UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Técnico Universitario de acceso ABIERTO

2021

PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE TRONADURA POR DETONADORES

CONTRERAS SAAVEDRA, MIGUEL ANTONIO

https://hdl.handle.net/11673/54604

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

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

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE TRONADURA POR DETONADORES

Trabajo de titulación para optar al Titulo

de Técnico Universitario en MINERIA Y METALURGIA

Alumnos

Miguel Contreras Saavedra

Josefina Cueto Pasten

Profesor guía

Ing. Luis Gutiérrez Meneses

DEDICATORIA:

Este trabajo nos recuerda constantemente lo que es el agotamiento y las ganas que dan de rendirse, aun cuando sabemos que no queda nada para poder terminar nuestra carrera universitaria.

Pero a pesar de todo eso, agradecemos el apoyo en especial de nuestras familias que son el fiel reflejo de lo que es seguir luchando por nuestros sueños, lo que queremos para nuestro futuro, y no perder el foco de las personas profesionales que queremos llegar a ser, gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más las necesitábamos, gracias por estar allí cuando nuestras horas de trabajo se hacían confusas.

También le debemos el agradecimiento a todos los profesores de la Universidad Técnica Federico Santa María, que a lo largo de estos 2 años y medios, nos entregaron múltiples herramientas, nos formaron como profesionales y nos prepararon para la vida laboral. Así también, agradecer su disposición y profesionalismo en todo este proceso de elaboración de tesis.

Finalmente, agradecer a nuestro profesor guía Luis Gutiérrez Meneses, quien nos apoyó y guio en todo este proceso de elaboración, orientándonos, apoyándonos y por sobre todo, confiando en nuestras capacidades para optar a nuestro titulo universitario. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional, invaluable y sincera. Por su dedicación, perseverancia y tolerancia.

También le damos el agradecimiento a Caleb Rojas, trabajador de la empresa Enaex que nos entregó varias fuentes de información, para desarrollar este informe, gracias por su orientación y tiempo.

RESUMEN:

KEYWORDS: DETONADORES - MINERIA - EXPLOSIVOS

En la minería siempre existen riesgos, tal como el que presentamos en la problemática para desarrollar este trabajo.

Se trata de los “tiros quedados”, estos son explosivos o restos de èste, que por defecto de la tronadura no detonaron, es una consecuencia no deseada que produce episodios de alto riesgo en las faenas de trabajo. Como consecuencia, se activan protocolos que involucran medidas inmediatas sobre lo ocurrido. Es por esto, que trabajamos en una propuesta de implementación de tronaduras por detonadores electrónicos para minimizar riesgos y fallas en minería.

Este trabajo este compuesto por 3 capítulos, en los que tratara cada objetivo creado.

El capítulo I tratara de una identificación de los tipos de rocas que se utilizan en las faenas mineras de acuerdo con las características geomecánicas como lo es la Q de Barton, Jn, Jr, etc.

También se explicará una forma de acuerdo extracción del mineral de acuerdo con la necesidad de la explotación del mineral.

En el capítulo II se presentarán tipos de tronadura con los que se trabajan actualmente en minería, según el tipo de perforación y explosivos. Diferenciando los detonadores electrónicos, de los tradicionales.

Y para finalizar en el capítulo III se establecerá un procedimiento de tronadura de rocas de acuerdo con el detonador electrónico, de esta forma entregando una modernización en las operaciones de voladuras.

ÍNDICE

RESUMEN 3

INTRODUCCIÓN 8

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 11

1.1 CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS 12

1.1.1 Q de Barton. 12

1.1.2 RQD. 13

1.1.3 JN. 13

1.1.4 JR. 14

1.1.5 JA. 14

1.1.6 JW. 15

1.1.7 SRF. 16

1.1.8 RMR. 17

1.1.9 RQD. 18

1.1.10 Separación entre diaclasas. 19

1.1.11 Estado de las diaclasas. 19

1.1.12 Presencia de agua freática. 21

1.2 TIPOS DE ROCAS. 23

1.3 TIPOS DE EXTRACIÓN 25

1.3.1 Métodos por hundimiento. 25

1.3.1.1 Block Caving. 25

1.3.1.2 Sub level Caving 26

1.3.1.3 Panel Caving 27

1.3.2 Métodos por caserones. 27

1.3.2.1 Sub-Level Stoping. 27

1.3.3 Métodos soportados. 28

1.3.3.1 Cut and Fill. 28

1.3.3.2 Shrinkage. 29

1.3.4 Métodos auto soportados. 30

1.3.4.1 Room and Pillar 30

1.3.5 Minería a cielo abierto. 32

CAPÍTULO 2: PERFORACIÓN Y TRONADURA 33

2.1 PERFORACIÓN. 34

2.1.1 Perforación en minería subterránea. 34

2.1.2 Perforación en minería a cielo abierto. 36

2.2 EXPLOSIVOS 38

2.2.1 Explosivos pulverulentos. 38

2.2.2 Hidrogeles. 39

2.2.3 Anfos. 40

2.2.4 Emulsiones. 43

2.2.5 Pólvora negra. 44

2.2.6 Explosivos gelatinosos. 45

2.2.7 Detonadores. 46

2.2.7.1 Detonadores no electrónicos. 46

2.2.7.2 Detonadores electrónicos. 47

2.2.8 Cordón detonante. 48

2.2.9 Relés de retardo. 49

2.3 TIPOS DE TRONADURA 50

2.3.1 Tronadura de producción 50

2.3.2 Tronadura de contorno 52

2.3.3 Tronadura de remate 52

2.4 DETONADORES ASOCIADOS 53

2.4.1 Detonador a fuego 53

2.4.2 Sistemas de iniciación electrónico 54

CAPÍTULO 3: DETONADORES ELECTRÓNICOS 56

3.1 DETONADORES ELECTRÓNICOS 57

3.1.1 DaveyTronic ug evolución. 57

3.1.2 DaveyTronic og evolución. 59

3.2 PROCEDIMIENTO DE TRONADURA 60

3.2.1 Diagrama de disparos. 62

3.3 MODERNIZACIÓN DE LA OPERACIÓN 64
3.3.1 Detonadores electrónicos y tradicionales 64
CONCLUSIÓN 71
RECOMENDACIÓN 72
BIBLIOGRAFÍA 73

ÍNDICE FIGURAS (IMÁGENES)

- Imagen 1.1 Esquema Block Caving 26
- Imagen 1.2 Esquema Sub-Level Caving 26
- Imagen 1.3 Esquema Panel Caving 27
- Imagen 1.4 Esquema Sub-Level Stoping 28
- Imagen 1.5 Esquema Cut And Fill 29
- Imagen 1.6 Esquema Shrinkage 30
- Imagen 1.7 Esquema Room And Pillar 31
- Imagen 1.8 Minería cielo abierto Chuquicamata 32
- Imagen 2.1 Perforación mecanizada en minería subterránea 36
- Imagen 2.2 Perforación en bancos en minería cielo abierto. 37
- Imagen 2.3 Explosivo pulverizados 38
- Imagen 2.4 Explosivo hidrogel 39
- Imagen 2.5 Explosivos Anfo Premium 40
- Imagen 2.6 Explosivos Anfo Aluminizado 41
- Imagen 2.7 Explosivo Anfo 2-H 42
- Imagen 2.8 Explosivo Emulsiones. 43
- Imagen 2.9 Explosivo pólvora Negra 44
- Imagen 2.10 Detonador Electrónico 47
- Imagen 2.11 Cordón Detonante 48
- Imagen 2.12 Relés de retardo 49
- Imagen 2.13 Tronadura y Fragmentación 51

- Imagen 2.14 Detonador a Fuego 53
- Imagen 3.1 Detonador Daveytronic ug Evolución 58
- Imagen 3.2 Detonador Daveytronic ug Evolución 60
- Imagen 3.3 Diagrama de Disparos. 62
- Imagen 3.4 Comparación de Ambos Detonadores. 65
- Imagen 3.5 Características Detonador Electrónico. 66
- Imagen 3.6 Realización de Experimento 67

ÍNDICE TABLAS

- Tabla 1-1: Índice de diaclasado. 13
- Tabla 1-2: Índice de rugosidad. 14
- Tabla 1-3: Índice de alteración. 15
- Tabla 1-4: Coeficiente reductor por la presencia de agua. 16
- Tabla 1-5: Parámetro SRF. 17
- Tabla 1-6: Parámetro de resistencia de la roca. 18
- Tabla 1-7: Parámetro RQD. 18
- Tabla 1-8: Parámetro separación entre diaclasas. 19
- Tabla 1-9: Abertura de las discontinuidades. 20
- Tabla 1-10: Continuidad o persistencia de las discontinuidades. 20
- Tabla 1-11: Rugosidad de las discontinuidades. 20
- Tabla 1-12: Relleno de las discontinuidades. 21
- Tabla 1-13: Alteración de las discontinuidades. 21
- Tabla 1-14: Parámetro presencia de agua freática. 22
- Tabla 1-15: Valoración del macizo rocoso. 22
- Tabla 2-1: Ventajas y desventajas de Detonadores 55
- Tabla 3-1: Recolección de Datos 68
- Tabla 3-2: Ventajas y Desventajas de diferentes Detonadores 70

INTRODUCCION:

La explotación del cobre y el oro en chile se remonta al siglo XIX entre los años 1920 y 1971.

Esta labor la desempeñaba los “Atacameños” en la región de Tarapacá y Antofagasta, extraían el cobre de lo que se conoce hoy en día como “Chuquicamata”.

En ese siglo el método de extracción consistía en utilizar herramientas de madera y piedras semi talladas, así como barrenos y rústicos cinceles para excavar los piques en las laderas de los cerros y extrayendo el mineral de interés, para luego llevarlo a hornos y fundir el mineral.

