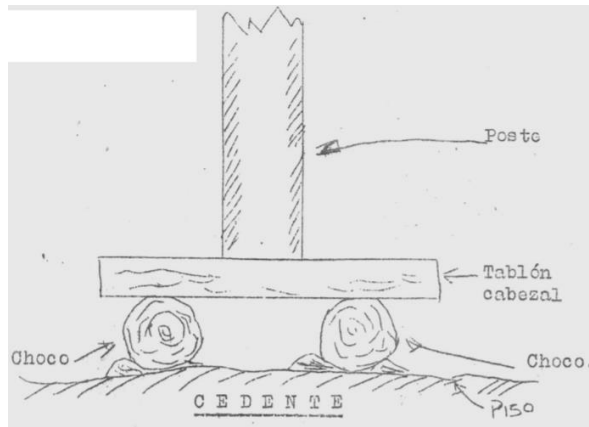


Figura 2-23. Cedentes

Fuente: Fortificación y acuñadura, Guía N°5 de operación para la pequeña minería

- Trabas: son trozos de guiones a medida que se colocan entre las vigas y los postes para evitar que las marcornas se descuadren. Se ubican en un numero de 6, para permitir un trabajo armónico de la entibación.

2.7.4 Caracterización de la madera

La densidad y el agua de la madera son características importantes las cuales establecen propiedades de esta para su posterior uso en las faenas mineras.

- Densidad: entre más densa es la madera, está la tendencia creciente a la tensión y resistencia.
- Agua: un árbol recién talado tiene una humedad del 45% aproximadamente, la cual se va perdiendo, dependiendo la temperatura y de la humedad de donde se ubique. El 25% está en las células vivas de la madera y el resto en los huecos de las fibras, la madera húmeda tiene menor resistencia a la tensión en comparación con la madera seca o de baja humedad.

2.7.5 Maderas utilizadas en la fortificación en minería subterránea

Generalmente se utilizan maderas blandas de fibra larga como el eucalipto, roble, coihue y algunos tipos de pino.

	Peso	Resistencia		
	kg/m	kg/cm ²		
		Compresión	Tracción	Corte
Pino blanco	410	379	526	114
Encina	740	492	1040	174
Pino Oregón	515	456	845	330

Tabla 2-1. Características de Algunos Tipos de Madera

Fuente: Fortificación de Minas SERNAGEOMIN Latorre J.

2.7.6 Calidad requerida de la madera

Para verificar el comportamiento de las estructuras de fortificación con madera en minería subterránea, se debe constatar algunos elementos, los cuales son:

- Aptitud de prevenir, visualmente señalando cercana a colapsos.
- Resistencia mecánica, adecuada para resistir las compresiones impuestas (longitudinal y axial, flexión y cizalle).
- Aptitud de continuidad, para extender su soporte por el mayor tiempo posible después que comience su ruptura.
- Inalterabilidad, para mantenerse activa por el tiempo en que estará en actividad de labor minera.

2.7.7 Anomalías que tienen efecto en las propiedades físicas de la madera

Al momento de seleccionar la madera adecuada para la fortificación se debe presenciar ciertas anomalías las cuales no deben presentarse al momento de trabajo, es por esto por lo que se podrán identificar (grietas, pieza afectada, grietas interiores, capas no concéntricas, nudos y fibras inclinadas):

- Anomalías de estructura: anillos de crecimiento no concéntricos, nudos, entre otros.

- Anomalías en composición química: por acción de organismos parasitarios o escurrimiento de resina.
- Anomalías de forma: en la sección transversal se pueden mostrar estrías, mientras que, por la parte del perfil axial, las más comunes son la conicidad y flexión.

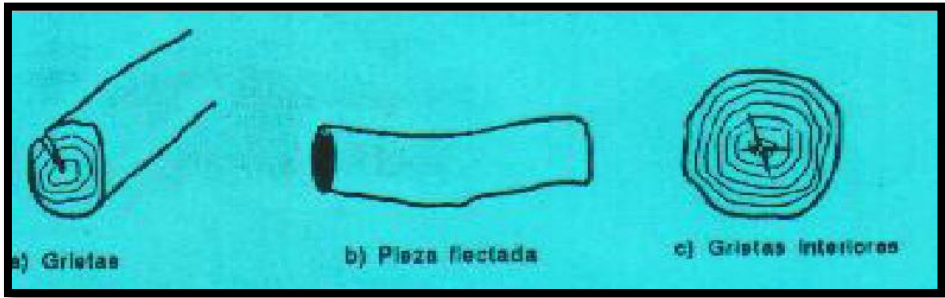


Figura 2-24. Anomalías de la Madera

Fuente: Acuñadura manual y fortificación de minas subterráneas, Jorge Clunes Almonte

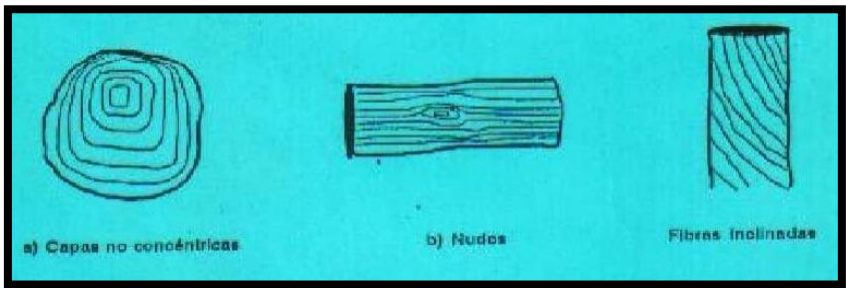


Figura 2-25. Anomalías de la Madera

Fuente: Acuñadura manual y fortificación de minas subterráneas, Jorge Clunes Almonte

2.7.8 Tiempo de vida de la madera

La madera es el material más barato que puede utilizarse. En la mayoría de los casos es satisfactorio, desde el punto de vista de su resistencia, pero su corta duración es la característica desfavorable.

La duración de la madera en la mina es muy variable, pues depende de las condiciones en que se trabaje, por ejemplo:

- La madera seca, dura mas
- La madera descortezada, dura más que aquella que se conserve la corteza.
- La madera curada, tratada con productos químicos para evitar su descomposición, dura más que la que no ha sido tratada.
- La madera en zona bien ventilada dura más que en una zona húmeda y caliente.

Por consiguiente, se puede estimar que la madera tiene una vida que fluctúa entre uno o tres años.

2.8 FORTIFICACIÓN CON MARCOS METÁLICOS

Este sostenimiento tradicional, desde el punto de vista de la temporalidad es del tipo definitiva y desde el punto de vista de la funcionalidad es un sistema de fortificación pasiva, el cual es utilizado generalmente para el sustento permanente de labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada y/o muy débil que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos.

Los marcos metálicos son utilizados para obtener un más control efectivo de la estabilidad en defectuosas condiciones del túnel, debido a su excelente resistencia mecánica y sus propiedades de deformación, lo cual contrarresta el cierre de la excavación y evita su ruptura prematura.

Este sistema tiene como ventaja que continúa proporcionando soporte después que hayan ocurrido deformaciones o desprendimientos importantes.

Los marcos son contruidos con perfiles de acero, según los requerimientos de la forma de la sección de la excavación, es decir, en forma de baúl, herradura o incluso circulares, siendo recomendable que éstos sean de alma llena.

2.8.1 Ventajas y desventajas de la fortificación con marcos metálicos

2.8.1.1 Ventajas:

- Soporta altas solicitudes y deformaciones.

- Alta resistencia a ambiente agresivo.
- Material homogéneo con características uniformes en toda la estructura.
- Incombustible.

2.8.1.2 Desventajas:

- Dificil adaptación a las irregularidades de la labor minera.
- Limitación en galerías de grandes dimensiones de sección.
- Disminuye el espacio útil de la galería.

2.8.2 Tipos de marco de acero:

2.8.2.1 Rígidos:

Marcos conformados por dos o tres segmentos que son unidos por platinas y pernos con tuerca. No se emplea en zonas de sobre presión, ya que puede colapsar al ser sobrepasada su resistencia.

En la actualidad solo se usan en las bocas de las minas o sectores donde por razones tectónicas, de mala calidad de la roca o explotaciones hundidas antiguas se ha perdido totalmente las propiedades resistentes de la roca.

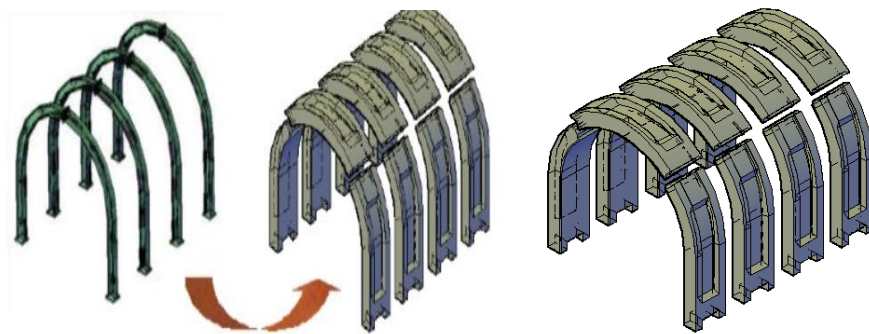


Figura 2-26. Marcos Metálicos Rígidos

Fuente: [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura\(RaulGonzalezSernageomin\).pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura(RaulGonzalezSernageomin).pdf)

2.8.2.2 Cedentes o deslizantes:

Conformados usualmente por tres segmentos que se deslizan entre sí, sujetos y ajustados con uniones de tornillo.

- Ceden cuando el empuje de la roca sobrepasa un cierto valor.
- Se emplea en terrenos sometidos a grandes esfuerzos
- Debe asegurarse el deslizamiento de los segmentos del marco.

