

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Trabajo de Investigación

**El diseño de malla de perforación y su influencia en la
calidad de fragmentación de roca en la Compañía
Minera Alpayana S. A. Lima 2020**

Willy Néstor Inga Villazana

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Dr. Eusebio Zenón Castro León

AGRADECIMIENTOS

Al Señor Dios Todopoderoso, por permitirme darme salud y fuerzas en todo este proceso.

A la Universidad Continental, por brindarme las facilidades de cobijarme en sus aulas y auditorios para un continuo aprendizaje.

Al Dr. Eusebio Zenón Castro León, por su constante asesoramiento y por ser un soporte metodológico en el presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mi familia, por ser pilar fundamental en estos cinco años de estudio, además de todo el apoyo moral que me brindó en toda mi etapa de superación personal y profesional. De la misma manera a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, por sus enseñanzas y poder compartir sus experiencias profesionales, que me serán útiles en un futuro.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	12
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Formulación del problema	12
1.2.1. Problema general	12
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos de la investigación	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Justificación e importancia	13
1.4.1. Justificación social	14
1.4.2. Justificación económica	14
1.5. Hipótesis de la investigación	14
1.5.1. Hipótesis general	14
1.5.2. Hipótesis específicas	14
1.6. Identificación de variables	14
1.6.1. Variable independiente	14
1.6.2. Variable dependiente	14
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes de la investigación.	16
2.2. Bases teóricas	20

2.2.1.	Generalidades de la empresa	20
2.2.2.	Historia	21
2.2.3.	Geología	22
2.2.4.	Clasificación geomecánica del macizo rocoso	22
2.2.5.	Generalidades de perforación	23
2.2.6.	Mecanismo de fragmentación de roca	25
2.3.	Definición de términos básicos	26
CAPÍTULO III		28
METODOLOGÍA		28
3.1.	Método de la investigación	28
3.2.	Tipo de investigación	28
3.3.	Nivel de investigación	28
3.4.	Diseño de la investigación	28
3.5.	Población y muestra	29
3.5.1.	Población	29
3.5.2.	Muestra	29
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.6.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	29
3.6.2.	Instrumentos utilizados en la recolección de datos	29
CAPÍTULO IV		30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		30
4.1	Evaluación geomecánica	30
4.2	Cálculo para el número de taladros	31
4.3	Selección del explosivo Semexsa 65	33
4.4	Distribución de taladros y explosivos	34
4.5	Resultados	35
CONCLUSIONES		37
RECOMENDACIONES		38
ANEXOS		41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	15
Tabla 2. Resistencia a la compresión de la roca	23
Tabla 3. Clasificación RMR de Bieniawski	23
Tabla 4. Datos técnicos para el cálculo de taladros.....	31
Tabla 5. Coeficiente de roca y distancia entre taladros.....	32
Tabla 6. Diámetros del cartucho Semexsa 65	33
Tabla 7. Distribución de los taladros cargados y de alivio	34
Tabla 8. Resultados de la voladura	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina Alpayana.....	21
Figura 2. Diseño de malla de perforación.....	24
Figura 3. Diseño de malla de arranque.....	25
Figura 4. Proceso de detonación del explosivo.....	26
Figura 5. Cartilla de evaluación geomecánica.....	30
Figura 6. Ficha técnica del explosivo SEMEXSA – 65.....	33

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realiza la aplicación de la influencia del diseño de malla de perforación en la calidad de fragmentación de rocas en la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020. A través de la clasificación geomecánica del macizo rocoso, cálculos y modelos matemáticos para un óptimo diseño de malla de perforación, se efectuaron estudios empíricos previos para la preparación de tajos en el desarrollo de la mina. Para conseguir un avance lineal acorde con lo estimado en gabinete, por cada disparo en cada guardia es menester realizar controles en todo el proceso de perforación a fin de evitar una tronadura con bolones y/o sobrerotura en los tajos. Dicho estudio para el diseño de malla de perforación contempla un análisis exhaustivo del paralelismo de perforación, cantidad de taladros de perforación, diseño óptimo de arranque y el avance por disparo en cada guardia de trabajo. Luego de analizar los resultados obtenidos, se demuestra que con un macizo rocoso de RMR de 60-70, a una RCU de 130 Mpa, los ensayos de laboratorio arrojan una roca de buena calidad, por lo que con un explosivo Semexsa 65 y un total de 47 taladros se puede obtener un avance lineal favorable de 3.1 metros con una adecuada granulometría de roca.