En la actualidad gracias a los avances tecnológicos estos métodos se han podido modificar para una extracción más sencilla y rápida, aminorando el trabajo y obteniendo una mayor cantidad de extracción.

Existe un método para retirar el mineral de las laderas de los cerros por medio de explosivos, son sistemas mucho más eficientes ya que en su mayoría se trabajan con detonadores, de los que hablaremos en el desarrollo de este trabajo ya que existen diferentes métodos de detonaciones en la actualidad, detonadores electrónicos y NO electrónicos. A lo que promovemos el uso de los electrónicos ya que estos cuentan con monitoreos más avanzados lo que son capaces de avisar si se presenta una falla

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMÁTICA

La problemática es que el 16 de febrero del año 2012 un equipo wheeldozer se encontraba realizando un trabajo de limpieza en un banco en la cual se encontró un tiro quedado, generando una explosión no deseada, heridas al operador y al equipo.

OBJETIVO GENERAL

Proponer la implementación de tronadura según detonadores electrónicos estableciendo un procedimiento seguro de extracción de rocas.

OBJETIVO ESPECÍFICO

I. Identificar los tipos de rocas que se utilizan en minería de acuerdo con características geomecánicas estableciendo la forma de extracción.
II. Caracterizar los tipos de tronadura según tipo de perforación y explosivos diferenciando los detonadores asociados.
III. Establecer un procedimiento de tronadura de rocas de acuerdo con detonadores electrónicos modernizando la operación

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 CARACTERISTICAS GEOMECANICAS:

Las características geomecánicas permiten la disminución de los accidentes por caída de rocas en las faenas mineras, estos métodos se acompañan de la utilización de herramientas con el fin de controlar la estabilidad de rocas, creando tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y avalando una estabilidad del macizo rocoso, con el fin de ofrecer una operación segura y de calidad al momento de desarrollar la labor.
A continuación, presentaremos los métodos de clasificación:

1.1.1 Q de Barton

Esta es una clasificación geomecánica que permite establecer los parámetros geotécnicos del macizo rocoso y permite diseñar los sostenimientos para túneles y otras excavaciones subterráneas, este se calcula mediante 6 parámetros geotécnicos según la siguiente expresión:

$$Q = \left(\frac{RQD}{Jn}\right) * \left(\frac{Jr}{Ja}\right) * \left(\frac{Jw}{SRF}\right)$$

Formula Q de Barton

- RQD/Jn= Tamaño de los bloques.
- Jr/Ja= Resistencia al corte entre bloques.
- Jw/SRF= Influencia del estado tensional.

Donde:

1.1.2 **RQD**

Es el índice para medir el grado de un macizo rocoso a partir de testigos de sondeo, se calculan en porcentajes, los valores inferiores al 25% indica que es un macizo muy fracturado y de calidad muy mala, mientras que los valores superiores al 90% indican que el macizo rocoso esta nada o muy poco fracturado y por ende es de calidad excelente.

1.1.3 **Jn**

Es el índice de diaclasado, y de forma similar al RQD indica el grado de fracturación del macizo rocoso presentando valores que van entre 0,5 para rocas masivas sin diaclasado y un valor de 20 para rocas trituradas, de acuerdo con la tabla1-1:

Tabla 1-1: Índice diaclasado

INDICE DE DIACLASADO.	JN	VALOR
Roca masiva		0,5-1
Una familia de diaclasas		2
Ídem con otras diaclasas ocasionales		3
Dos familias de diaclasas		4
Ídem con otras diaclasas ocasionales		6
Tres familias de diaclasas		9
Ídem con otras diaclasas ocasionales		12
Cuatro o más familias, rocas muy fracturadas		15
Roca triturada		20

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.3 Jr

Enseña el índice de rugosidad de las discontinuidades, contiene 9 clasificaciones que van desde la A hasta la J diferenciándose en dos grupos las que están con un desplazamiento inferior a 10cm y aquellas que no estarán en contacto ante desplazamiento, de acuerdo con la tabla 1-2

Tabla 1-2: Índice rugosidad.

INDICE DE RUGOSIDAD.	JR	VALOR
Diaclasas rellenas		1
Diaclasas limpias		
Discontinuas		4
Onduladas rugosas		3
Onduladas lisas		2
Planas rugosas		1,5
Planas lisas		1
Lisos o espejos de fallas		
Ondulados		1,5
Planos		0,5

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.4 Ja

Entrega el índice de alteración de las discontinuidades, también mide las alteraciones de las juntas. Se diferencian en 3 tipos:

- Discontinuidad A: contacto entre los planos de discontinuidad.
- Discontinuidad B: contacto entre los planos de discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.
- Discontinuidad C: es en la que no existe contacto entre los planos de las juntas ante un desplazamiento, de acuerdo con la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Índice de alteración.

INDICE DE ALTERACION.	JA	VALOR
Diaclasas de paredes sanas		0,75-1
Ligera alteración		2
Alteraciones arcillosas		4
Con detritos arenosos		4
Con detritos arcillosos pre consolidados		6
Ídem poco consolidados		8
Ídem expansivos		8-12
Milonitos (Productos de trituración de roca y arcilla)		6-12
Milonitos de arcilla limosa		5
Milonitos arcillosos gruesos		10-20

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.5 Jw

Es el factor de reducción por la presencia de agua, es un coeficiente que minoría el índice Q en función de la entrada de agua a la excavación, alcanzando un valor máximo de 1,0 para excavaciones secas o pequeñas y un valor mínimo de 0,05 para fluencias altas o de presión eleva, de acuerdo con a tabla 1-4.

Tabla 1-4: Coeficiente reductor por la presencia de agua.

COEFICIENTE REDUCTOR POR LA PRESENCIA DE AGUA	JW	PRESION DE AGUA (Kg/cm2)	VALOR
Excavaciones secas a con < 5 l/min localmente		<1	1
Afluencia media con lavado de algunas diaclasas		1-2,5	0,66
Afluencia importante por diaclasas limpias		2,5-10	0,5
Ídem con lavado de diaclasas		2,5-10	0,33
Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo		> 10	0,2-0,1
Ídem mantenida		> 10	0,1-0,05

fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.6 SRF

Es un factor que evalúa el estado tensional del macizo rocoso y su valor varía entre los 0,5 y 400. Se distinguen 4 grupos para evaluar el coeficiente SRF los cuales son:

- Zonas débiles.
- Rocas Competentes.
- Rocas deformables.
- Rocas expansivas.

De acuerdo con la tabla 1-5.

Tabla 1-5: Parámetro SRF.

PARAMETRO SRF	SRF	VALOR
Zonas débiles		-
Multitud de zonas débiles		10
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50 m)		5
Ídem con cobertura >50 m		2,5
Abundantes zonas débiles en roca competente		7,5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura ≤ 50 m)		5

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.7 RMR:

Esta categorización consiente en obtener un índice de calidad del macizo rocoso a partir de resistencia de la roca intacta, grado de fracturación y diaclasado de las discontinuidades del macizo.

El índice de esta clasificación va desde los 15 hasta los 100 puntos a partir de los cuales el macizo rocoso puede clasificarse en 5 categorías las cuales son:

- Resistencia de la roca matriz: Esta se mide a partir del ensayo de rotura a compresión simple de testigos de rocas o a partir del ensayo de carga puntual, su puntuación va de los 0 hasta los 15 puntos dependiendo de la resistencia de la roca, de acuerdo con la tabla 1-6:

Tabla 1-6: Parámetro de resistencia de la roca.

PRIMER PARAMETRO: RESISTENCIA DE LA ROCA.			
Descripción	**Resistencia a la compresión simple (Mpa)**	**Ensayo de carga puntual**	**Valoración**
Extremadamente dura	> 250	> 10	15
Muy dura	100-250	4-10	12
Dura	50-100	2-4	7
Moderadamente dura	25-50	1-2	4
Blanda muy blanda	5-25	< 1	2
	1-5		1
	< 1		0

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.8 RQD

Consiste en el valor del grado de fracturación del macizo rocoso desde 3 puntos para un valor RQD inferior al 25% hasta 20 puntos para un valor superior al 90%., de acuerdo con la tabla 1-7:

Tabla 1-7: Parámetro RQD.

SEGUNDO PARAMETRO: RQD		
Índice de calidad RQD (%)	**Calidad**	**Valoración**
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Excelente	20

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.9 Separación entre diaclasas

Puntúa el espaciamiento entre discontinuidades, su puntuación alcanza valores de 20 puntos para las diaclasas separadas a más de 2m y un valor mínimo de 5 puntos para diaclasas separadas a menos de 6cm., de acuerdo con la tabla 1-8:

Tabla 1-8: Parámetro separación entre diaclasas.

TERCER PARAMETRO: SEPARACION DE LAS DISCONTINUIDADES.			
Descripción	**Espaciado de las juntas**	**Tipo de macizo rocoso**	**Valoración**
Muy separadas	> 2m	Solido	20
Separadas	0,6-2m	Masivo	15
Modernamente juntas	200-600 mm	En bloques	10
Juntas	60-200 mm	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm	Machacado	5

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.10 Estado de las diaclasas

Esta clasificación permite puntuar las diaclasas a través de longitudes de las discontinuidades, abertura, rugosidad, presencia de relleno y alteración de las juntas, su puntuación va desde los 0 puntos hasta los 20 los cuales son el máximo, de acuerdo con la tabla 1-9, tabla 1-10, tabla 1-11, tabla 1-12 y tabla 1-13:

Tabla 1-9: Abertura de las discontinuidades.