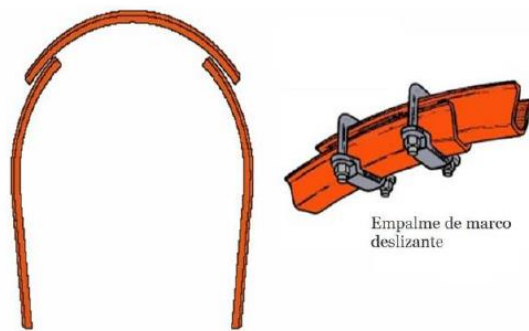


Figura 2-27. Marcos de Acero Deslizantes

Fuente: [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura\(RaulGonzalezSernageomin\).pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura(RaulGonzalezSernageomin).pdf)

2.9 **FORTIFICACIÓN CON MALLAS DE ACERO**

Las mallas de acero para fortificación de túneles son fabricadas por alambre de acero especial de alta resistencia, en diferentes grosores, que permitirían manejar una mayor distancia entre los anclajes, con el objetivo de poder contener rocas de menor tamaño granulares que caen desde el techo y cajas.

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 cuatro veces superior al galvanizado habitual, lo que lo hace útil en ambientes mineros.

En la construcción minera subterránea habitualmente se utilizan las mallas mineras electrosoldadas y las tejidas, trenzadas o de “bizcocho”.

2.9.1 Malla soldada

Se caracteriza por tener medidas y pesos conocidos, tienen uniones más sólidas y terminaciones de alta calidad, al tener uniones soldadas que no se corren, las secciones de acero se mantienen sin variación y por tratarse de elementos prefabricados, las mallas soldadas son fáciles y rápidas de instalar, ahorrando tiempo y dinero.

Es mucho más rígida que la malla trenzada, lo cual hace que sea difícil acomodarla a las irregularidades de la roca, pero crea un mayor confinamiento de la zona entre pernos. Su principal ventaja es la posibilidad de colocar Shotcrete en una etapa posterior.

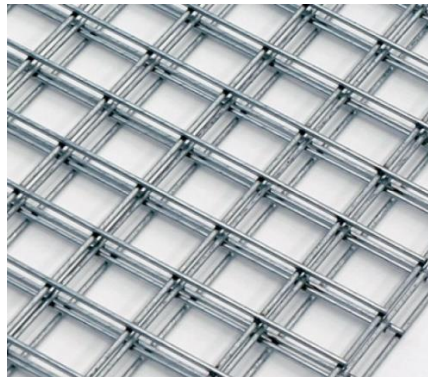


Figura 2-28. Malla Soldada

Fuente: <http://www.insumos-industriales.com/catalogo/c-productos-siderurgicos/sc-mallas-electrosoldadas/103/malla-electrosoldada-de-25x25-de-1200x3000/>

2.9.2 Malla trenzada o de “bizcocho”

Se identifican por su flexibilidad, resistencia y capacidad de absorber importantes cantidades de energía, dependiendo de su instalación. Es muy eficiente en la retención de bloques pequeños inestables, provocados por eventos sísmicos, activaciones estructurales y otros. Su uso con Shotcrete es inapropiado, debido al considerable rebote. Se recomienda instalarla en tramos de 1.0 – 1.5 m. con un patrón de pernos de 1.5-2.0 m la malla soporta 2.5 t x m². Su uso con Shotcrete es inapropiado, debido al considerable rebote.

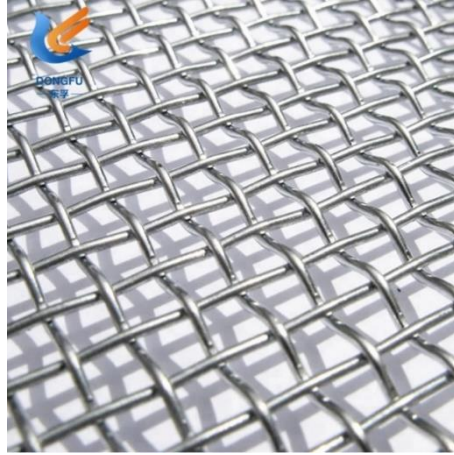


Figura 2-29. Malla Trenzada

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/wholesale/Venta-al-por-mayor-alambre-de-acero-inoxidable-trenzado-de-la-malla.html>

2.10 **FORTIFICACIÓN CON SHOTCRETE**

Método Shotcrete se descompone de Shot (disparar) y crete (concreto) que se utiliza en la construcción de túneles para formar tanto el revestimiento temporal como permanente, donde el hormigón proyectado o Shotcrete es un material transportado a través de una manguera, que se lanza neumáticamente, a alta velocidad, contra una superficie. La fuerza con que el hormigón o mortero llega a la superficie hace que la mezcla se compacte logrando que esta se sostenga a sí misma, sin recurrir, incluso en aplicaciones verticales. Adoptado por la minería subterránea como un medio esencial de soporte de rocas.

2.10.1 **Consideraciones generales del Shotcrete**

Para una óptima aplicación de fortificación con shotcrete se necesita considerar algunos factores importantes tales como: el diseño de la mezcla (cemento, agua, áridos), el espesor usado en la fortificación, el tiempo de fraguado o aplicación de la mezcla, el tipo de fibra utilizado, la presión de aire comprimido para una correcta compactación en las paredes de la excavación, el tipo de aditivo acelerador utilizado y por supuesto la experiencia del operador al aplicar la mezcla.

2.10.2 Materiales de elaboración de la mezcla

El shotcrete es básicamente una mezcla de cuatro materiales: cemento, arena, agua y áridos. Sin embargo, además se puede complementar con materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo.

- **Cemento de alta resistencia (cemento Portland):** Es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada hormigón.

Este cemento actúa como aglutinante en la mezcla del shotcrete y tiene la función de fijar el particular de agregado a la matriz. El cemento también es el lubricante principal del shotcrete, tiene un fraguado hidráulico o sea un fraguado rápido que hace obtener resistencias a las pocas horas de su mezcla.

La función principal del cemento es de fraguar extremadamente rápido, alcanzando resistencias tempranas de 120 kgf/cm² a las 24 horas de su aplicación y permitiendo ingresar a la preparación de frentes de trabajo a los pocos minutos de terminada la fortificación.

- **Áridos:** Los agregados de arena y grava constituyen el esqueleto de la matriz del shotcrete proyectado, siendo aproximadamente el 75% del volumen de la mezcla de shotcrete, arena y agua.
- **Arena:**
 - Deber ser resistente y limpia.
 - Proporciona junto al cemento la unión entre las partículas del árido.
 - Proporciona el poder adhesivo del shotcrete en la pared de la excavación.
 - Da propiedades impermeabilizantes a la mezcla.
- **Agua:** el agua cumple con dos importantes funciones para crear las mezclas de shotcrete, primeramente, reacciona químicamente con el cemento para producir la parte sólida de la pasta del cemento que es lo que le da resistencia al shotcrete y en segundo lugar le entrega la trabajabilidad de la mezcla, importante propiedad para formar una mezcla de shotcrete homogéneo y bien compactado.
- **Aditivos:** los aditivos se usan principalmente para mejorar y/o cambiar las propiedades del shotcrete que no pueden ser controladas correctamente por los componentes cemento, agua y áridos.
- **Adiciones (materiales finos):** Los materiales finos complementarios (escorias, cenizas volantes y humo de sílice) se utilizan en el shotcrete con el fin de

complementar el equilibrio de finos, mejorar las propiedades de durabilidad, aumentar la capacidad de retención de agua y reducir la presión de bombeo durante la aplicación.

- Fibras de esfuerzo: Se pueden utilizar sintéticas o de acero, una de sus funciones es aumentar el refuerzo estructural.

2.10.3 Formas en la que puede ser usado el Shotcrete

- Primario: Elemento encargado principal de mantener la estabilidad de la excavación.
- Complementario: Shotcrete utilizado como complemento de un sistema de fortificación primario.
- Reparador: Shotcrete utilizado para la reparación de un sistema de fortificación previamente instalado que presente deterioro o fallas, o que requiera de un aumento en sus niveles de fortificación.

El shotcrete proyectado es una excelente herramienta de soporte primario, secundario de estabilización de desarrollos de túneles por periodos de tiempo relativamente cortos. En la minería subterránea dinámica y moderna se hace necesario el uso del shotcrete por lo que se ha ido complementando con los métodos tradicionales de fortificación y en algunos casos reemplazándolos, obviamente dependiendo de las condiciones geomecánicas de las labores subterráneas.

2.10.4 Función del Shotcrete

Principalmente la fortificación con shotcrete con o sin fibra tiene dos grandes aplicaciones o efectos, los cuales son:

- Sellar las superficies de la roca: Rellenando las juntas y/u grietas existentes en la roca, evitando la caída de bloques pequeños y la alteración de la roca, de esta manera las labores subterráneas puedan mantener su capacidad de estabilidad por un periodo de tiempo más largo.
- Generar un anillo en el túnel o desarrollo subterráneo: Genera una resistencia que trabaja en forma similar a la de un marco, la que soporta las cargas de la roca al deformarse. También este anillo es capaz de resistir la carga puntual ejercida por pequeñas cuñas o bloqueas que quedan descansando sobre la capa de shotcrete.

2.10.5 Métodos de Shotcrete

El shotcrete se puede realizar con equipos robotizados o manualmente, por el método de vía húmeda o vía seca. Cuál es el método más adecuado depende tanto de las dimensiones de la obra y la cantidad de hormigón a proyectar, como de las circunstancias logísticas.

- Shotcrete por vía húmeda: El hormigón ya mezclado con agua se transporta por la tubería hasta la boquilla, donde se mezcla con el aire comprimido y el acelerador para proyectarse sobre el sustrato.
- Shotcrete por vía seca: La mezcla seca se transporta mediante aire comprimido hasta la boquilla, donde se mezcla con agua y el acelerador para ser proyectado sobre el sustrato.