Palabras clave: avance lineal, malla de perforación, voladura.

ABSTRACT

In the present research work, the application of the influence of the drilling mesh design on the quality of rock fragmentation at Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020. Through the geomechanical classification of the rocky massif, calculations and mathematical models for an optimal drilling mesh design, previous empirical studies are carried out for an adequate preparation of pits in the development of the mine. To achieve an adequate advance for each shot in each guard it is necessary to carry out controls throughout the drilling process in order to avoid a blast with bolons and overbreak in the pits.

Said study for the design of the drilling mesh includes an exhaustive analysis of the drilling parallelism, number of drilling holes, optimal starting design and the advance per shot in each work shift.

After analyzing the results obtained in said study, they show that with a rock mass of RMR of 60-70, at an RCU of 130 Mpa, laboratory tests show a good quality rock, so with a Semexsa-65 explosive and a total of 47 holes can be obtained a favorable linear advance of 3.1 meters with an adequate rock granulometry.

Keywords: Linear feed, drilling mesh, blasting.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la aplicación del diseño de malla de perforación en la calidad de fragmentación de roca en la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020. Igualmente, la misma se desarrollará a través de la estimación geomecánica del macizo rocoso y del cálculo del modelo matemático con su respectiva malla de arranque y cantidad de taladros para el proceso de avance lineal de los tajos

La estructura de la investigación está compuesta por cuatro capítulos, conclusiones y recomendaciones.

El capítulo I contiene aspectos generales del planteamiento del estudio, planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos de la investigación; justificación e importancia, hipótesis e identificación de las variables que se desarrollaron en el transcurso de la investigación.

En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico, detallando los antecedentes de la investigación, bases teóricas y la definición de términos básicos.

En el capítulo III, se desarrolla la metodología de la investigación, detallando el tipo y nivel de investigación, diseño de la investigación, población y muestra, los instrumentos de recolección de datos y la técnica de tratamiento de datos.

En el capítulo IV, se desarrollan los resultados y discusión de resultados de la investigación; cálculo del número de taladros, selección del explosivo y distribución adecuada en la malla de perforación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

La Compañía Minera Alpayana S.A. desarrolla labores de exploración, preparación y explotación de manera convencional y mecanizada en sus operaciones; la zona mecanizada que actualmente tiene la mayor producción de minerales polimetálicos trabaja mediante el método de taladros largos.

De esta manera, se han vencido grandes desafíos y retos para una mejora continua. Mejorar el avance de los tajos y obtener una adecuada distribución de los taladros para lograr una correcta fragmentación de roca para el avance lineal en la etapa de perforación y voladura son una ardua tarea, especialmente en el área de perforación y voladura.

El reto de este gran desafío está ligado a maximizar tanto la producción como la productividad y, del mismo modo, a la minimización de accidentes de trabajo, para lo cual se orienta a tener una mejora continua en todo el proceso de minado.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la influencia de la aplicación del diseño de malla de perforación en la calidad de fragmentación de roca en la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de la distribución de taladros en la calidad de fragmentación de roca en la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020?
- ¿Cuál es la influencia del número de taladros de perforación en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la aplicación del diseño de malla de perforación en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la distribución de taladros en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.
- Determinar la influencia de la cantidad de taladros de perforación en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020

1.4. Justificación e importancia

El presente proyecto se justifica porque en la actualidad se tienen problemas con la calidad de fragmentación de roca en el área de perforación y voladura; es por ello que se decide realizar una investigación en el esquema de malla de perforación basado en la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Además, es preciso señalar que este trabajo busca la mejora en la fragmentación de la roca a partir del diseño del esquema de malla de perforación.

1.4.1. Justificación social

El presente trabajo de investigación no supone una justificación social, debido a que la aplicación se concentra únicamente en reducir costos económicos enfocados en la empresa y/o compañía.

1.4.2. Justificación económica

La aplicación del presente trabajo de investigación permitirá a la Compañía Minera Alpayana S.A. conseguir una excelente optimización económica basada en el diseño de malla de perforación para reducir los costos en el proceso de perforación y en el de voladura.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación del diseño de malla de perforación influye positivamente en la mejora de la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La distribución de taladros influye positivamente en la mejora de la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.
- La cantidad de taladros de perforación influye positivamente en la mejora de la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.

1.6. Identificación de variables

1.6.1. Variable independiente

- Aplicación del diseño de malla de perforación.