CUARTO PARAMETRO: CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES. (ABERTURAS)			
Grado	**Descripción**	**Separación de las caras**	**Valoración**
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1-5mm	1
3	Cerrada	0,1-1mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1mm	5
5	Ninguna	0	6

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

Tabla 1-10: Continuidad o persistencia de las discontinuidades.

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES			
Grado	**Descripción**	**Continuidad**	**Valoración**
1	Muy baja	< 1m	6
2	Baja	1-3m	4
3	Media	3-10m	2
4	Alta	10-20m	1
5	Muy alta	> 20m	0

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

Tabla 1-11: Rugosidad de las discontinuidades

RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES		
Grado	**Descripción**	**Valoración**
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (Espejo de falla)	0

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

Tabla 1-12: Relleno de las discontinuidades.

RELLENO DE LAS DISCONTINUIDADES		
Grado	**Descripción**	**Valoración**
1	Blando > 5mm	0
2	Blando < 5mm	2
3	Duro > 5mm	2
4	Duro < 5mm	4
5	Ninguno	6

fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

Tabla 1-13: Alteración de las discontinuidades.

ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES		
Grado	**Descripción**	**Valoración**
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.1.11 Presencia de agua freática

Esta mide las filtraciones de agua que hay en el macizo rocoso, el flujo de agua y la humedad presente en el macizo, su puntuación alcanza un valor de 15 para un macizo rocoso seco y un valor de 0 cuando el agua está fluyendo entre las juntas con un caudal superior a 125 l/min o cuando la presión de agua es superior a 0,5, de acuerdo con la tabla 1-14 y tabla 1-15:

Tabla 1-14: Parámetro presencia de agua freática.

QUINTO PARAMETRO: LA PRESENCIA DEL AGUA.			
Caudal por 10m de túnel	**Relación presión-agua-tensión PPAL mayor**	**Descripción**	**Valoración**
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	<0,1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0,1-0,2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0,2-0,5	Goteando	4
> 125 litros/min	> 0,5	Fluyendo	0

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

Tabla 1-15: Tabla de valoración del macizo rocoso.

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO CON RELACION AL INDICE RMR				
Clase	**Calidad**	**Valoración RMR**	**Cohesión**	**Ángulo de Rozamiento**
I	Muy buena	180-81	>4 Kg/cm2	> 45º
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm2	35º-45º
III	Media	60-41	2-3 Kg/cm2	25º-35º
IV	Mala	40-21	1-2 Kg/cm2	15º-25º
V	Muy mala	< 20	< 20	< 15º

Fuente: Apuntes asociados a procesos industriales mineros, Docente Tanya Seguel.R, Año 2021

1.2 TIPOS DE ROCAS

Para la determinación de la calidad del macizo rocoso se requiere de la utilización de las tablas anteriormente mostradas, las cuales tienen los valores de los parámetros de cada macizo rocoso.

Cada tabla contiene los puntajes que se necesitan para la determinación de la calidad del macizo rocoso siendo cinco parámetros los que determinaran su calidad, a continuación, mostraremos un ejercicio de la aplicación de la caracterización geomecánica:

Un túnel será excavado a través de un granito ligeramente meteorizado con una familia dominante de Diaclasas con rumbo perpendicular al eje del túnel, orientación muy favorable. A partir de los "logs" de perforaciones diamantinas, ensayos de laboratorio y observaciones de campo, se obtienen los siguientes datos:

- Ensayo de Carga Puntual: 6 MPa (valor representativo).
- Valores promedio del RQD: 50%.
- Separación de juntas: 800 mm.
- Discontinuidades: 1 m de longitud; 1.0 mm de abertura; rugosas; lisas y alteradas
- Condiciones de excavación del túnel: se espera condición seca.

Determinación mediante RMR

- Carga puntual 6 Mpa: 12 puntos. (Muy dura)
- RQD 75%: 17puntos. (Buena)
- Separación 800mm: 15 puntos. (Separadas)
- Discontinuidades: 1m longitud: 4 puntos. (Baja)
- 1.0 de abertura: 1 punto. (Moderadamente abierta)
- Rugosa: 5 puntos.
- Lisas: 1 punto.

- Alteradas: 3 puntos.
- Condición túnel: Seca. 15 puntos
- Condición muy favorable: 0 puntos

SUMA TOTAL: 12+17+15+4+1+5+1+3+15+0= 73 Puntos

Según la valoración establecida por los parámetros correspondientes este macizo rocoso pertenece a la clase N°2 la cual su rango esta entre los 61 y 80 puntos, esto quiere decir que tiene una calidad BUENA.

Una vez que obtenemos la calidad del macizo rocoso se puede determinar la clasificación Q de Barton la cual consiste en diseñar sostenimientos para los túneles u otras excavaciones subterráneas.

1.3 TIPOS DE EXTRACCIÓN

En la minería es necesario la realización de túneles para los diferentes fines que se aprecie conveniente, hoy en día hay técnicas cada vez más avanzadas para la realización de estos túneles, siendo más eficaces y mucho más rápidas en comparación a las técnicas antiguas.

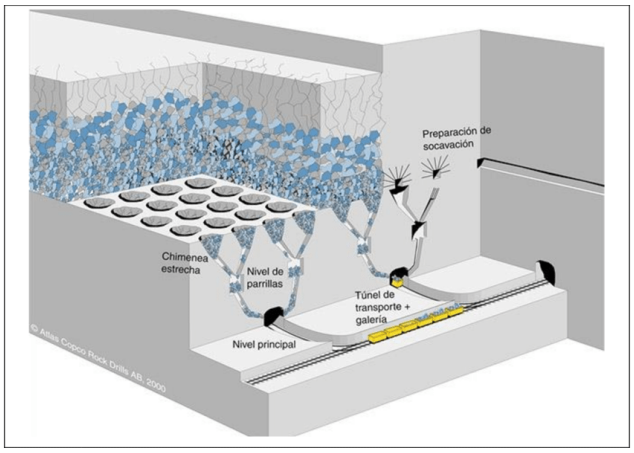
La minería es un movimiento económico del sector primario, en la cual el ser humano es el encargado de la explotación de esta, para la obtención de los recursos que se acumulan en los suelos o subsuelos, generando los yacimientos mineralizados. Para esto se deben establecer los métodos de extracción del mineral los que pueden ser mediante minería subterránea o en minería a cielo abierto, todo pende que tan profundo se encuentre el cuerpo mineralizado.

En la minería subterránea existen varios métodos de explotación los cuales pueden llevar a cabo la extracción del mineral, mediante estudios se puede definir cuál será el método que más favorezca al cuerpo mineralizado ya sea métodos por hundimiento, caserones, soportados y auto soportados, a continuación, presentaremos los métodos de extracción:

1.3.1 Métodos por Hundimiento

1.3.1.1 Block Caving

Consiste en arrancar un bloque de mineral de grandes dimensiones por hundimiento de mineral, la cual se extrae por la base del bloque, de acuerdo con la imagen 1-1

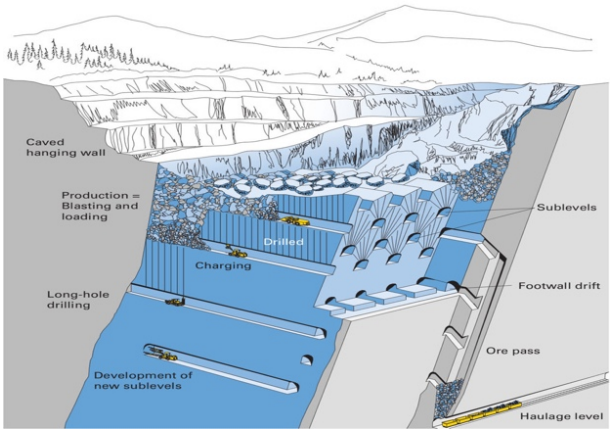


fuente: researchGate, figura 31, modelo asimétrico que ejemplifica Block Caving

Imagen 1-1: Esquema Block Caving

1.3.1.2 Sub-level caving

Es un método de extracción por hundimiento en el cual el material estéril superpuesto se derrumba y llena los vacíos que deja la extracción del yacimiento., de acuerdo con la imagen 1-2:

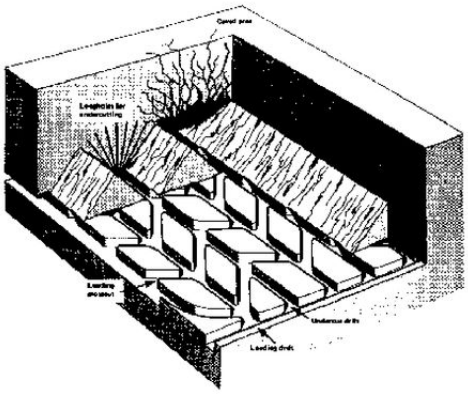


Fuente: bsginstitute,

Imagen 1-2: Esquema Sub-Level Caving

1.3.1.3 Panel caving

Como su nombre lo dice es un método de explotación por paneles el cual consiste en general el hundimiento del cuerpo mineralizado mediante cortes basales de un bloque o del panel removiendo su punto de apoyo, de acuerdo con la imagen 1-3:



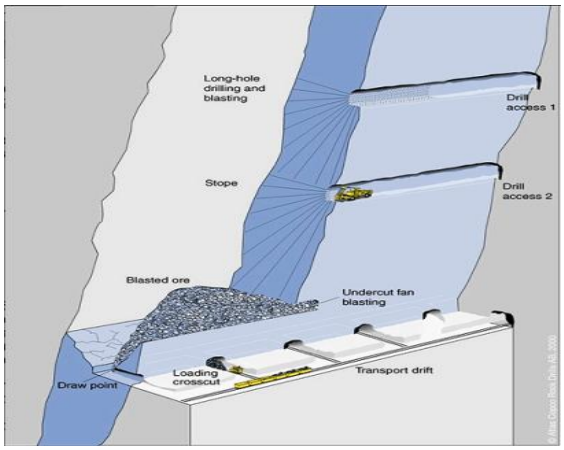
Fuente: bsginstitute,

Imagen 1-3: Esquema Panel Caving

1.3.2 Métodos por Caserones

1.3.2.1 Sub-level stoping

Es un método de gran productividad debido a que las labores que se realizan parten dentro del cuerpo mineralizado, se emplean en criaderos de pendiente alta en los que el mineral cae por gravedad en el hueco abierto, de acuerdo con la imagen 1-4:



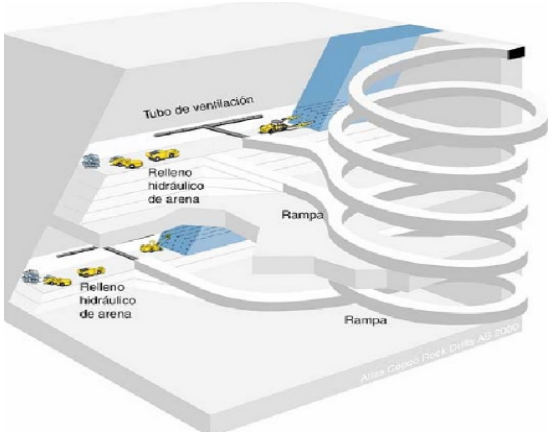
Fuente: bsginstitute,

Imagen 1-4: Esquema Sub-Level Stoping.

1.3.3 Métodos soportados

1.3.3.1 Cut and fill (Corte y relleno)

Corresponde a el mineral que se arranca en rebanadas continúas trabajando en sentido ascendente desde la galería base, el mineral se arranca lo cual genera que se cause un hueco, el cual se va rellenando con materiales estériles a medida que se va explotando el mineral, de acuerdo con la imagen 1-5:

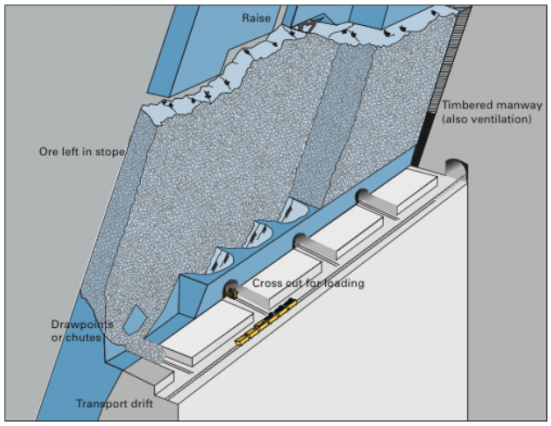


Fuente: bsginstitute,

magen 1-5: Esquema Cut And Fill

1.3.3.2 Shrinkage

Este es un método de cámaras de almacén el cual consta de la extracción del mineral de forma ascendente tal como el anterior, pero con la diferencia que este método al ser explotado solo saca el 35% de cada tronadura dejando el otro 65% dentro de la cámara el cual se podrá recuperar al término de la explotación de la cámara, de acuerdo con la imagen 1-6:



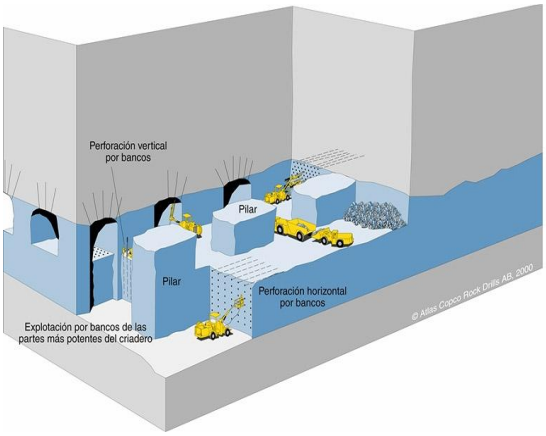
Fuente: bsginstitute,

Imagen 1-6: Esquema Shrinkage

1.3.4 Métodos autos soportados

1.3.4.1 Room and pillar

Es un método que se realiza mediante soportes de pilares para la explotación subterránea, esencialmente las potencias de estos deben ser mayores a 10 metros y menores a 30 metros las cuales se explotan por subniveles desde el techo al piso, de acuerdo con la imagen 1-7:



Fuente: bsginstitute,

Imagen 1-7: Esquema Room And Pillar

1.3.5 Minería cielo abierto

Otro método de extracción de los minerales es mediante el método de cielo abierto o también conocido como rajo, el cual consta de extraer los minerales que no se encuentran a grandes profundidades, en comparación a la minería subterránea el mineral no se extrae mediante la realización de túneles, esta se va explotando mediante bancos, los cuales se van generando a medida que se vaya explotando el mineral.

Este método en comparación a la minería subterránea es sumamente rentable cuando los minerales afloran cerca de la superficie, pero a medida que la profundidad va aumentando el método de minería subterránea vendría siendo el más factible, de acuerdo con la imagen 1-8:

Fuente: Tiempo Minero

Imagen 1-8: Minería cielo abierto Chuquicamata

CAPÍTULO 2: PERFORACIÓN Y TRONADURA

2. PERFORACIÓN Y TRONADURA

2.1 PERFORACIÓN

El propósito principal de la perforación es generar orificios cilíndricos en la roca para posteriormente introducir los diferentes tipos de explosivos que se pueden utilizar de acuerdo con la necesidad que se requiera.

La perforación se puede realizar con equipos manuales o bien mecanizados, los cuales mezclan la rotación con la percusión, lo que provoca la trituración de la roca.

Este método es la operación que se realiza con la finalidad de abrir huecos en el macizo rocoso, con una distribución y geométrica adecuada, en donde se alojaran cargas explosivas.

En la pequeña minería el sistema más común o usual es el de rotopercusión el cual se genera mediante energía neumática y cuyos componentes principales son la perforadora manual, esta es la encargada de brindarle la energía necesaria a las barras de perforación para así poder realizar dichos orificios.

En algunas operaciones de minería se ha incorporado el uso de jumbos de perforación (neumáticos o hidráulicos), lo que requiere personal con capacitación especial para operar estos equipos, además de las instalaciones adicionales que requiere su operación.

2.1.1 Perforación minería subterránea

En la minería subterránea, la perforación se utiliza en avances de las frentes o bien en la realización de chimeneas o piques. Al momento de realizar la perforación se recomienda humedecer el área de trabajo para así poder mantener la calidad del aire que se está respirando, ya que al no utilizar agua la roca al ser perforada emana un polvo, el que puede provocar enfermedades en el personal que se encuentra desempeñando la labor.

En el momento que se agrega agua a la perforación se ve de inmediato el favorecimiento en el barrido del mineral, como también en la refrigeración de las barras.

Para la realización de esta operación el operador debe contar con todos sus elementos de protección personal y también antes de la realización de la actividad se debe verificar la zona en la que se está desempeñando la labor se encuentre en condiciones óptimas, para que de este modo se aminoren las condiciones de trabajo no seguras.

A continuación, se darán buenas prácticas para el desempeño del trabajo:

- Revisar la galería en toda su longitud, lavar con agua la frente del disparo anterior para detectar restos de explosivos, procediendo a eliminarlos, y acuñar los sectores que sean necesarios.
- Revisar el equipo de perforación, el nivel de aceite en el pato lubricador y la disponibilidad de agua para la operación. También se debe verificar que se cuenta con todas las herramientas y accesorios necesarios como barrenos y acuñadores.
- Soplar las mangueras de aire antes de acoplar a la máquina, para evitar que ingresen "piedrecillas" al interior de la perforadora, y revisar cañerías, uniones, collarines, arranques, coplas (chicago) y mangueras para prevenir posibles fugas de aire. Se debe realizar el mismo procedimiento la red de agua.
- Verificar la dirección e inclinación de la labor, la distribución de los tiros en la frente, y ubicar la pata neumática de la perforadora con la inclinación adecuada para
- lograr el empuje necesario, de tal forma que el trabajador realice el menor esfuerzo posible, de acuerdo con la imagen 2-1:

Fuente: Tiempo Minero

Imagen 2-1: Perforación mecanizada en minería subterránea

2.1.2 Perforación en minería a cielo abierto

La perforación en minas a cielo abierto se puede ejecutar con equipo liviano tipo Jack Leg (perforadora manual) o del tipo Truck Drill (Perforadora mecanizada), los que se ocuparan de acuerdo con la altura del banco.

A continuación, se darán buenas prácticas para el desempeño del trabajo:

- La profundidad de la perforación debe ser la misma a la de la altura del banco más la pasadura. La pasadura generalmente fluctúa entre 0 a 0,4 veces el burden, siendo el burden la separación que existe entre un tiro y la cara libre.
- Se debe utilizar captadores de polvo o perforación húmeda, al igual que en minería subterránea.

- Se debe mantener un control permanente en los frentes de trabajo, respecto del desmoronamiento y desprendimiento de rocas susceptibles de Generar accidentes, así como también de la estabilidad de las paredes y crestas de los bancos.

En minería a rajo abierto se debe tener control permanente en los frentes de trabajo, debido a que se cómo también de la estabilidad de las paredes y crestas de los bancos. Producen desmoronamiento y desprendimiento de rocas que puedan provocar accidentes, de acuerdo con la imagen 2-2:

Fuente: Canales Sectoriales Minería y Perforación

Imagen 2-2: Perforación en bancos en minería cielo abierto.