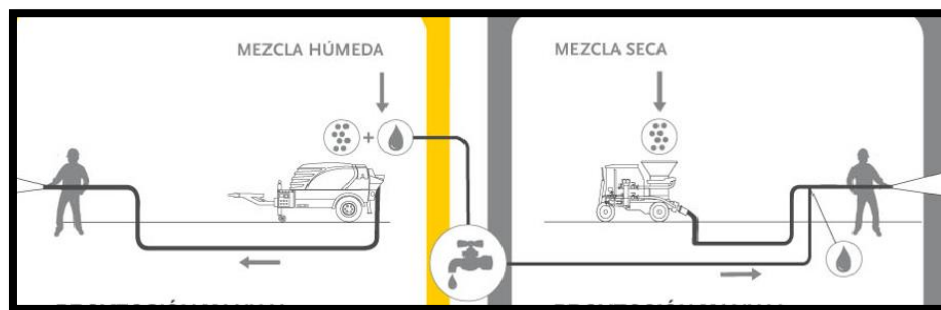


Figura 2-30. Proyección Manual por Mezcla Húmeda y Seca

Fuente: bestsupportunderground.com/que-es-el-shotcrete/

2.10.6 Características técnicas resistivas del Shotcrete

La principal finalidad de las mezclas de shotcrete es la de dar resistencias tempranas y finales, de acuerdo con las características del macizo rocoso donde tiene que ser usado

2.10.6.1 Resistencias tempranas del shotcrete:

Una resistencia temprana medible se obtiene recién después de transcurrido una hora de proyección. Este valor de resistencia determina cuando se puede

continuar con el ciclo de desarrollo del avance del túnel. Posteriormente a lo anterior vendrá el desarrollo de una resistencia que fluctúa entre 7 y 14 días.

2.10.6.2 La resistencia final del shotcrete:

La resistencia generalmente del shotcrete se obtiene a los 28 días y el nivel de resistencia se basa principalmente en los requerimientos de diseño, la resistencia a la compresión simple se mide sobre núcleos tomados sobre la estructura o en paneles proyectados , el cual se comporta como una especie de piel delgada con una gran capacidad de soporte de carga por lo tanto deberá tener cierta ductibilidad, la que se obtiene con el uso de la fibra metálica o sintética , dándole al refuerzo una mayor flexibilidad.

2.10.6.3 Comparación entre Shotcrete seco y húmedo:

FACTORES	MEZCLA SECA	MEZCLA HUMEDA
CALIDAD	- Alta resistencia debido al ratio bajo entre agua-cemento. - La mezcla depende de la adición del agua que es regulada por el operador manualmente.	- Ratio agua-cemento, es alto. - Mezcla homogénea.
VELOCIDAD DE IMPACTO	- Alta, buena adhesión y fácil de aplicar en bóvedas.	- Adecuado para el trabajo en minería.
ADITIVOS	- En polvo para agregar la mezcla seca.	- Generalmente líquido, se mezcla con el agua.
POLVO	- Alta producción de polvo, puede ser reducida teniendo el agregado con una humedad promedio de 5-6% - Da buenos resultados en zonas con poca agua.	- Muy poco polvo y mejor visibilidad. - En zonas con agua no pega la mezcla.

EQUIPO	- Bajos costos de inversión. - Mantenimiento simple y poco frecuente. - Difícil de limpiar. - Equipo compacto y adaptable en túneles con espacios limitados.	- Mayor costo de inversión. - Rinde mayor producción. - Más fácil de limpiar. - Consume 60% menos de aire comprimido.
MEZCLA	- Se hace frecuentemente en el sitio de trabajo o se lleva la mezcla seca preparada. - No hay buen control de la relación agua-cemento. - La mezcla puede ser transportada a grandes distancias.	- La dosificación de la mezcla es más precisa dado que el agua forma parte de esta. - Mejor control en la relación agua-cemento. - En largas distancias la mezcla puede fraguar.
RENDIMIENTO	- En promedio 5 m³/hora.	- En promedio de 2 a 10m³/hora, con manipulador mecánico puede alcanzar 20m³/hora
REBOTE	- Puede ser entre 15-40% en paredes verticales y entre 20-40% en la bóveda. El rebote forma vacíos en los hastiales. - Alta pérdidas de agregados y cemento.	- Generalmente es de 10% en promedio, o menos. - Poca pérdida de materiales.

Tabla 2-2. Comparación entre Shotcrete seco y húmedo

Fuente: [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura\(RaulGonzalezSernageomin\).pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura(RaulGonzalezSernageomin).pdf)

2.10.7 Uso de fibras metálicas y sintéticas

Son cintas discontinuas con dimensiones reducidas, de un tipo de acero con propiedades particulares, las cuales aumentan significativamente la tensión y flexión del shotcrete como refuerzo o herramienta de fortificación.

El comportamiento del shotcrete mejora notablemente gracias a la ductilidad que le otorgan las fibras en dosis adecuadas, llegando hasta aumentar 5 veces la energía de rotura del shotcrete.

De lo anterior se consigue, una distribución homogénea en el shotcrete u hormigón proyectado, aumento en la ductilidad de la mezcla, alta resistencia a la tensión y flexión, mayor seguridad debido a la deformación postfisuración, aumento de la resistencia del impacto, mejora en la adherencia del shotcrete con la roca, reducción de la fisuración por la retracción temprana, mayor resistencia al fuego.



Figura 2-31. Fibras Metálicas

Fuente: <https://es.slideshare.net/JorgeMartinez412/apuntes-curso-fortificacion-de-minas>

2.10.7.1 Fibras sintéticas:

Son fabricadas a partir de materiales sintéticos que pueden resistir la alcalinidad del hormigón y las condiciones adversas del ambiente. No sufren procesos de oxidación, son estables químicamente frente a todos los ataques y garantizan la durabilidad del hormigón de manera más efectiva que la fibra metálica, que tiene una baja resistencia a la corrosión cuando está expuesta a ambientes agresivos.

La adición de la fibra sintética, como metálica mejora la resistencia flexural del shotcrete y aumenta la durabilidad, la dureza y reduce la formación de fisuras por retracción.



Figura 2-32. Fibra metálica

Fuente: http://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20140227_shotcrete.pdf

2.11 **FORTIFICACIÓN CON PERNOS**

La fortificación con pernos se basa en el entorno del macizo rocoso, con el objetivo de reforzar la resistencia de la roca, ayudando para que se auto soporte y se oponga a la desunión de bloques de roca. El perno pasa a formar parte del mismo entorno, fortaleciendo la resistencia de la roca.

Los tipos de pernos más utilizados en el sostenimiento de terrenos son: pernos estabilizadores de fricción, pernos con anclajes expansivos, pernos cementados con resina o cemento y los cables de acero.

2.11.1 **Ventajas de la fortificación con pernos:**

- Actúa inmediatamente después de su instalación.
- Versátil, al momento de transportar e instalar.
- No disminuye la sección útil de la labor.
- No incrementa la resistencia al flujo de aire de ventilación.
- Relativamente económico.
- La instalación puede ser manual o mecanizada.

2.11.2 Tipos de pernos de fortificación:

2.11.2.1 Pernos estabilizadores o de fricción:

Pernos que están constituidos por un trozo tubo de acero, que se encuentran introducidos en perforaciones en la roca, los cuales ejercen una presión radial hacia el exterior a lo largo de toda su longitud. De mayor diámetro que la perforación y que es partido a lo largo por el centro, el cual al introducirse en el tiro el perno disminuye su diámetro y crea presiones axiales hacia el exterior contra la pared de la roca a lo largo de toda la perforación.

Este proceso provee la fuerza de fricción por los costados del perno manteniéndolo en su lugar creando fuerzas que se extiendan radicalmente previniendo el movimiento o separación del terreno. Solo el Split set es realmente de fricción. En el caso del Swellex, combina la fricción sumada al mecanismo de expansión del perno. Se utilizan generalmente en roca severamente agrietada o fracturada sujeta a condiciones de baja tensión.

Este proceso provee la fuerza de fricción (1-1,5Tn/pie) que actúa previniendo el movimiento o separación del terreno. Utilizado generalmente en roca severamente agrietada o fracturada sujeta a condiciones de baja tensión.

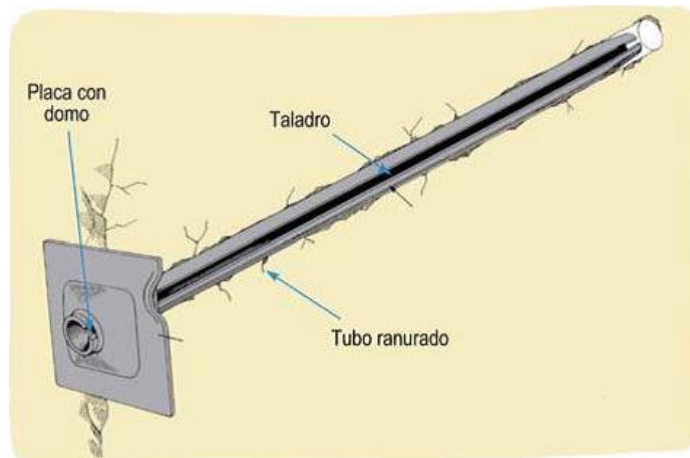


Figura 2-32. Perno Estabilizador o de Fricción

Fuente: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/caracteristicas-de-los-pernos-de-roca/>

2.11.2.1.1 Tipos de pernos estabilizadores o de fricción

- Split Set
- Swellex

2.11.2.1.2 Ventajas y desventajas del perno estabilizador o de fricción

- Ventajas:
 - Fortificación activa inmediatamente al ser instalados.
 - No afectados por tronaduras y sismos.
 - Combinables con otros tipos de fortificación.
 - Efectivos para el control de fallas y cuñas.
- Desventajas:
 - Se corroen con la acción de agua.
 - El control de diámetro de perforación en crucial.
 - De baja resistencia al corte.