1.6.2. Variable dependiente

- Calidad de fragmentación de roca.

Operacionalización de variables

Tabla 1. *Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Subdimensión
VI: Aplicación del diseño de malla de perforación	El diseño de malla de perforación es un trazo o esquema de un conjunto de taladros que se perforan en una determinada sección o frente, los cuales tienen una distribución y simetría.	Esquema de distribución de taladros de perforación.	• Distribución de los taladros
			• Cantidad de taladros de perforación
VD: Calidad de fragmentación de roca	Es el resultado de la voladura que confiere una determinada reducción del tamaño de la roca o mineral para su posterior proceso de transporte hacia la planta.	Es la reducción del tamaño de la roca o mineral para poder ser transportado.	• Volumen de roca
			• Granulometría de la roca

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

- Chinchay (1), en su tesis titulada *Diseño de malla de perforación basado en los modelos geomecánicos para optimizar la voladura en minería subterránea - 2018*, se planteó como objetivo realizar un diseño de malla de perforación teniendo en cuenta los estudios geomecánicos para mejorar la voladura en interior mina; del mismo modo, la hipótesis general del estudio fue que el diseño de malla de perforación basado en los modelos geomecánicos influye de manera óptima en el análisis del resultado de la voladura. Finalmente, se concluyó que al realizar el diseño de malla de perforación tomando como referencia los modelos geomecánicos, podrá optimizarse eficientemente una buena voladura, la cual se traduciría en una fragmentación adecuada, buena estabilidad de las labores, buen avance del trabajo y una excelente proyección de roca para su posterior acarreo (1).

- Ortega, Jaramillo y Molina (2), en su artículo científico “Modificación de mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina ‘La Maruja’, Colombia”, se plantearon como objetivo general diseñar una tabla geomecánica relacionada con el GSI, para tomar una decisión sobre el diseño de malla de perforación aplicable para el tipo de roca donde se esté trabajando. Concluyeron que “se pueden utilizar las mallas de perforación con espaciamientos máximos de 80x80cm”; asimismo, al analizar la tabla geomecánica donde las rocas presentan una dureza baja podría incrementarse el espaciamiento, ya que, al efectuar el monitoreo de

la calidad de fragmentación de roca, el tamaño es cinco veces menor que el estandarizado (2, p. 38).

- Zúñiga (2015), en su tesis titulada *Diseño de tronaduras y su impacto en el costo de mina la Compañía Minera Cerro Negro*, se planteó como objetivo implementar nuevas metodologías en las operaciones mineras donde se entreguen una adecuada fragmentación de roca, que cumpla con las características granulométricas requeridas del proceso. Luego de un constante ajuste a las mallas de perforación y tronadura en el periodo de tres meses, concluyó que las zonas donde se encontraron los mejores resultados en términos de granulometría son las que se hallan divididas por sector y litología (3).
- Valencia (4), en su tesis titulada *Diseño de voladura para la optimización de fragmentación en mineral y desmonte, mediante el control de vibraciones y velocidad de detonación en Mina San Rafael Minsur S.A.*, se planteó como objetivo realizar un diseño de la secuencia de voladura a partir de la clasificación geomecánica con base en el RMR, tipo de explosivo por utilizar, distribución correcta de la carga explosiva y desacoplamiento de energía, para mejorar la eficiencia en la fragmentación de roca tanto en los tajos de avance como de desmonte en el método de taladros largos. La hipótesis general fue que al realizar el diseño de voladura, el control de vibraciones y velocidad de detonación influyen de manera positiva en la fragmentación de los frentes y sus respectivos tajos a través de taladros largos. Se concluyó que a partir de los análisis realizados con base en la fragmentación por medio de fotografías tanto del frente, lado izquierdo y combinado se pudo obtener un P80 menor a 6.73 pulgadas, una velocidad de detonación de 3640 m/s para del explosivo Examon P para un diámetro de 64 mm en el nivel 4390 (4, p. 149).
- Romani (5), en su tesis titulada *Diseño de malla de perforación y voladura para optimizar avance y sobre rotura Nv. 1225 - Mina Andaychagua -VCM S.A.A.*, se planteó como objetivo determinar la influencia del diseño de mallas de perforación y voladura en la optimización de los avances y

sobrerotura en el Nv. 1225 de la mencionada mina. Concluyó que se pudo tener un avance de 3.02 m en promedio por cada disparo; asimismo, se logró una distancia de 3.20 m de longitud perforada, que equivale a 95%. Al realizar una voladura controlada con el explosivo Famecorte E-20, la sobrerotura tuvo resultados positivos de 4.86%, lo cual se encuentra en un rango por debajo del 5% que plantea la compañía Volcan, que se tradujo así en un alcance de 97.2% (5, p. 71).