2.2 EXPLOSIVOS

2.2.1 Explosivos pulverulentos

Los explosivos pulverulentos están compuestos por nitrato amónico, impermeabilizantes, estabilizantes y sustancias combustibles y oxidantes. Estos tienen una estabilidad pulverulenta, presentando mala resistencia a el agua.

Su potencia, densidad y velocidad de detonación es inferior a la de los explosivos gelatinosos, produciendo muy pocos gases tóxicos. Los explosivos pulverulentos son poco sensibles a los golpes y a la fricción.

Se utilizan en:

- Voladuras de rocas semiduras y blandas
- Voladuras de contorno.

De acuerdo con la imagen 2-3:

Fuente:Famesa

Figura: 2-3 Explosivo pulverizados

2.2.2 Hidrogeles

Los hidrogeles están constituidos por una mezcla de disolución oxidante y nitrato de monometilamina., también se les añade sustancias combustibles y gelificantes. No llevan sustancias explosivas, reaccionan de forma explosiva cuando se les inicia con un detonador, cordón detonante o multiplicador.

Estos explosivos no producen exudación y presentan gran velocidad de detonación, también tiene alta densidad y gran resistencia al agua, resistiendo eficazmente las variaciones de temperatura.

Presentan elevada resistencia al roce y al impacto, produciendo humos de menor toxicidad.

Se utilizan en:

- Voladuras de rocas duras y semiduras
- Voladuras precorte y recorte
- Carga de columna en barrenos con agua
- Iniciador de explosivos pulverulentos, especialmente ANFOS.

De acuerdo con la imagen 2-4:

Fuente: Tecnología Minera.

Figura 2-4 Explosivo hidrogel

2.2.3 Anfos

Los Anfos están compuestos por sustancias combustibles y oxidantes, pudiendo llevar otros aditivos, como polvo de aluminio, y presentan aspecto granular.

Es un explosivo fluido que rellena los huecos del barreno, optimizando la transmisión de energía a la roca. Su velocidad de detonación baja, al igual que su potencia y densidad y también su resistencia al agua es nula.

Los Anfos producen gases tóxicos y son muy insensibles a los golpes, lo que proporciona una manipulación muy segura. Para su sensibilización, requiere un explosivo o un sistema de iniciación de alta energía.

En el mercado actual la empresa Enaex cuenta con 3 tipos diferentes de Anfos:

- Anfo premium: Agente de voladura de alta calidad, elaborado con nitrato de amonio Enaex de grado explosivo, de baja densidad y alta absorción de aceite. Este se puede utilizarse en minería subterránea y a cielo abierto, de acuerdo con la imagen 2-5:

Fuente: Enaex

Imagen 2-5: Explosivos Anfo Premium

- Anfo aluminizado: Agente de voladura de alta calidad, elaborado con nitrato de amonio Enaex de grado explosivo, de baja densidad y alta absorción de aceite. Contiene aluminio en su formulación para potenciar su poder energético. Este se puede utilizarse en minería subterránea y a cielo abierto, de acuerdo con la imagen 2-6:

Fuente: Enaex

Imagen 2-6: Explosivos Anfo Aluminizado

- Anfo 2-H: Agente de voladura de alta calidad, elaborado con nitrato de amonio de grado explosivo, de baja densidad y alta absorción de aceite.
  Es una mezcla de ANFO con 2% de agua, finamente atomizada, para darle adherencia al cargar voladuras ascendentes de diámetro mayor a 1 1/4 ″ en minería subterránea, se acuerdo con la imagen 2-7:

Fuente: Enaex

Imagen 2-7: Explosivo Anfo 2-H

2.2.4 Emulsiones

Las emulsiones están compuestas por dos fases, la primera está la parte oxidante y en la segunda los combustibles. Éstas no producen exudación y presentan una gran velocidad de detonación y alta energía y densidad, tienen resistencia al agua y tienen una manipulación segura, resistiendo eficazmente las variaciones de temperaturas, además no les afecta el choque, el roce o el calor.

La mezcla de emulsiones y anfo se llama HEAVY-ANFO

Se utilizan en

- Voladuras de cualquier tipo de rocas.
- Explosivos muy versátiles.

De acuerdo con la imagen 2-8:

Fuente: Tecno voladuras

Imagen 2-8: Explosivo Emulsiones.

2.2.5 Pólvora Negra

Está formada por una mezcla de azufre, carbón vegetal y nitrato potásico, y presenta una textura granular. La pólvora de mina tiene nula resistencia al agua y es sensible a la llama. Al tener energía, velocidad de detonación potencial y densidad es baja, logra agrietar las rocas.

Se utilizan en

- Pequeños trabajos de excavación
- Arranque de rocas ornamentales

De acuerdo con la imagen 2-9:

Fuente: Famesa

Imagen 2-9: Explosivo pólvora Negra

2.2.6 Explosivos Gelatinosos

Los explosivos gelatinosos están compuestos por nitroglicerina o nitroglicol, nitrocelulosa, estabilizantes y sustancias combustibles y oxidantes, son los del llamado tipo gomas y presentan consistencia plástica.

Presentan gran velocidad de detonación, elevado poder rompedor y gran resistencia al agua. Su alta densidad hace que desalojen agua de los barrenos. Este tipo de explosivo es muy sensible a los golpes.

Los explosivos gelatinosos producen muy pocos gases tóxicos, resistiendo de forma eficaz las variaciones de temperaturas. Si se almacenan correctamente, tienen lento envejecimiento.

Se utilizan en:

- Voladuras de rocas duras y semiduras
- Trabajos con gran presencia de agua

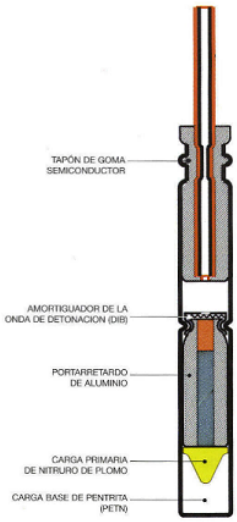
2.2.7 Detonadores

Los detonadores son sistemas de iniciación utilizados para explosionar diferentes materiales explosivos y entre ellos podemos encontrar los siguientes tipos:

2.2.7.1 Detonadores no eléctricos

- Detonadores que se inician por onda de choque.
- Tubo iniciador con alta resistencia a la tracción y a la abrasión.
- Bajo nivel de ruido con la técnica de cebado de fondo.
- No pueden ser iniciados por corrientes erráticas, inducidas o radiofrecuencia.
- Se destruyen por explosión.
- Pueden ser utilizados en todo tipo de voladuras según la gama.

De acuerdo con la siguiente imagen 2-10:



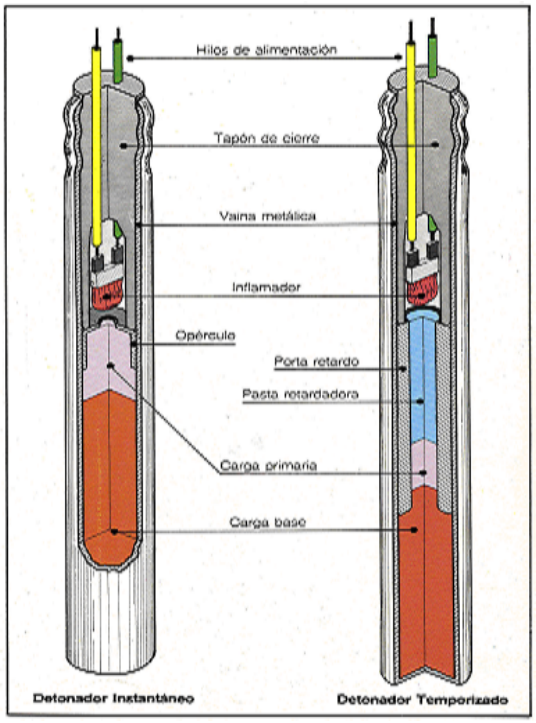
Fuente: Explosivos wikidot

Imagen 2-10: Detonador no Electrónico

2.2.7.2 Detonadores electrónicos

- Clasificados en función de su sensibilidad eléctrica: sensible S, insensible I, altamente insensible AI
- En áreas con riesgo de corrientes erráticas su uso debe ser restringido
- Son detonadores de alta precisión.
- Gran gama de metrajes, tiempos de retardo y sensibilidad.
- Se aplican en voladuras a cielo abierto y como iniciación de otros sistemas.
- Se destruyen por explosión.

De acuerdo con la imagen 2-11:



Fuente: Explosivos wikidot

Imagen 2-10: detonador electrónico

2.2.8 Cordón detonante

Un cordón detonante es un cordón flexible e impermeable que contiene en su interior un explosivo denominado pentrita y se emplea fundamentalmente para transmitir a los explosivos colocados en los barrenos la detonación iniciada por un detonador. Los cordones detonantes tienen dos tipos de aplicaciones: servir para la iniciación de explosivos dentro de una voladura o servir como explosivo para la ejecución de la propia voladura.

Sus características son:

- Potente iniciación, elevada flexibilidad, fácil anudado y resistentes al agua
- Utilizados en la iniciación de explosivos y multiplicadores, como explosivo para voladuras de contorno, en voladuras de corte de rocas ornamentales.
- Sirven como línea maestra en la iniciación no eléctrica

De acuerdo con la imagen 2-11:

Fuente: Tecno voladuras

Imagen 2-11: Cordón Detonante

2.2.9 Relés de retardo

Son conectadores que permiten desarrollar esquemas de voladuras temporizadas, además entrega una temporización que logra un intercalando en un relé en el cordón detonante, que enlaza dos barrenos consecutivos permitiendo un retardo de varios milisegundos.