Diámetro (mm)	Soporte de la fricción (ton/m)	Resistencia a la tracción (ton)	Límite elástico (ton)	Peso (kg/m)	Diámetro de la perforación, crítico (mm)
39	8	9	11	1,8	35 - 38

Figura 2-33. Característica Técnica del Perno Estabilizador

Fuente: Acuñadura manual y fortificación de minas subterráneas, Jorge Clunes Almonte

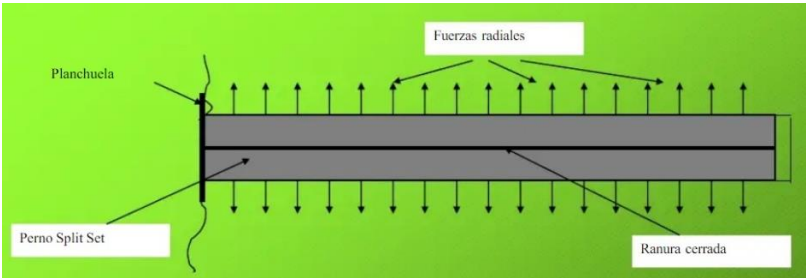


Figura 2-34. Partes del Perno Estabilizador

Fuente: Acuñadura manual y fortificación de minas subterráneas, Jorge Clunes Almonte

2.11.2.2 Pernos con anclajes expansivos:

El perno de anclaje con cabeza de expansión es el más común de este tipo de anclaje mecánico. Ya que controla el movimiento o el desplazamiento de la masa rocosa induciendo la presión de la tensión de la barra entre el anclaje y la platina de apoyo.

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

Se utiliza tanto en las actividades mineras con rocas medianamente duras a duras, masivas, con bloques o estratificada, sin presencia de agua. No es recomendable su uso en rocas muy duras, fracturadas y débiles, debido a que el anclaje podría deslizarse bajo la acción de las cargas.

Se fijan en un solo punto en el fondo de la perforación por medio de un dispositivo de expansión (de fierro).

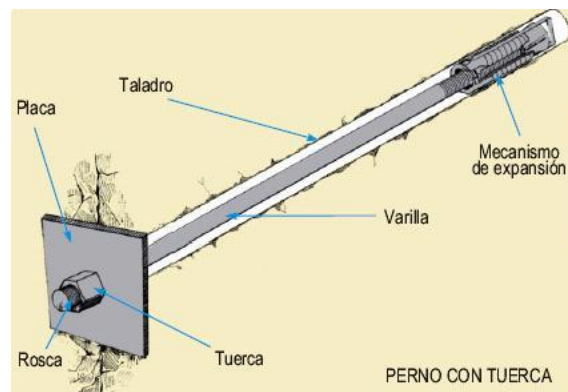


Figura 2-35. Perno con Anclaje Expansivo

Fuente: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/caracteristicas-de-los-pernos-de-roca/>

2.11.2.2.1 Tipos de pernos de expansión:

- Swellex
- Cabeza expansiva

2.11.2.2.2 Ventajas y desventajas del perno con anclaje expansivo

- Ventajas:
 - Perno relativamente económico.
 - Soporte inmediato.
 - Se puede tensar (roca resistente).
- Desventajas:
 - Uso limitado a macizos competentes.
 - Debe ser monitoreado para tensar correctamente.
 - Su capacidad de soporte es afectada por vibraciones de tronadura.
 - Solo uso temporal.

2.11.2.3 Pernos de adhesión (cementados con resina o cemento):

Este método de fortificación consiste 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, que resisten el movimiento del terreno debido a los puntos de contacto del enclavamiento mecánico del perno.

En presencia de agua, particularmente en agua ácida, el agente cementante recomendado será la resina, en condiciones de ausencia de agua será el cemento.

La unión resina o lechada con la roca depende de las irregularidades encontradas dentro de la perforación y de la estructura de la roca (- + 10Tn/pie).

Se recomienda para todos los tipos de estructuras para el sostenimiento de alta resistencia y a largo plazo.

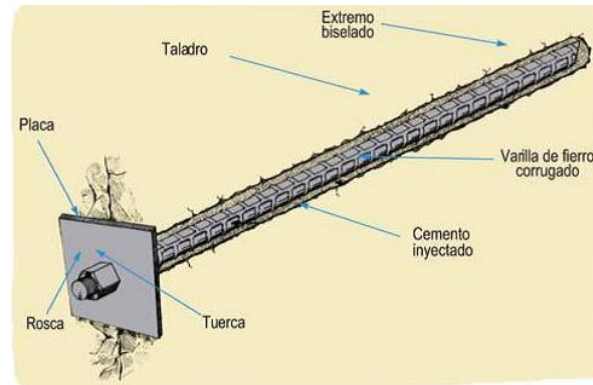


Figura 2-36. Perno Cementado con Resina o Cemento

Fuente: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/caracteristicas-de-los-pernos-de-roca/>

2.11.2.3.1 Tipos de pernos de adhesión:

- Perno de fierro corrugado
- Perno de fierro helicoidales
- Cables Bolts

2.11.2.3.2 Ventajas y desventajas del perno cementado con resina o cemento

• Ventajas:

- Competente y durable
- Gran capacidad de soporte en macizos competentes.
- Capacidad de soporte rápida.
- Si se usa un compuesto de fragüe rápido en el fondo, se puede tensar.

• Desventajas

- El diámetro de la perforación es crucial.
- La calidad de la resina puede ser afectada por el ambiente de la mina.
- El manejo de la resina puede ser desordenado y peligroso, además de generar desperdicios.

- La resina tiene una vida limitada.
- Relativamente más cara.

2.12 FORTIFICACIÓN CON CABLES

La fortificación con cable se realiza principalmente donde existen bloques de gran magnitud, los cuales tanto por peso propio, tamaño y longitud del soporte a instalar, no pueden ser contenidos por los pernos helicoidales, fibras o Split set.

Dependiendo de la solicitación a que será sometido el cable, eventualmente pueden considerarse diseños de cables dobles o triples.

El uso que se le da a estos cables se emplea en zonas de esfuerzos severos ya que su alta resistencia a la tracción hace que se pueda dar este uso y además para controlar la estabilidad de grandes cámaras.

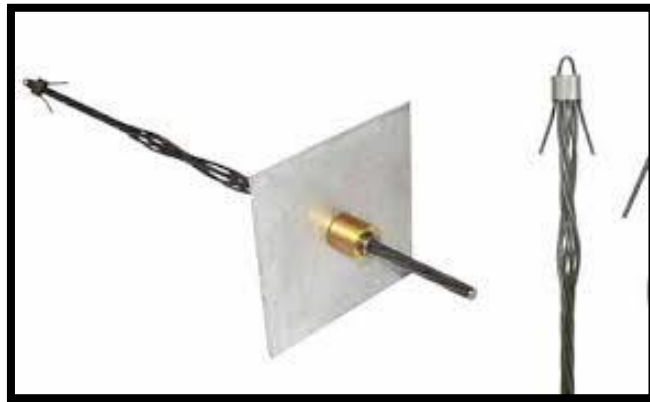


Figura 2-37. Cables de Acero

Fuente: https://imel-steel.com/docs/imel_mining_rock.pdf

2.12.1 Ventajas y desventajas de los cables de acero

- Ventajas:
 - Competente y durable.
 - Gran capacidad de soporte en macizos competentes.

- Relativamente económico.
- Se puede cablear a cualquier largo.
- Desventajas
 - Requiere tiempo de curado para alcanzar su máxima resistencia.
 - La calidad de la lechada y el proceso de lechado es difícil de controlar y mantener.
 - No se pueden usar en zonas con aporte de agua.
 - Se pueden tensar solo siguiendo un procedimiento especial.

2.12.2 Existen dos alternativas para poder inyectar la lechada a los pernos cables:

- Utilizando manguera de retorno al fondo.
- Manguera de inyección y sale por el tiro.

CAPÍTULO 3: CÁLCULO Y PROPUESTA DE SISTEMA DE FORTIFICACIÓN

3. CÁLCULO Y PROPUESTA DE SISTEMA DE FORTIFICACIÓN

En trabajos mineros subterráneos se presentan ciertos problemas geoestructurales, es por esto por lo que la industria minera ha implementado en la construcción de túneles el proceso de fortificación, que básicamente consiste en recubrir o reforzar el entorno de una labor subterránea, para así evitar accidentes en el tiempo de vida útil del caserón, y aprovechar la capacidad de autosoporte del macizo empleando la menor fortificación posible, reduciendo así costos.

Por lo tanto, al respecto a lo anterior durante este tercer capítulo, se dará a conocer la mejor propuesta de fortificación, que sea apropiado para la geoestructura de los tramos o sectores analizados en el túnel subterráneo 657 de la minera “Cerro Negro del 1 al 12”, la cual se determinará a partir de factores de las diferentes características del macizo rocoso que se identificaron y se vieron usadas en el método de clasificación de Bieniawski de 1979, con el propósito de analizar las características técnicas del sistema y la manera de ejecutarlo. Con el fin, de proteger la seguridad de todos los trabajadores de la mina y evitar derrumbes principalmente en la faena subterránea.



Figura 3-1. Acceso a túnel 657 Mina Cerro Negro del 1 al 12

Fuente: Propia, capturada en salida a terreno.



Figura 3-2. Interior túnel 657 Mina Cerro Negro del 1 al 12

Fuente: Propia, capturada en salida a terreno.

3.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE FORTIFICACIÓN BASADO EN EL ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE BIENIAWSKI 1979 - 1989

3.1.1 Determinación del RQD túnel 657 de la mina Cerro Negro del 1 al 12

Como fue descrito anteriormente en el punto 1.8.12, cuando no se realizan sondajes el RQD está condicionado por el número de juntas por metro cúbico. El ancho de la labor es de 2,05m, alto 2,20m y longitud 38m.

$$Volumen\ túnel = Área\ de\ la\ sección\ (m^3) \times Longitud\ del\ túnel\ (m)$$

$$Volumen\ túnel = (2,05m \times 2,20m) \times 38m$$

$$Volumen\ túnel = 171,38m^3$$

$$J_v = \frac{\# \text{ juntas totales}}{Volumen\ labor}$$

$$\# \text{ juntas totales} = J_v \times Volumen\ labor$$

$$\# \text{ Juntas totales} = 16,5 \times 171,38$$

$$\# \text{ Juntas totales} = 2827,77 \text{ juntas promedio}$$

Para obtener las 2827,77 juntas promedio, se ocuparon 6 sectores al azar del túnel 657, en el cual se calcularon la cantidad de juntas por cada metro cuadrado de cada sector elegido, dando los siguientes resultados:

- Sector 1 (S1) = 19 juntas.
- Sector 2 (S2) = 16 juntas.
- Sector 3 (S3) = 14 juntas.
- Sector 4 (S4) = 18 juntas.
- Sector 5 (S5) = 17 juntas.
- Sector 6 (S6) = 15 juntas.

$$Jv \text{ promedio } (m^3) = \frac{19 + 16 + 14 + 18 + 17 + 15}{6}$$

$$Jv \text{ promedio } (m^3) = 16,5 \text{ juntas } (m^3)$$

Se obtuvo un promedio de 16,5 juntas aproximadamente por metro cúbico.