- Velasco (2020), en su tesis titulada *Optimización de los estándares de perforación y voladura en la ejecución de galerías y cruceros de UEA San Cristóbal de Minera Bateas SAC*, se planteó como objetivo analizar detalladamente el funcionamiento estratégico de la producción para lograr rendimientos de trabajo. Concluyó que al realizar la optimización de los estándares en perforación y voladura a través de la metodología de los siete pasos de la mejora continua en la Galería 315 E, se logró remontar el bajo rendimiento por metro lineal de avance en las galerías y cruceros, dando lugar a un 16%, es decir, se pudo tener un incremento de 1,30 m/disparo a 1,55 m/disparo. También al realizar un estándar en el proceso de perforación y voladura se pudo ahorrar 37,00 US\$/m, reduciendo el costo anterior, que era de 195,27 US\$/m (6, p. 136).
- Díaz, Guarín y Jiménez (2012), en su artículo científico titulado “Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada”, se plantearon como objetivo crear una interfaz en donde se pudiese ingresar parámetros como densidad del explosivo, diámetro, el ángulo de inclinación del barreno, el RCU de la roca y las dimensiones del tajo o banco. Concluyeron que el análisis y diseño del proceso de la operación de perforación y voladuras a través de la aplicación de la programación estructurada ayuda a tener una información más detallada, es decir, ordenada, organizada y específica en un menor tiempo posible, con la cual se hace posible tener un producto enriquecedor para el área de perforación y voladura en tajo abierto (7, p. 21).

- Cisternas (8), en su tesis titulada *Implementación de Lean al proceso de perforación & tronadura del Rajo Sur - División El Teniente-Codelco Chile*, se planteó como objetivo general fomentar el mejoramiento de la eficiencia a través de la excelencia operacional en el proceso de perforación y tronadura de mina Rajo Sur, para lo cual a nivel divisional se ha elegido la implementación del sistema de gestión Lean, con la finalidad de reducir los tiempos muertos que afectan a los rendimientos de la etapa de perforación, la duración de los aceros y, por ende, al costo de perforación. Al mismo tiempo, la tesis busca generar buenas prácticas para asegurar una excelente calidad de material tronado a fin de mejorar, optimizar y asegurar el buen rendimiento de los equipos de carguío y acarreo. Se concluyó que la implementación de la metodología de Excelencia Operacional dentro de la organización de la empresa, a través del equipo de perforación y tronadura, genera una buena cultura de prácticas hacia sus operadores basándose en los factores claves de éxito, erradicando las pérdidas operativas, los cuales permiten hacer una concientización en los trabajadores y entender la relevancia de la presente herramienta, en donde es de vital importancia reducir los costos operativos para maximizar las ganancias de todos los chilenos (8, p. 47).
- Mamani (9), en su tesis titulada *Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A Valeria - Anabi S.A.C.*, se planteó como objetivo general optimizar la fragmentación y diseñar la malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A Valeria - Anabi S.A.C. La investigación concluyó que, una vez analizados los resultados, se pudo demostrar una mejora en la calidad de fragmentación de roca a partir del diseño de malla por las alteraciones, con resultados favorables de fragmentación de 5.24 pulgadas como P80, respecto al 9.2 pulgadas que anteriormente se obtenía (9, p. 66).