Sus características son:

- No puede ser iniciado por corrientes erráticas, inducidas o radiofrecuencia
- Conexión sencilla
- Se destruyen por explosión

De acuerdo con la imagen 2-12:

Fuente: Rockwellautomation

Imagen 2-12: Relés de retardo

2.3 TIPOS DE TRONADURA:

La tronadura es la etapa siguiente a la perforación, como mencionamos anteriormente la perforación es la encargada de la realización de los orificios en los cuales se alojará el explosivo, la tronadura es la encargada de la extracción del mineral la cual es la que aprovecha la energía que liberan los explosivos al momento de explotar, para su mayor aprovechamiento es necesario aplicar la energía justa y necesaria para que se genere una buena fragmentación y no provoque daños dentro de la mina.

Se habla de dos tipos de tronadura:

La primera, la cual se realiza directamente del macizo rocoso para separar y fragmentar gran parte de este.

La segunda, es la que se realiza sobre fragmentos de gran tamaño los cuales ya fueron separados del macizo rocoso pero que de igual manera sus dimensiones son demasiadas grandes, por ende, se busca lograr de manera eficiente su reducción de tamaño para luego poder ser enviado a planta.

Ambos tipos de tronaduras son utilizadas en la minería a cielo abierto y subterráneo, se decide su uso de acuerdo con la necesidad de cada minería.

2.3.1 Tronaduras de producción

Las tronaduras de producción tratan a las tronaduras lejanas a la caja que no forman parte del diseño final del Pit, por lo que no tocan con paredes del diseño. Cabe mencionar que las tronaduras de producción se pueden realizar tanto en mineral como estéril, cumpliendo la restricción de distancia de la tronadura de la caja. Su objetivo es la separación del mineral de interés del macizo rocoso, igualmente la disminución del tamaño de las rocas certificando una granulometría que facilite su transporte y para los requerimientos de chancado y molienda.

Cuando estas tronaduras están en mineral, generan remanente a las palas, teniendo poco tiempo de exposición, la fragmentación es el principal objetivo, estas tronaduras deben cumplir con los patrones de seguridad dados por la empresa en términos de cantidad de material a tronar, nivel de vibraciones máximo permitido y liberación de material participado. La tronadura de producción se especifica por estar orientada a mayores volúmenes de roca, además de poseer un único diseño y un alto factor de carga, por lo que generan un alto nivel de vibraciones.

De acuerdo con la imagen 2-13:

Fuente: Minería chilena

Imagen 2-13: Tronadura y Fragmentación

2.3.2 Tronaduras de contorno

La tronadura de contorno es menos productiva y más costosa que una convencional. Su objetivo es compensar los costes de saneo y mantenimiento de taludes garantizando los estándares de seguridad.

Las particularidades principales de estas tronaduras son una buena distribución de la energía, dado por mallas más cerrada, las que pueden ser máximo 3 a 4 filas de pozos de producción para reducir el burden efectivo de la fila previa, para mitigar el confinamiento de explosivos y tener mayor espacio para darle dirección al tren de ondas. Existe diferentes métodos de tronaduras de contorno las que buscan reducir el daño y nivel de vibraciones en las paredes aledañas, tipos de tronaduras:

- Tronadura de pre-corte (actualmente este método es utilizado en la Minería Spence)
- Tronadura de recorte
- Tronadura con pozos perforados sin carga.

2.3.3 Tronaduras de remate

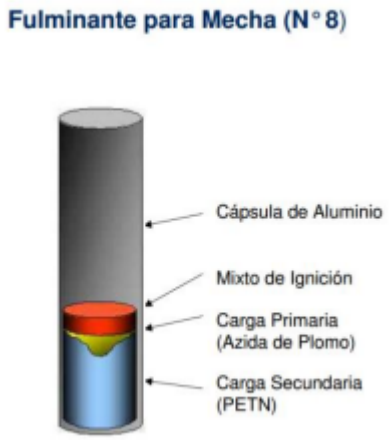
Su característica principal es que corresponden a la franja colindante a la línea de diseño, por lo que se precisa que asegure un cuidado en el talud dado su mayor exposición temporal. Asimismo, tienen características similares a las tronaduras de contorno con una línea de perforación de pre-corte, las cuales son dos líneas de perforación de pozos buffer que es línea amortiguada y finalmente pozos de producción.

La tronadura de los pozos buffer sigue en secuencia y ubicación a los pozos de producción, así como también, requiere de cara libre para realizarse. Los pozos amortiguados ubicados por delante de los pozos buffer, atenúan las vibraciones y su impacto en el talud en conjunto a los pozos buffer. Presentan el mismo diámetro que los pozos buffer, pero factor de carga distinto y una malla más amplia

2.4 DETONADORES ASOCIADOS

2.4.1 Detonador a fuego

Un detonador es un dispositivo que permite iniciar altos explosivos, de acuerdo con un tiempo de retardo que contiene en el interior del "casquillo". Son considerados explosivos, ya que en su interior tienen 2 explosivos (primario y secundario) de alta sensibilidad. Cada sistema posee su propio detonador, es por eso que comenzaremos por el detonador a fuego. Consiste en una cápsula de aluminio que contiene una carga explosiva, compuesta por una carga primaria, una secundaria y un mixto de ignición. De acuerdo con la imagen 2-14:



.

Fuente: Inacap, Extraccion Mina I, Apuntes Explisivos

Imagen 2-14: Detonador a Fuego

2.4.2 Sistema de iniciación electrónico

La iniciación eléctrica es fundamental en la inflamación de la carga explosiva sensible del detonador por medio del calentamiento hasta que ocurre una incandescencia de una pequeña resistencia eléctrica de puente, habitualmente esta tiene la virtud de que cada detonador por un enorme conjunto de tiros por medio de detonadores de acción rápida o por acción más tardía, deteniendo cada tiro en un intervalo de tiempo bien preciso y corto, todo esto ocurre por medio de la acción retardada, la que es necesaria para las voladuras de intensidad.

El esquema de encendido eléctrico de este detonador corresponde a la localización escalonada de diferentes detonadores de un tiempo de voladura, siendo así de gran trascendencia, como en todos los procesos de iniciación.

Los detonadores se clasifican según su retardo, existen cuatro categorías de detonadores:

- Eléctricos: El detonador eléctrico es aquel en que un detonador es encendido mediante un golpe de corriente eléctrica a través de un alambre de alta resistencia
- No eléctricos instantáneos: estos detonadores no llevan portar retardo, y por tanto la inflamación de la cerilla produce instantáneamente la explosión de la carga primaria y esta de la carga base. Uno de los hilos de estos detonadores es siempre de color blanco
- Detonadores de período corto mide en milisegundos
- Detonadores de período largo miden en segundos.

Tabla 2-1: Ventajas y desventajas de Detonadores

Tipo de explosivo	Ventajas	Desventaja
Electrónicos	Tienen una baja o nula dispersión en sus tiempos de retardo, son testeables por ende brindan una mayor seguridad y solo se inician con un equipo especificado.	Altos costos y debilidad en sus cables de conexión. ,
No electrónicos	Elimina riesgos de iniciación prematura y permite diseñar una secuencia de iniciación sin límite de tiros a detonar, este detonador es de mucho menor costo.	Genera mucho ruido, no se puede comprobar y presenta una gran dispersión en sus tiempos de retardo.

Fuente: Creación propia

CAPÍTULO 3: DETONADORES ELECTRÓNICOS

3. DETONADORES ELECTRÓNICOS

3.1 DETONADORES

3.1.1 Detonadores Electrónicos

Este tipo de detonadores están constituidos, por una cápsula metálica de aluminio cerrada por un extremo, encontrándose en su interior un condensador, un chip, un inflamador, un explosivo iniciador o primario y un explosivo base o secundario.

Estos detonadores tienen como principal características su seguridad y su precisión. Los detonadores se activan instantes antes de la detonación y requieren una corriente codificada para su iniciación, Se pueden programar con un tiempo de retardo de 1 à 14000 ms. en intervalos de 1 ms. están limitadas a 1.500 detonadores por disparo, con posibilidad de ampliación a 3000 acoplando una segunda consola de tiro.

Con este tipo de detonadores no existen los conectores ya que el retardo de cada barreno viene determinado por su detonador, existe una comunicación bidireccional entre detonadores y consolas de disparo y programación a través de un conductor de cobre de diámetro 7/10 mm de alta resistencia a la abrasión.

En el mercado podemos encontrar los siguientes detonadores electrónicos:

3.1.2 Daveytronic ug Evolución

Es un detonador que se destaca por las siguientes características:

- Más seguro a nivel de sistema.
- Procedimientos de prueba y revisión permanentes hasta que se da la orden de disparo
- Cerradura de seguridad electrónica para autorizar el procedimiento de disparo.

La compatibilidad y la seguridad totales del sistema DT, facilita el abordaje para un mejor desempeño de la minería subterránea, ya que cuenta con un control de vibraciones y disminuye el daño en las excavaciones cercanas, cuenta con explosiones de voladuras masivas de producción y múltiples eventos, y facetas con facilidad de ejecución y, por lo tanto, una mayorás productividad con menor costo por unidad y además entregando un tiempo de trabajo más reducido de los detonadores convencionales

De acuerdo co la imagen 3-1:

Fuente: https://www.enaex.com/co/es/daveytronic-ug-evolucion/

Imagen 3-1: Detonador Daveytronic ug Evolución

3.1.3 Daveytronic op Evolución

Este detonador es utilizado para la creación de canteras, obras civiles, incluidos túneles y minas pequeñas, se destaca por lo fácil de su manejo al momento de la manipulación y además su máxima seguridad para una producción optima

Como cualquier sistema DT OP proporciona un alto nivel de precisión y confiabilidad, lo que mejora el rendimiento de la voladura al mismo tiempo que ofrece una interfaz, además es fácil de usar y permite una programación rápida, este detonador cuenta con características tales como:

- Condensador doble: uno para la comunicación bidireccional entre el equipo de voladura y los detonadores, y otro para el comando de disparo.
- Smartshunt, para aislar el cabezal del fusible hasta que se reciba el comando de disparo.
- Procedimientos de prueba continuos hasta que se da el comando de disparo.
- Cerradura de seguridad electrónica (RFID) para autorizar el procedimiento de disparo.