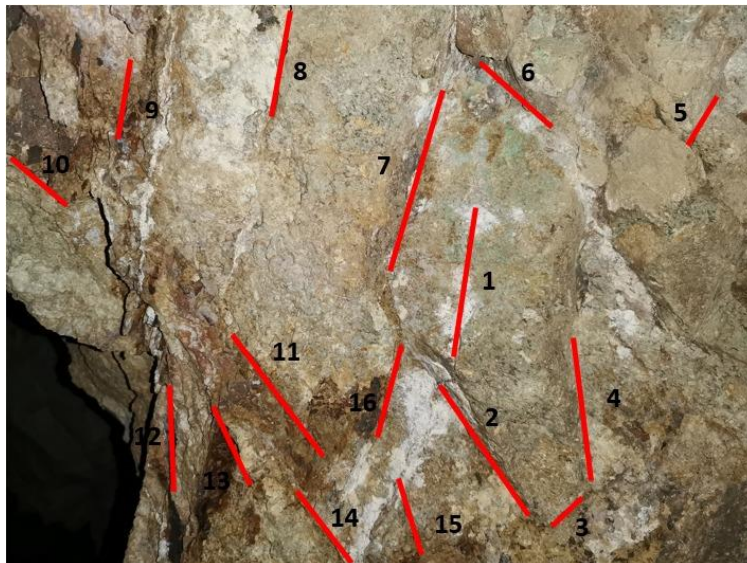


Figura 3-3. Cantidad de juntas por m^3

Fuente: Propia, capturada en salida a terreno.

Para la obtención del RQD, se reemplazó J_v en la ecuación:

$$RQD = 115 - 3,3 \times 16,5$$

$$RQD = 60,55\%$$

RQD = 60,55 debido a que $J_v > 4,5$ juntas por metro cúbico.

3.2 ROCK MASS RATING (RMR) DE BIENIAWSKI

El método Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollado por Bieniawski, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones, para la clasificación de macizos rocosos. Este método permite, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos.

El método RMR incluye los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.
2. Rock Quality Designation (RQD).
3. Espaciamiento de discontinuidades.
4. Condición de las discontinuidades.
5. Condición del agua subterránea y orientación de las discontinuidades.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Con el valor del RMR es posible establecer algunas propiedades geotécnicas preliminares del macizo, para analizar la estabilidad del talud del frente de explotación actual.

3.3 ANÁLISIS GEOMECÁNICO POR TRAMOS (RMR 1979 – 1989)

3.3.1 Tramo 1 de 14 m de longitud y área de sección (2,05 m x 2,20 m)

3.3.1.1 Resistencia a la compresión:

Al golpear el techo con el martillo geológico, se pudo fracturar un trozo de esta y tocando con la mano se desprendieron rocas, lo cual nos permite inferir que su resistencia a la compresión se encuentra entre 250 – 100 MPa.

3.3.1.2 Espaciado de las discontinuidades:

Se pudo observar un espaciado en el techo, el cual estaba en el rango de 0,2 – 0,06 m.

3.3.1.3 Estado de las discontinuidades:

- Longitud:

Las discontinuidades en esta zona de la labor no son mayores que 1 m de longitud.

- Abertura:

La abertura de las discontinuidades se encuentra en el rango de 0,1 – 1 mm.

- Rugosidad:

La superficie de las discontinuidades a lo largo del tramo se pudo observar que es ligeramente rugosa.

- Relleno:

El relleno de las discontinuidades ubicadas en este tramo es blando menor a 5 mm.

- Alteración:

Se pudo observar que en este tramo la roca del techo estaba inalterada.

3.3.1.4 Presencia de agua:

A lo largo del túnel 657 se pudo observar que este está completamente seco, debido a que su ubicación está en un sector muy seco, esto debido a la sequía que afecta a la comuna.

3.3.1.5 Cuadro resumen:

RMR Tramo 1 de 14 m				
	Parámetro		Rango	Valor
1	Resistencia a la compresión		250 - 100 MPa	12
2	RQD		75 – 50%	13
3	Espaciado de las discontinuidades		0,2 - 0,06 m	8
4	Estado de las discontinuidades	(a)Longitud	< 1 m	6
		(b)Abertura	0,1 – 1 mm	4
		(c)Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
		(d)Relleno	Blando <5mm	1
		(e)Alteración	Inalterado	6
5	Presencia de agua		Completamente seca	15
	RMR		=	68

Tabla 3-1. Cuadro Resumen para tramo 1

Fuente: Propia, elaborada en el tramo 1 con medidas tomadas en terreno.

3.3.2 Tramo 2 de 12 m de longitud y área de sección (2,05 m x 2,20 m)

3.3.2.1 Resistencia a la compresión:

Al golpear con el martillo geológico en varias zonas del tramo, se pudo observar que no hubo muchos desprendimientos del macizo rocoso. Esto nos da a conocer que la resistencia esta entre 50 – 25 MPa.

3.3.2.2 Espaciado de las discontinuidades:

Se observó y midió el tramo 2, se llegó a la conclusión que el espaciado de las discontinuidades se encuentra menor a 0,06 m.

3.3.2.3 Estado de las discontinuidades:

- Longitud:

Las longitudes de este tramo se encontraron muy pocas discontinuidades las cuales son menor a 1 m.

- Abertura:

La abertura de las discontinuidades alcanza un promedio de $< 0,1$ mm.

- Rugosidad:

Al largo del túnel se pudo observar que es ligeramente rugosa, solo en ciertas zonas varia un poco.

- Relleno:

En esta zona de la labor se pudo determinar que el relleno de las discontinuidades es duro < 5 mm.

- Alteración:

Las rocas en esta área se encuentran ligeramente alterada.

3.3.2.4 Presencia de agua:

Como se dijo anteriormente en el punto 3.3.1.4, el largo del túnel no tiene presencia de agua.

3.3.2.5 Cuadro resumen:

RMR Tramo 2 de 12 m				
	Parámetro		Rango	Valor
1	Resistencia a la compresión		50 - 25 MPa	4
2	RQD		75 - 50%	13
3	Espaciado de las discontinuidades		< 0,06 m	5
4	Estado de las discontinuidades	(a)Longitud	< 1 m	6
		(b)Abertura	< 0,1 mm	5
		(c)Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
		(d)Relleno	Relleno duro < 5 mm	4
		(e)Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Presencia de agua		Completamente seca	15
	RMR		=	60

Tabla 3-2. Cuadro Resumen para tramo 2

Fuente: Propia, elaborada en el tramo 2 con medidas tomadas en terreno.

3.3.3 Tramo 3 de 12 m de longitud y área de sección (2,05 m x 2,20 m)

3.3.3.1 Resistencia a la compresión:

Al golpear el techo con el martillo geológico se pudo determinar que la resistencia a la compresión en esta zona está entre 100 – 50 MPa.

3.3.3.2 Espaciado de las discontinuidades:

El espaciado promedio de las discontinuidades en esta zona del macizo rocoso es de $< 0,06$ m.

3.3.3.3 Estado de las discontinuidades:

- Longitud:

En esta zona el macizo rocoso se encuentra entre 1 – 3 m.

- Abertura:

La abertura de las discontinuidades tiene un promedio entre 1 – 5 m.

- Rugosidad:

Como se ha mencionado anteriormente el túnel es ligeramente rugoso.

- Relleno:

El relleno en esta zona del macizo rocoso es blando > 5 mm. Este es de color blanco.

- Alteración:

En esta área del macizo rocoso se encuentra moderadamente alterada.

3.3.3.4 Presencia de agua:

Como se nombró anteriormente la longitud del túnel está completamente seco.

3.3.3.5 Cuadro resumen:

RMR Tramo 3 de 12 m				
	Parámetro		Rango	Valor
1	Resistencia a la compresión		100 - 50 MPa	7
2	RQD		75 – 50%	13
3	Espaciado de las discontinuidades		< 0,06 m	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	1 - 3 m	4
		Abertura	1 – 5 mm	1
		Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
		Relleno	Relleno blando > 5 mm	0
		Alteración	Moderadamente alterada	3
5	Presencia de agua		Completamente seca	15
	RMR		=	51

Tabla 3-3. Cuadro Resumen para tramo 3

Fuente: Propia, elaborada en el tramo 2 con medidas tomadas en terreno.

Al realizar el estudio geomecánico a los 3 tramos se logró obtener diferentes RMR para cada área del macizo rocoso, por lo tanto, se debió sumar los 3 RMR y luego dividir en la cantidad de tramos, en el cual se obtuvo un RMR promedio del túnel.

$$RMR\ total = \frac{RMR1 + RMR2 + RMR3}{N^{\circ}\ de\ tramos}$$

$$RMR\ total = \frac{68 + 60 + 51}{3}$$

$$RMR\ total = 59,66$$

Se obtuvo un RMR promedio de 59,66, esto nos da a conocer que la calidad de la roca es regular. (Ver la Figura 1-16.).