- Maturana (10), en su tesis titulada *Análisis y control de perforación y tronadura en Sub Level Open Stopping en cuerpos de alta ley, Codelco Chile División Andina*, se planteó como objetivo realizar un análisis y control de la perforación y tronadura de producción ejecutada en la explotación mediante método Sublevel Open Stopping de los Cuerpos de Alta Ley, para fomentar una mejora en los diseños y los resultados posteriores al proceso de tronadura, de tal forma que este proceso sirva para la explotación de cuerpos futuros. La investigación concluyó que se logró analizar los parámetros críticos de la perforación y tronadura para poder generar nuevos diseños, de tal manera se decide incrementar en un 15% el número de taladros en la zona LBH, dando lugar a un aumento del 20% del factor de carga para así poder tener una adecuada fragmentación con un P80 de 0.52 metros aproximadamente, con lo cual se estaría en un 10% por debajo del límite estimado (10, p. 122).
- Huacho (11), en su tesis titulada *Diseño de mallas de perforación y voladura para mejorar avances en Nv. 12 —Veta Oroya— Compañía Minera Casapalca S.A.*, se planteó como objetivo determinar en qué medida influye el diseño de las mallas de perforación y voladura para mejorar los avances en el Nv. 12 —Veta Oroya— Compañía Minera Casapalca S.A. La hipótesis propuesta fue que el diseño de las mallas de perforación y voladura ayudará consecuentemente en la mejora de tales avances. La investigación concluyó que al final de la voladura se obtuvieron resultados favorables debido a que el avance lineal en la galería 960W fue de 96.81% (2.13) y de 97.71%, que equivale a 2.15 metros en el cruce 896E; de esta manera, el avance se muestra ampliamente superior respecto al 88% de avance, el cual era de aproximadamente 1.94 metros (11, p. 94).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generalidades de la empresa

La Compañía Minera Alpayana actualmente se encuentra ubicada en la sierra de Lima, exactamente en la provincia de Huarochirí. Se encuentra a una altura de 4200 metros sobre el nivel del mar; además,

colinda con los distritos de Pomacocha, San Mateo, Chicla, 3 de enero y San Antonio.

Bajo las coordenadas UTM (WGS 84) se tiene una ubicación al norte de 8 709 066, al este de 362 020 y a una cota de 4200 m.s.n.m. Siguiendo la Carretera Central, al llegar al km 115, se encuentra la empresa minera Los Quenuales S.A.; a partir de dicho punto existe una vía afirmada de 8 km que llega a las instalaciones de la Compañía Minera Alpayana. Todo este periplo desde la ciudad de Lima tiene una duración de tres horas.



Figura 1. Ubicación de la mina Alpayana. Tomada de Huacho, 2018, p. 39 (11).

2.2.2. Historia

- Alpayana, antes Compañía Minera Casapalca, es una empresa perteneciente a la sierra central del país que produce en la actualidad metales como el zinc, cobre, plomo y plata (11).
- Como parte del legado y tradición es considerada una de las primeras minas del Perú, pues fue constituida en el año 1889 por la empresa Backus & Johnston. Años más tarde, en 1919, la estadounidense Cerro de Pasco Corporation adquirió todas sus acciones y, posteriormente, con el transcurso de los años, pasó a manos de Centromín Perú debido a la nacionalización de empresas.

- Compañía Minera Casapalca S.A. tomó las riendas en 1986, para posteriormente, en 1997, adquirir y lograr las concesiones de Centromín Perú, llegándose así a enrumbarse como una empresa minera sostenida y responsable. Finalmente, luego de más de 30 años, en el 2019, Compañía Minera Casapalca se cambia de nombre por el del actual Alpayana.

2.2.3. Geología

- **Geología regional**

La zona de estudio presenta afloraciones que representan rocas volcánicas y sedimentarias, pertenecientes a los periodos del Cretáceo hasta el Cuaternario. Adicional a ello, se tiene un pliegue andino NNW, el cual está conformado por el sinclinal Casapalca.

Dentro de la zona se encuentra un sistema de falla denominado Rosaura, el cual tuvo pequeñas reactivaciones después de la mineralización, dando lugar así a zonas de brecha calcárea y volcánica.

- **Geología económica**

El yacimiento de la mina Alpayana es considerado polimetálico, debido a que sus yacimientos se encuentran emplazados en vetas y cuerpos, llegando a conformar menas de galena, esfalerita, tetraedrita y calcopirita; asimismo, como ganga se presenta el cuarzo, pirita y carbonatos (11).

- **Mineralización**

La mineralización de Alpayana está dada por medio de relleno de fracturas, dando lugar así a minerales como galena, esfalerita y calcopirita; del mismo modo se presenta la ganga como cuarzo, yeso, calcita y sericita.

2.2.4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Los macizos rocosos pueden clasificarse de acuerdo con sus propiedades físicas y mecánicas, por lo que en la actualidad los sistemas más conocidos son el Sistema RMR, el Q de Barton y el GSI (índice de esfuerzo geológico), los cuales —sobre la base de la estructura, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción

y sus discontinuidades— pueden estimar valores aproximados de la roca (1).