De acuerdo con la imagen 3-2:

Fuente: Enaex

Imagen 3-2: Detonador Daveytronic ug Evolución

3.2 PROCEDIMIENTO DE TRONADURA

Como hablamos anteriormente la tronadura es la actividad siguiente a la de perforación y es la encargada de la extracción del mineral mediante la energía que liberan los explosivos al momento de explotar, cabe señalar que para su mejor rendimiento es necesario aplicar la energía justa para que se genere una buena fragmentación y no se provoquen daños dentro de la mina.

Luego de efectuar la actividad de perforación, ya sea en pisos, techos o frentes se procederá a lo que vendría siendo la “tronadura”, actividad la cual consiste en introducir elementos explosivos dentro de los orificios que se generaron en la perforación.

Como cada proceso la tronadura conlleva a seguir una serie de pasos para que se pueda efectuar de mejor manera la operación y de esta forma obtener un resultado beneficioso, junto a una optimización de tiempo de trabajo.

Principalmente antes de comenzar con el carguío de una frente, chimenea o pique se debe realizar una operación bastante relevante, la cual consiste en inyectar aire con alta presión en el tiro elaborado con el fin de que el orificio quede sin ninguna piedra que impida el paso del explosivo, como sabemos en la perforación se utiliza agua para evitar la exposición al polvo al momento de que se realiza el sondeo, principalmente en las perforaciones de frente y pisos tiende a acumularse agua dentro de esta misma, lo cual el operador a cargo debe sacar ya que la presencia de agua influiría en el carguío del disparo debido a que hay explosivos que no son resistentes al agua, es por esto que también se realiza la operación de soplar todos los tiros del diagrama realizado.

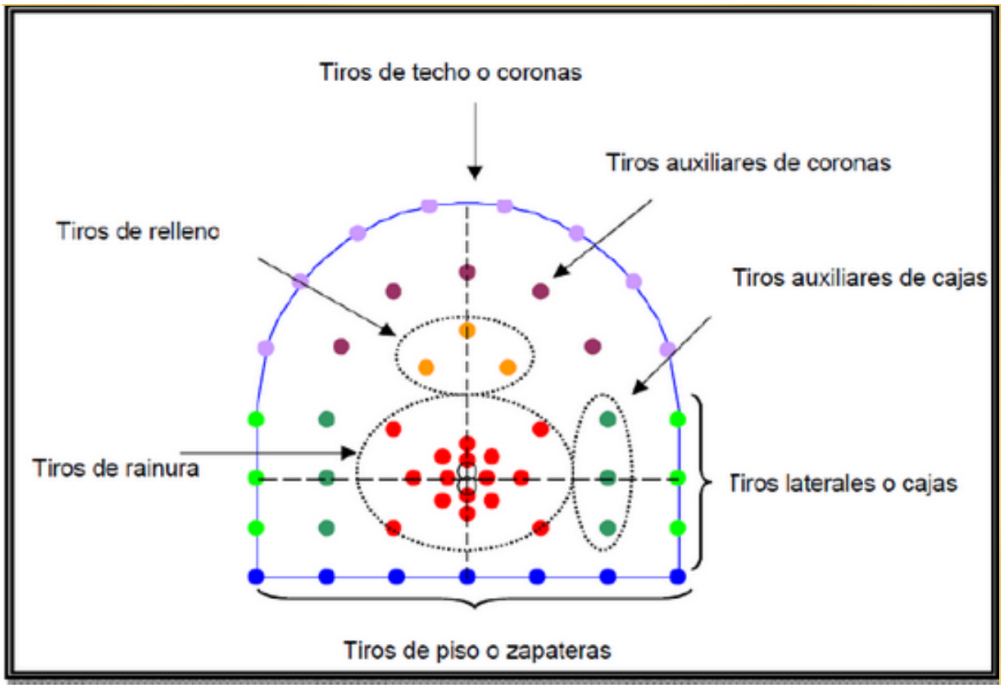
Luego de tener todos los disparos bien soplados y secos se procede a la siguiente actividad. la que sería el carguío de la frente o chimenea, cabe recalcar que antes que todo lo mencionado anteriormente se debe tener definido los tipos de explosivos que se utilizaran y las cantidades necesarias que se requiera.

Carguío de un diagrama:

I. Introducir la emulsión con el detonador correspondiente dentro del tiro.
II. Inyección de Anfo mediante presión de aire, la cantidad de anfo dependerá del largo del tiro realizado, normalmente cuando el tiro es muy largo se le realiza un taco al principio del tiro con este mismo y luego se le introduce la emulsión con el detonador, esto se realiza solamente por el largo del tiro, ya que si no se realiza el taco este quedaría dentro y no se podría amarrar con los demás tiros.
III. Luego de tener todos los tiros cargados con el Anfo se procede a amarrar todos los detonadores con la línea de inicio, cada detonador en la punta tiene un seguro el cual se engancha a dicha línea, el que brinda una seguridad para que todos los detonadores cumplan con su función.
IV. Ya teniendo todos los tiros cargados y amarrados en la línea de iniciación se procede a la revisión de los detonadores para ver su estado.

V. De acuerdo con los resultados que arroje el equipo si se encuentra todo en las perfectas condiciones se procede a dar inicio a la tronadura.

3.2.1 Diagramas de Disparos



Fuente: EC documento, Pagina 3

Imagen 3-3: Diagrama de Disparos.

En la siguiente imagen podemos ver un diagrama de disparo en minera subterránea, sus nombres y ubicación, como se puede apreciar los tiros que se realizan en el centro del diagrama son los tipos de rainura, luego siguen los tiros de los costados, estos son los auxiliares de caja, luego los tiro latéales o cajas, seguidos por los tiros de relleno, los tiros auxiliares de corona, tiros de techos o corona y por último van los tiros de piso o zapateras.

Lo que nosotros buscamos implementar como equipo de trabajo es cambiar los tipos de detonadores manuales o no electrónicos por detonadores electrónicos los cuales brindan una mayor seguridad al momento de ser ejecutados, ya que estos detonadores al ser electrónicos están conectados a un equipo el cual identifica cualquier falla que tenga el detonador por ende antes de ser ejecutado el operador ya sabe que el detonador tiene un problema puesto que el equipo le da el aviso de que algún detonador no se encuentra en buen estado, esto ayuda de gran manera a la seguridad y a la integridad física de los trabajadores puesto que se realiza de forma segura la tronadura sin tener dudas de que puede haber quedado un tiro sin detonar.

3.3 MODERNIZACIÓN DE LA OPERACIÓN.

Realizaremos una comparación de los detonadores con los que se trabajó en este informe, los cuales serán detonador pirotécnico y detonador electrónico.

3.3.1 Detonadores electrónicos y tradicionales

En la actualidad la mayoría de los proyectos de construcción o desarrollo se ejecutan con tronaduras mediante el método de iniciación tradicional, sabemos que las detonaciones son procesos físico-químico que se caracterizan por su gran velocidad de reacción y por la formación de una gran cantidad de productos gaseosos a altas temperaturas, y que además alcanzan una gran fuerza expansiva, estos crean una onda de choque iniciadora, la que avanza a alta velocidad produciendo la reacción de la masa en un punto determinado, la que se va ampliando hasta irrumpir el diámetro total del explosivo, siendo ese el momento en donde este adquiere su velocidad máxima de detonación.

Los detonadores tradicionales de retardo de milisegundos se definen por tener intervalos cortos de retardo dentro del campo de trabajo, estos son utilizados para dar diferentes tiempos de retardos a cada una de las filas de cargas de explosivos.

Detonación por sistema de iniciación electrónica:

El sistema de Iniciación electrónico tiene la característica de reemitir una señal codificada electrónica para iniciar un tren de retardo, este sistema es lo último en tecnología y llego a solucionar en una gran totalidad el rango de error que presentan los detonadores no eléctricos, la que tiene un rango de error cercano al 5%, mientras que el sistema electrónico tiene un rango de error aproximado del 0,02% y 0,05%.

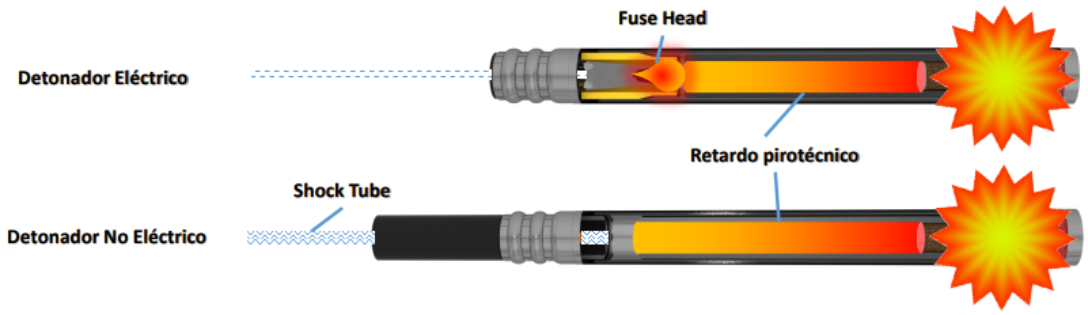
El detonador electrónico presenta ventajas como:

- Inmunidad a RF, EMI y corrientes vagabundas.
- Completamente testeable
- Sistema Automatizado de Prueba
- Funcionamiento Autónomo
- Requiere de Equipos específicos de voladura para el Disparo

Este método de iniciación elimino la dispersión que presentaba la mayoría de los detonadores pirotécnicos, mejorando así los parámetros post-tronadura.