3.4 TIPO DE FORTIFICACIÓN A IMPLEMENTAR EN EL TÚNEL 657

En base a lo determinado y estudiado en este trabajo de titulación, el cual consiste en una propuesta de mejora en la fortificación en mina Cerro Negro del 1 al 12, se logró establecer por medio de los tipos de fortificación (Ver Tabla 1-2.), tipo y tasa de roca y análisis geomecánico de Bieniawski 1979, que el método más viable a ocupar según el tipo y tasa de roca (media 60 - 41) será: una fortificación pasiva, con apernado sistemático en techo y cajas, cada 1,2 – 2 m malla en techo, 50 a 100 mm de espesor en techo; 30 mm espesor en cajas, no siendo necesario la aplicación de marcos de acero.

3.5 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA A FORTIFICAR

El área para fortificar es el techo del túnel 657 que tiene una longitud de 38 m. Este tiene un ancho de 2,05 m y el alto de 2,20 m. El radio de la sección circular es de 1,4 m. La empresa Juan Gabriel Muñoz Salas determinó que la zona descomprimida alcanza 1 m de profundidad alrededor del techo de la labor, el factor de seguridad a utilizar es de 2, debido a que es para una labor permanente. La densidad de la roca es de 2,6 [Ton/m³].

3.6 DIAGRAMA DEL TÚNEL 657

A continuación, se mostrará un diagrama con la vista frontal del túnel 657.

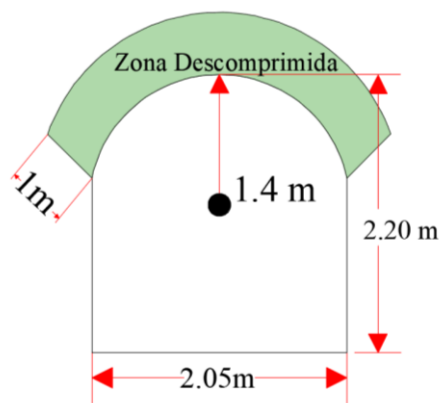


Figura 3-4. Vista frontal del túnel 657 para fortificar

Fuente: Elaboración propia con los conocimientos adquiridos en la carrera.

3.7 CÁLCULOS DE LA MASA A SOSTENER

Primero se determina el área de la zona descomprimida, para aquello se requiere utilizar la siguiente fórmula.

$$A = \frac{\pi r^2 \beta}{360}$$

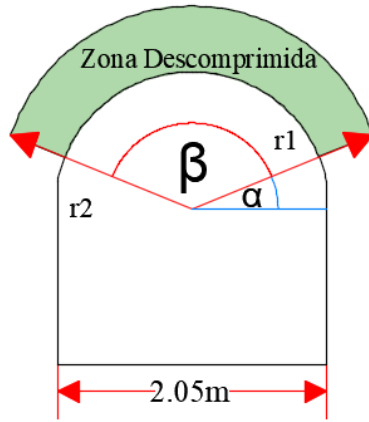


Figura 3-5. Determinación del ángulo β en el túnel

Fuente: Elaboración propia con los conocimientos adquiridos en la carrera.

El área de la zona descomprimida se determina mediante la variación entre sector circular de radio mayor ($r2$) y área del sector circular de radio menor ($r1$).

$$A = \frac{\pi(r2)^2\beta}{360} - \frac{\pi(r1)^2\beta}{360}$$

Dónde: $r1 = 1,4$ (m) y $r2 = r1 + 1 = 2,4$ (m)

Cálculo de ángulos:

$$\cos \alpha = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

En el cual el cateto adyacente corresponde a la mitad del ancho de la labor.

$$\alpha = \arccos \frac{1,025}{1,4} = 42,93^\circ$$

Posteriormente:

$$\beta = 180^\circ - 2\alpha$$

$$\beta = 94,14^\circ$$

Área de la zona descomprimida:

$$A = \frac{\pi(2,4)^2 94,14^\circ}{360^\circ} - \frac{\pi(1,4)^2 94,14^\circ}{360^\circ} = 3,12 \text{ (m}^2\text{)}$$

Volumen de la zona a sostener = área descomprimida x largo de labor a fortificar

$$V = 3,12 \text{ (m}^2\text{)} \times 38 \text{ (m)}$$

$$V = 118,56 \text{ (m}^3\text{)}$$

Masa que sostener = volumen zona a sostener x densidad de la roca

$$Masa = 118,56 \text{ (m}^3\text{)} \times 2,6 \left[\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]$$

$$Masa = 308,26 \text{ (ton)}$$

La masa final del túnel a sostener corresponde a 308,26 toneladas

3.8 CÁLCULO DEL ÁREA A FORTIFICAR

Este corresponde al área del techo del túnel, en el cual se van a distribuir los pernos.

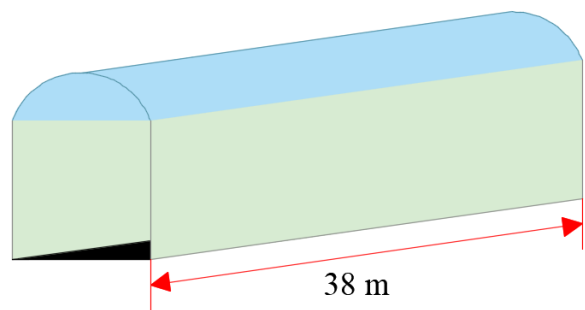


Figura 3-6. Imagen gráfica del área a fortificar

Fuente: Elaboración propia con los conocimientos adquiridos en la carrera.

Área a fortificar = longitud de arco x largo del túnel

$$\text{Longitud del arco} = \frac{2\pi r \beta}{360^\circ}$$

$$\text{Longitud del arco} = \frac{2\pi 1,4(m) 94,14}{360^\circ} = 2,3 \text{ (m)}$$

$$\text{Área que fortificar} = 2,3 \text{ (m)} \times 38 \text{ (m)} = 87,4 \text{ (m}^2\text{)}$$

- Determinación de pernos para fortificar el túnel 657

- Formulas generales:

$$N^\circ \text{ pernos} = \frac{\text{masa a sostener}}{\text{resistencia del perno}} \times \text{factor de seguridad}$$

$$\text{Área de influencia perno} = \frac{\text{área a fortificar}}{n^\circ \text{ pernos}}$$

El área de influencia del perno es circular, por lo tanto, la distancia máxima entre paradas, debe ser el diámetro obtenido del área de influencia.

$$\text{Distancia máxima entre parada} = 2 \times \sqrt{\frac{\text{área de influencia}}{\pi}}$$

$$N^\circ \text{ paradas} = \frac{\text{longitud del túnel}}{\text{distancia máxima entre paradas}}$$

$$\text{Pernos por parada} = \frac{n^\circ \text{ pernos}}{n^\circ \text{ paradas}}$$

$$Distancia\ entre\ paradas = \frac{longitud\ del\ túnel}{n^{\circ}\ paradas}$$

3.9 SELECCIÓN DE UN PERNO

En esta ocasión se elegirá el perno de fierro helicoidal para fortificar el túnel 657, ya que este posee una gran resistencia, el cual sería el más apropiado para la fortificación media como es la mina Cerro Negro del 1 al 12, este tipo de apernado se utilizan para fortificaciones permanentes como es el caso de túnel de la mina.

Perno de fierro helicoidal:

- Diámetro: 22 (mm)
- Resistencia del perno: 28 (ton)
- Tiempo de instalación: 1 minuto y 15 segundos
- Precio: \$4.990

$$N^{\circ}\ pernos = \frac{308,26\ (ton)}{22\ (ton)} \times 2 = \mathbf{29\ (pernos)}$$

$$Área\ de\ influencia\ perno = \frac{87,4\ (m^2)}{29} = \mathbf{3,01\ \left[\frac{m^2}{pernos}\right]}$$

$$Distancia\ máxima\ entre\ parada = 2 \times \sqrt{\frac{3,01\ \left[\frac{m^2}{pernos}\right]}{\pi}} = \mathbf{1,96\ (m)}$$

Mediante esto se puede calcular el número de paradas:

$$N^{\circ}\ paradas = \frac{38\ (m)}{1,96\ (m)} = \mathbf{19,4\ (paradas)}$$

El número de paradas tiene que ser entero por lo tanto se aproxima al número entero hacia arriba, de esta forma otorgar una mayor seguridad, por lo tanto, serán **20 paradas** en galería de avance de 38 m.

$$\text{Pernos por parada} = \frac{29 \text{ (pernos)}}{20 \text{ (paradas)}} = \mathbf{1,45 \text{ (pernos)}}$$

La cantidad de pernos debe ser entero por lo cual se aproxima al número entero mayor de esta forma se disminuye el factor de riesgo, se solicitan **2 pernos** por parada.

Las aproximaciones antes mencionadas han cambiado el número de paradas a 20 y 2 pernos totales, por lo tanto, se requieren 40 pernos para fortificar la galería de avance.

La distribución de los pernos se calcula al dividir la longitud del arco donde serán ubicados los pernos, la cual es de 2,3 (m), por los pernos requeridos por cada parada. De esta manera se obtiene:

$$\text{Espaciamiento} = \frac{2,3 \text{ (m)}}{2 \text{ (pernos)}} = \mathbf{1,15 \text{ (m)}}$$

$$\text{Longitud del perno} = 1,4 + (N \times 0,18)$$

Donde N es el ancho o abertura de la labor (2,05)

$$\text{Longitud del perno} = 1,4 + (2,05 \times 0,18) = \mathbf{1,8 \text{ (m)}}$$

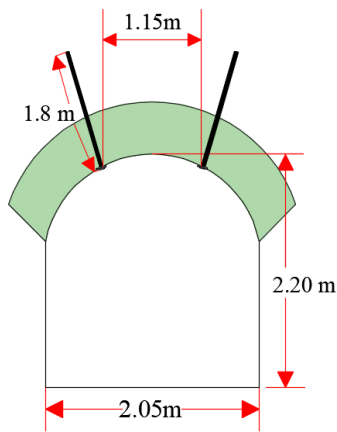


Figura 3-7. Distribución de pernos por parada

Fuente: Elaboración propia con los conocimientos adquiridos en la carrera.

La distancia entre paradas corresponde a:

$$Distancia\ entre\ paradas = \frac{38\ (m)}{20} = 1,9\ (m)$$

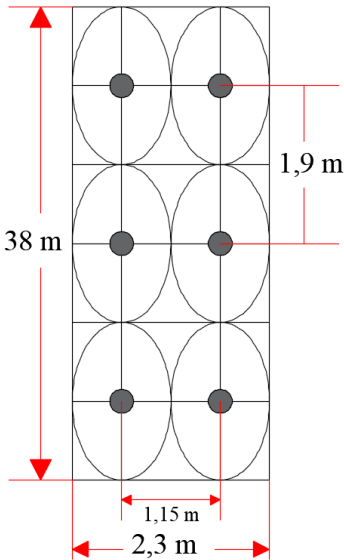


Figura 3-8. Distribución de pernos, vista superior

Fuente: Elaboración propia con los conocimientos adquiridos en la carrera.

3.10 DISEÑO MODIFICADO

3.10.1 Vista interior del túnel 657 (sin sistema de fortificación)



Figura 3-9. Vista interior del túnel 657 (sin sistema de fortificación)

Fuente: Propia, capturada en salida a terreno.

3.10.2 Referencia del diseño fortificado en el túnel.



Figura 3-10. Referencia malla de fortificación

Fuente: <https://www.industriaminera.cl/producto/rgm-mallas-de-alambre-ltda-mallas-fortificacion-minera/>



Figura 3-11. Referencia de fortificación pasiva

Fuente: <http://fortificacionminera.blogspot.com/2016/06/>

El túnel 657 de la minera Cerro Negro del 1 al 12, no presentaba ningún método de fortificación alguno, por ello se trabajó en poder proponer una propuesta de fortificación adecuada, según las condiciones de la roca y la labor, donde al final se llegó a la conclusión según la calidad de la roca que se utilizaría como se pueden mostrar en las imágenes de referencia , un sistema de apernado sistemático en techo y cajas , malla en techo , y un sistema de shotcrete tanto en cajas como el techo correspondientemente.

3.11 **INSTALACIÓN**

El tiempo estipulado de instalación es de 1 minuto y 15 segundo, que demora un perno promedio en ser instalado, por lo cual el total de los pernos se demorará aproximadamente 50 minutos en ser instalados.

El valor de cada perno es \$4.990 c/u, por lo tanto, se requiere \$199.600 para comprar los 40 pernos requeridos en la fortificación.

3.12 **COSTO DE FORTIFICACIÓN**

Costo fortificación unitaria

Colocación perno lechado columna completa

Diámetro del perno: 22 mm
Longitud del perno: 1.8 m
Calidad perno: A 630-420 (G60)
Rendimiento lechadora eléctrica: GE100 1,2 m3/h

Costo Materiales

Materiales	Unidad	Cantidad Un/Perno	Costo \$/U	Costo \$/Perno
Pernos	c/u	1	\$8.150	\$8.150
Cemento Portland	Kg	0.22	\$6.450	\$1.419
Aditivo SIKA 4-A	Kg	0,18	\$2.080	\$375
Subtotal				\$9.990

Costo Equipos

Equipo	Unidad	Cantidad Un/Perno	Costo \$/U	Costo
Lechadora	Hr	0,09	\$590	\$55
Jumbo Empernador	Hr	0,1	\$32.850	\$3.285

Subtotal				\$3.340
----------	--	--	--	---------

Costo mano de obra

Función	Unidad	Cantidad Un/Perno	Costo \$/U	Costo
Maestro especialista	Hr	0,65	\$8.950	\$5.818
Operador utilitario	Hr	0,27	\$8.950	\$2.417
Subtotal				\$8.235

Subtotal		\$21.565
Imprevistos (10%)		\$2.157
Total Costo		\$23.722

Colocación malla

Malla FORTMIN 75

Costo de materiales

Ítem	Unidad	Cantidad un/m2	Costo \$/m2	Costo \$/m2
Malla fortmin 75	m²	1,20	\$ 2.200	\$2.640
Total				\$2.640

Costo de mano de obra

Función	Unidad	Cantidad un/m2	Costo \$/hr	Costo
Maestro 1ª	HH	0,35	\$6.550	\$2.295
Total				\$2.295

Subtotal		\$4.935
Imprevistos (10%)		\$494
Total costo (\$/m²)		\$5.429

Colocación shotcrete

Espesor Shotcrete: 5 cm

Rendimiento shotcretera: 1,2 m³/Hr

Rebote: 10%

Costo de materiales

Materiales	Unidad	Cantidad un/m3	Costo \$/Hr	Costo \$/m³
Shotcrete	m³	1,10	\$93.450	\$102.795
Otros materiales (10%)				\$10.278
TOTAL				\$113.073

Costos de equipos

Equipo	Unidad	Cantidad un/m³	Costo \$/hr	Costo\$/m³
Shotcretera	Hr	0,13	\$8.545	\$1.110
Total				\$1.110

Mano de obra

Función	Unidad	Cantidad un/m³	Costo \$/hr	Costo \$/m³
Operador ut. Shotcrete	HH	0,13	\$7.865	\$1.022
Total	HH	-	-	\$1.022
Subtotal			\$115.205	
Imprevistos (10%)			\$11.521	
Total costo (\$/m³)			\$126.726	

Costo fortificación galería 2,05 m x 2,20 m

Tipo de fortificación: Perno helicoidal-malla-Shotcrete

Longitud perno: 1,8 m

Diámetro perno: 22 mm

Densidad de apernado: 1,2 m x 1,2 m

Pernos por parada espesor: 2 Un

Shotcrete: 5 cm

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Costo \$/m
Pernos	Pernos/m	2,00	\$23.722	\$47.444
Malla	m ² /m	4,16	\$5.429	\$22.585
Shotcrete (30%)	M ³ /m	0,06	\$126.726	\$7.604
Total	-	-	-	\$77.633

El conjunto de pernos, malla y shotcrete dio como resultado total de \$77.633, el cual corresponde a un metro de avance para fortificar solamente lo que es corona o techo, entonces como la galería de avance de la minera Cerro Negro del 1 al 12 es de 38 m de longitud, la inversión total de la fortificación será de \$2.950.054.

3.13 BENEFICIOS DEL MÉTODO DE FORTIFICACIÓN

- Mantener las labores seguras y con una sección y dimensiones suficientes para la circulación del personal, equipos, aire.
- Mantener la cohesión de los terrenos.
- Evitar la caída de rocas desde el techo de las galerías o de sus cajas o costados.
- Cubrir o reforzar el entorno de una labor subterránea, mediante algún elemento de sustento, tales como marcos, mallas, pernos, shotcrete, o una combinación de estos elementos.
- Impedir el desmoronamiento de material fracturado.

3.14 IMPACTOS OPERACIONALES DEL MECANISMO DE SOPORTE
EN LA MINERA

- Parada programada de un sector de la línea de producción.
- No impacta los niveles de producción o calidad.
- No genera ningún efecto significativo sobre la producción, las operaciones o la calidad.
- Repercute en costos operativos adicionales asociados a la disponibilidad de los equipos.

RELACIÓN DE LA PROPUESTA DE FORTIFICACIÓN Y COSTOS CON EL TRABAJO REALIZADO

Para que el trabajo fuera estructurado y ordenado, se distribuyó mediante tres capítulos de los cuales serían la explicación y aplicación, para que la propuesta de un sistema de fortificación se llevara a cabo, donde se analizó desde el principio de lo más general, en el cual se pudo expresar características de la mina explorada, hasta información bibliográfica específica de un sistema de sostenimiento, con sus diferentes características, tipos, definiciones, datos y cálculos. Por ende toda la información expresada en el trabajo, tubo el propósito de poder contribuir en el tema teórico de entender primeramente que es fortificación y cuál es la finalidad que desempeña en el rubro minero subterráneo, luego profundizar de cómo se puede trabajar y como se puede llevar a cabo de forma correcta al momento de instalar este sistema, partiendo desde la manipulación por parte de los trabajadores mediante equipos o maquinaria a utilizar, hasta la forma correcta en que estos actúen durante la labor. Por último, para que el trabajo estuviera completo se explicó cómo realizar ciertos cálculos con los cuales se definiría el sistema de fortificación más acorde según las cualidades de la mina, principalmente de la roca. Donde gracias a estos cálculos se lograría determinar la cantidad de material que se utilizaría y además de la forma correcta de como iría instalado cada uno en el túnel, basado en un análisis geomecánico.

Posteriormente a lo expresado una vez tenido definido el sistema de fortificación más adecuado para esta labor, se realizaría un presupuesto de costos con el propósito, de poder evaluar de forma económica, si es rentable el proyecto o no para esta mediana minera, ya que se tiene que tener en cuenta que es una minera la cual no presenta recursos altísimos para costear este tipo de trabajo, y con la ayuda bibliográfica y matemática de la investigación se podría llevar a cabo este proceso de costos. Por ende, se hizo algunas consultas a diferentes empresas por materiales y equipos como pernos, cemento, mallas, lechadora, Jumbo Empernador etc., donde primeramente se evaluó la calidad y el precio que fuera accesible, pero teniendo en claro que se invertiría solamente en lo que se necesitaría para el trabajo, claramente que fuera de calidad, pero con las cantidades correspondientes, además de que se debió requerir maestros especialistas y operadores (Shotcrete, Jumbo) en el trabajo de fortificación, además de transporte equipado que cumpliera con las normas requeridas según las leyes mineras. Fue este el caso que se pudo disminuir costos no necesitando de vehículos mineros puesto que la empresa Cerro Negro del 1 al 12

contaba con aquello, además de que no sería necesario de contar con maestros segunda que fueran ayudantes del maestro primera, puesto que hay trabajadores en la mina capacitados para realizar este trabajo como ayudantes, ya que cada uno de la empresa cuenta con cursos certificados de minero en diferentes áreas tanto subterráneas como a rajo.