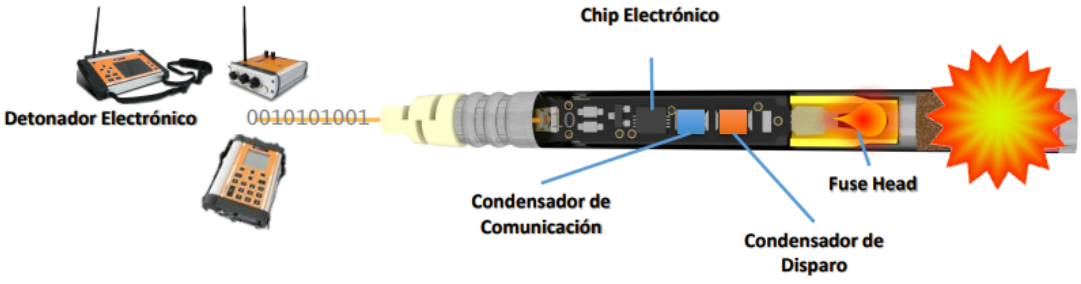
Para promover el uso de los detonadores con iniciación electrónica presentaremos un experimento validando que el uso de el detonador electrónico es mucho más eficiente que el de iniciación tradicional, para comenzar presentaremos una imagen de las características de ambos detonadores:

De acuerdo con la imagen 3-4 y 3-5:



Fuente: Entrenamiento en Sistema de iniciación electrónica daveytronic sp/ug evolution, Enaex

Imagen 3-4: Comparación de Ambos Detonadores.



Fuente: Entrenamiento en Sistema de iniciación electrónica daveytronic sp/ug evolution, Enaex

Imagen 3-5: Características Detonador Electrónico.

El experimento consistirá en detonaron 10 detonadores pirotécnicos de 400 ms de retardo, y luego 10 detonadores electrónicos con los mismos 400 ms en retardo, para poder comparar ambos funcionamientos.

De acuerdo con la imagen 3-6:

Fuente: Entrenamiento en Sistema de iniciación electrónica daveytronic sp/ug evolution, Enaex

Imagen 3-6: Realización de Experimento

Esta es la tabla con la recaudación de datos del experimento, con el detonador Nonel y su dispersión, y el detonador electrónico con su dispersión.

Tabla 3-1: Recolección de Datos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Detonador Nonel (ms)	405	411	417	383	428	405	413	412	419	421
Dispersión (%)	1,3%	2,8%	4,3%	-4,3%	7,0%	1,3%	3,3%	3,0%	4,8%	5,3%
Detonador electrónico (ms)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Dispersión (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fuente: Inacap, Material de Apoyo

El detonador Nonel (pirotécnico) presento una dispersión de hasta un 7%, lo que nos lleva a no forjar una buena secuencia de iniciación entre un pozo, si analizamos existe un grado de dispersión que presenta el detonador pirotécnico, este puede provocar una salida de pozos fuera de secuencia, lo que gatilla una detonación de 2 pozos sin sus caras libres correspondientes, lo que genera una disminución de la productividad de nuestra pila como por ejemplo fragmentos grueso y además aumenta el riesgo de accidentes como el exceso de presión en el aire o también exceso de vibraciones. En general una mala secuencia de salida nos genera:

- Pobre fragmentación de roca.
- Incremento de bolones.
- Elevados niveles de vibración.
- Daño en paredes.
- Mayor potencial de proyección de rocas.
- Mayores costos de excavación y chancado.

la tronadura es un proceso de costos bastante bajos, pero demasiado influyentes en los costos de métodos posteriores como es el proceso de carguío, transporte, chancado y molienda, es por eso, por lo que lograr una buena tronadura es primordial en cuanto a ahorrar en los procesos, sino que también reducirá los costos globales de extracción.

Ya que al momento de utilizar un detonador electrónico podemos optimizar el parámetro de voladura específicos para un sector como lo es la Perforación y Carga de voladura, además podemos agregar la existencia de una exactitud del retardo para hacer posible la eliminación de detonaciones no simultaneas o detonación fuera de secuencia.

Y para reafirmar nuestra postura de acuerdo con la implementación del detonador electrónico, entregaremos una tabla con las ventajas y desventajas de diferentes métodos de iniciación

Tabla 3-2: Ventajas y Desventajas de diferentes Detonadores

	Ventajas	Desventajas
Sistema de iniciación a fuego	Bajo costo, simple y fácil de usar	No permite la iniciación de multiples detonadores, Se inicia desde la zona de la tronadura, Mayor riesgo de detonacion prematura
Sistema de iniciación eléctrico	Permite la iniciacion de multiples detonadores, Testeable, comparado con el detonador a mecha posee pasta de retardo que me permite generar una secuencia de iniciacion	Alto riesgo de detonacion prematura, Mucho protocolo de seguridad antes de iniciar la tronadura
Sistema de iniciación no eléctrico tradicional	Elimina riesgos de iniciacion prematura, permite diseñar una secuencia de iniciacion, Sin limite en numero de barrenos a detonar. Bajo costo	Genera mucho ruido, no se puede comprobar y presenta una gran dispersion en sus tiempos de retardo
Sistema de iniciación no eléctrico silencioso	No genera ruido (Reemplaza cordón por tubos de choque), Elimina riesgos de iniciación prematuras, fácil de utilizar y amarrar, Sin limite de barrenos, Mayor facilidad en diseño de secuencia. Bajo costo	No se puede comprobar, gran dispersión en sus tiempos de retardos
Sistema de iniciación electrónico	Baja o casi nula dispersión en sus tiempos de retardos, testeable, flexibilidad en sus tiempos de retardo, mayor seguridad (se inicia solo por aparatos específicos), mejora los tiempos de planificación y amarre, permite la iniciación de hasta 2400 detonadores, tiene posibilidad de iniciación remota o inalámbrica	Alto costo, y debilidad en sus cables de conexión

Fuente: Inacap, Material de apoyo, página 104

CONCLUSIÓN

En síntesis, de acuerdo con el proceso de extracción de rocas en la minería regular, se vuelve primordial una optimización del proceso; en tiempo, procedimiento y seguridad. Donde la implementación de tronaduras electrónicas ofrece un sinfín de beneficios enfocados a la optimización de la extracción del mineral, en la composición del explosivo, funcionalidad, monitoreo y principalmente mayor seguridad en la manipulación y lo que esto conlleva.

Dadas las características geotécnicas de las rocas y su amplia gama de composición, es que el detonador electrónico logra ser mas eficiente y efectivo a la hora de efectuar la tronadura, disminuyendo riesgos asociados a “tiros quedados” y a una baja productividad.

Finalmente, el detonador electrónico marca un antes y un después en la minería y en cómo esta se llevaba a cabo. Presenta una baja o casi nula dispersión en sus tiempos de retardo, es testeable, ofrece mayor seguridad ya sea en recursos humanos como mineros, mejora los tiempos de planificación y amarre, permite una iniciación de hasta 2.400 detonadores, y cuenta con la opción de una iniciación remota o inalámbrica.

Se logró establecer un procedimiento para tronaduras, además se reconoció dos tipos de detonadores electrónicos, conociendo su funcionamiento y sus características básicas y para finalizar de estudio un experimento en donde se puso a prueba un detonador electrónico y uno tradicional, para dejar en claro la dispersión y la variación que tiene un detonador del otro y así validar nuestra propuesta del uso de detonador electrónico.

RECOMENDACIÓN

1. Se recomienda el uso de detonadores electrónicos por la seguridad que brinda a los trabajadores y equipos de la faena en donde se requieran utilizar.
2. Tienen una alta eficiencia de productividad.
3. Tienen una nula dispersión en los tiempos de retardos, quiere decir que detona todo de una sola vez.
4. Se elimina todo riesgo de detonaciones prematuras las cuales podrían provocar la muerte.

BIBLIOGRAFÍA

1) Bravo I. (2018) *Estudio de Vibraciones Inducidas por Tronadura en Minería Spence.* Memoria para optar al título de Ingeniería Civil de Minas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168704/Estudio-de-vibraciones-inducidas-por-tronadura-en-Minera-Spence.pdf?sequence=1

2) SERNAGIOMIN (2014). *Perforación y Tronadura.* Guía de Exploración para la Pequeña Minería. Recuperado de: https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf

3) *Detonadores Electrónicos.* Recuperado de: http://explosivos.wikidot.com/detonadores-electronicos

4) INACAP (2016). Extracción Mina I: Apuntes Explosivos. Área Minería y Metalurgia. Recuperado de: http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Mineria-y-Geomatica/AAI_OPEX01_Material_Extraccion_Mina_I_Explosivos.pdf

5) Moreno P. (2018) *Tronadura Subterránea.* Recuperado de: https://fdocuments.ec/document/diseno-mineria-subterranea.html

6) SERNAGIOMIN (2013*). Guía Nª4 de Operación para la pequeña Minería*. Perforación y Tronaduras. Recuperado de: http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/G4PerforacionTronaduras.pdf

7) ENAEX (2021). *Sistemas de Iniciación. Detonadores Electrónicos*. Recuperado de: https://www.enaex.com/co/es/daveytronic-op-opw-evolucion/