Por lo tanto, al otorgar la mayor información desde lo general hasta lo económico de la propuesta, si la empresa quisiera implementar esta propuesta, no se tomaría el tiempo de analizar económicamente costos, sino que solamente poderse proyectar y evaluar el sistema de sostenimiento elegido en el trabajo, el cual garantiza una seguridad a la empresa, desde la visión de lo trabajado, en este caso si ellos realizaran uso de esta propuesta, sería lo primordial puesto que se trabajó desde como proyectarse para elegir y evaluar el mejor sistema hasta la parte económica donde se logró estimar un precio acorde a las necesidades de la minera, según las características del túnel.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los riesgos importantes de accidentes en labores mineras subterráneas son las caídas de rocas desde el techo de las galerías o de sus cajas o costados. Puesto que, al construir túneles se extrae un volumen de masa rocosa que provoca cambios en las condiciones naturales de equilibrio.

Por lo tanto, en la actualidad resguardar la seguridad y la integridad física de los trabajadores, además de equipos e infraestructuras, independiente del uso de la excavación, es esencial evitar cualquier tipo de derrumbes durante la faena, en este caso de las labores subterráneas del túnel 657, por lo cual dependerá considerablemente de una excelente fortificación la cual permita movilizar y conservar el esfuerzo o resistencia inherente a la masa rocosa para que se auto soporte. Por lo que en este tipo de faenas pequeñas existe un riesgo eminente y constante de desprendimiento de rocas que pone en riesgo toda área de trabajo.

Durante el trabajo de tesis, que ha estado orientado a efectuar una propuesta de mejora en fortificación de una pequeña minera, se ha logrado reconocer diversos conceptos asociados a los desprendimientos de rocas, la identificación de los principales métodos, elementos, tipos de fortificación y evaluar el comportamiento de la labor subterránea minera “Cerro Negro del 1 al 12”. Por consiguiente, la necesidad de estudiar estos diferentes parámetros principalmente en este túnel es por el simple hecho de recordar la necesidad de fortificar en las labores subterráneas como medida de seguridad, donde existen factores que constante producen cambios en la roca, llevando al final el desprendimiento o derrumbe de rocas. Factores naturales como condiciones determinadas de la masa rocosa, presencia de agua y operaciones provocadas por las vibraciones del trabajo (equipos y tronadura).

En el transcurso de la investigación de proponer una mejora mediante un sistema de fortificación, se fueron descubriendo varios factores que afectaban de alguna manera el túnel en trabajo, primeramente, antes de profundizar en el estudio geográfico, este túnel no presentaba ningún tipo de sostenimiento, por lo cual fue uno de los primeros descubrimientos en este trabajo. Una vez en terreno se logró percibir varias zonas del túnel con discontinuidades que al tocar el macizo rocoso estas rocas se desprendían con facilidad.

Para poder proponer y llevar a cabo esta propuesta de fortificación, se realizó un análisis geomecánico, que tuvo como objeto evaluar el tipo de rocas con el cual se trabajó y este objetivo se cumplió ya que, gracias al análisis realizado, se logró

establecer como resultado un RMR de 59,66, arrojando la calidad del macizo rocoso en calidad media.

Donde primeramente para llegar a este resultado, se debió realizar ciertos cálculos, desde calcular el volumen del túnel según su Área y longitud, en seguida se dio paso a analizar los tramos de la labor, cada uno sujetos a parámetros y rangos, los cuales se dividirían en resistencia a la compresión, RQD, espaciado, estado de las discontinuidades (rugosidad, abertura, longitud, relleno, alteración) y presencia de agua. Y, por ende, una vez analizado cada tramo del túnel, se debió calcular el RMR final de cada uno lo cual reflejaría el tipo de roca y la calidad de la labor. Por último, determinar el diagrama del túnel 657 calculando el área a fortificar, evaluando la cantidad a utilizar de pernos, sus distancias por paradas y el tipo de perno a utilizar.

En definitiva, se estableció que el método de fortificación más apropiado, luego de estudiar y analizar la roca del túnel con detalle indicado anteriormente, será un sistema de sostenimiento pasivo, el cual estará constituida por implementación de pernos helicoidales de un diámetro de 22 mm, con una longitud de 1,8 m, la separación media que debe existir entre cada perno es aproximadamente de 1,15 m por el perímetro de la labor, la distancia entre paradas es de 1,96 m. Además, se deberá utilizar mallas metálicas en el techo de la labor para evitar un derrumbamiento rocoso, todo esto va acompañado con una capa de shotcrete de espesor en el techo de 50 mm. La cantidad de pernos a ocupar será de 40 y una cantidad de 20 paradas con mallas metálicas, ocupando 2 pernos por parada. Con lo propuesto anteriormente, se cumple con la finalidad de este trabajo que consiste en una propuesta de fortificación.

La cantidad de tiempo estipulado de instalación de los pernos es de 1 minuto y 15 segundo, que demora en ser instalado, por lo cual el total de los pernos se demorará aproximadamente 50 minutos en ser instalados. El valor de cada perno es \$4.990 c/u, por lo tanto, se requiere \$199.600 para comprar los 40 pernos requeridos en la fortificación definida. Por lo tanto, según los datos analizados y calculados, el costo total de la operación será de \$2.950.054 siendo esta en temas económicos rentable para la empresa de media minería.

Como recomendaciones generales para la minera cerro negro del 1 al 12, principalmente esta mina debiera proyectarse a largo plazo con un nuevo proyecto minero subterráneo como a rajo abierto, lo cual con lleve a efectuar implementaciones que puedan generar una seguridad tanto laboral como avances productivos e innovadores con nuevas tecnologías para mediana minería, que logren que esta minera siga creciendo como empresa y económicamente sustentable. Con nuevos sistemas de ventilación y equipos, acorde a las dimensiones y necesidades de la mina, el cual puedan aportar una mejor instancia de trabajo. Que se adquiera además nuevas

instalaciones e infraestructuras con un mejor servicio de calidad tanto a sus trabajadores, como ofrecer una óptima proyección para que de este modo la minera tenga un estatus más favorable, y a la larga sea reconocida por sus nuevos avances y por sobre todo por sus proyectos efectivos, como mediana minería.

Llevar a cabo proyectos medio ambientales que logren posicionar a esta mediana minera con un rango mayor o igual que la de una empresa de categoría, la cual cuente con todos los tipos de normas establecidas, en este caso la norma ISO 14001 la cual da referencia a minimizar todos los impactos ambientales que afecten a la operación. Con el propósito, que los trabajos que se realicen en un futuro no afecten al medio ambiente y que hagan de esto una minera más ecológica y limpia.

Al respecto de características de seguridad, proyecciones, avances, se debiera otorgar a todo trabajador minero con más frecuencia, cursos mineros que logren que cada trabajador este mejor preparado, con el fin de contar con todo el conocimiento posible y que se le otorguen las mejores herramientas para poder efectuar un trabajo más seguro, efectivo y correcto.

BIBLIOGRAFÍA

Codelco educa, Historia de la Minería [en línea] En:
 <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/historia_minera.html>
 [consulta: enero 2020]

Sernageomin, Guía N° 5 de Operación para la Pequeña Minería [en línea] En:
 <<https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G5FortificacionAcunadura.pdf>> [consulta: febrero 2020]

CLUNES Jorge, Acuñaadura Manual y Fortificación de Minas Subterráneas [en línea] En:
 <https://www.academia.edu/11353395/ACU%C3%91ADURA_MANUAL_Y_FORTIFICACION_DE_MINAS_SUBTERR%C3%81NEAS> [consulta: abril 2020]

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN, Capítulo Sexto Fortificación, artículos 157 y 158 [en línea] En:<<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=221064&r=1>>
 [consulta febrero 2020]

Sernageomin, Fortificación y Acuñaadura [en línea] En:
 <<https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/7.fortificacion-acunadura.pdf>>
 [consulta: marzo 2020]

ROSSO Dinko, Minas. Fortificación de minas. Diplomado en Mecánica de Rocas [en línea] En: <<https://es.slideshare.net/JorgeMartinez412/apuntes-curso-fortificacion-de-minas>> [consulta: abril 2020]

Gobierno de Chile, Fortificación de Minas. [en línea] En:
 <<https://es.slideshare.net/exay40/4-fortificacin-de-minas>> [consulta: abril 2020]

PINTO Nelson, Acuñadura Manual [en línea]
 En: <<https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/acunadura-manual.pdf>> [consulta: abril 2020]

Putzmeister, ¿QUE ES EL SHOTCRETE? [en línea] En:
 <<http://bestsupportunderground.com/que-es-el-shotcrete/>> [consulta: abril 2020]

GONZÁLES Raúl, Normas de Seguridad Minera Aplicable a Faenas Mineras, según el título XV del D.S. 34. Fortificación y Acuñadura. Guía N.º 5 de Operación para la pequeña minería, [en línea] En: <[http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura\(RaulGonzalezSernageomin\).pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Fortificacion-y-acunadura(RaulGonzalezSernageomin).pdf)> [consulta: abril 2020]

HUANCO David , Sostenimiento en minería subterránea [en línea] En:
 <<https://es.slideshare.net/DavidHuancoAcero/sostenimiento-en-mineria-subterranea-2>>
 [consulta: junio 2020]

ICARITO, Minería y Mineralogía [en línea] En: <<http://www.icarito.cl/2010/06/38-9191-9-4-mineria-y-mineralogia.shtml>> [consulta: junio 2020]

ANEXOS

ANEXO A: PROPUESTA DE TIPOS DE FORTIFICACIÓN SEGÚN RMR

b. Proposición de fortificación.

Tipo y Tasa de Roca	Tipo de Fortificación		
	Pernos lechados, 20 mm diámetro	Shotcrete	Marcos de acero
Muy buena (100 – 81)	No necesita fortificación, salvo apernado puntual.		
Buena (80 – 61)	Puntuales en techo de m 3, cada 2,5 m. Malla ocasional	50 mm espesor si es necesario	No
Regular (60 – 41)	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 (40 – 21)	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.	Marcos livianos, puntuales.
Muy mala (< 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.

Fuente: Acuñadura manual y Fortificación de minas subterráneas, Jorge Clunes Almonte, Copiapó, 2006