Tabla 2. Resistencia a la compresión de la roca

Clasificación	Resistencia a la compresión (Mpa)
Muy dura	200
Dura	120 - 200
Medio dura	60 - 120
Medio blanda	30 - 60
Blanda	10 - 30
Muy blanda	10

- **Clasificación RMR de Bieniawski**

La clasificación RMR fue un estudio realizado en muchos túneles del mundo y fue propuesta por el Dr. Bieniawski en 1973. Esta clasificación ha sido mejorada con el tiempo y se ha aumentado cada vez más criterios de evaluación para la correcta evaluación de la estructura del macizo rocoso.

Tabla 3. Clasificación RMR de Bieniawski

RMR	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	0 - 20
Descripción	I - Muy buena	II - Buena	III - Regular	IV - Mala	V - Muy mala

Nota. Tomada de Ramírez y Alejano, 2004, p. 164 (12).

2.2.5. Generalidades de perforación

- **Perforación**

La perforación en minas subterráneas es considerada la primera operación del ciclo de minado. El propósito de la perforación es realizar unos huecos o taladros en el frente para posteriormente poder ser cargado con explosivos y poder ser confinado; de esta manera, se aprovechan las fuerzas expansivas (9).

- **Diseño de malla de perforación**

Dentro de la mina subterránea, la perforación dentro del proceso de operaciones es completamente distinta al de la minería superficial debido a que en minería subterránea solo presenta una cara libre, por lo que es necesario hacer taladros de alivio para crear la cara libre de los diseños de malla de perforación.

Existen muchos métodos con sus respectivos modelos matemáticos para poder realizar un diseño de malla de perforación; estos modelos han sido realizados de manera empírica a través de prueba y error en muchos lugares del mundo, por lo que se debe realizar las correcciones debidas al momento de aplicarlo (1).

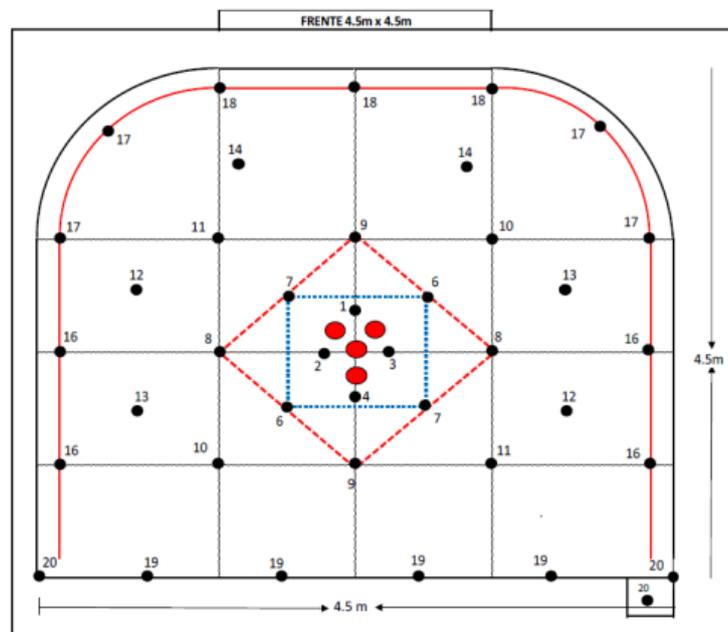


Figura 2. Diseño de malla de perforación. Tomada de Castillo, 2018, p. 11 (13).

- **Diseño de arranque**

El diseño de arranque contemplado para una voladura en minería subterránea recomendada es el de corte cilíndrico; esto debido a que al contar con taladros de alivio de mayor diámetro y taladros cargados de menor diámetro ayudarán a la creación del agujero cilíndrico para mejorar el resultado de la voladura (1).

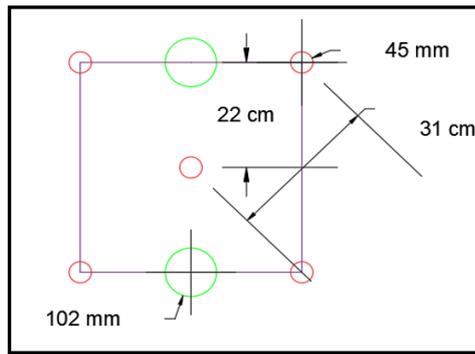


Figura 3. Diseño de malla de arranque.

- **Parámetros por controlar en el diseño de malla de perforación**

VARIABLES NO CONTROLABLES: Parámetros del macizo rocoso.

VARIABLES CONTROLABLES: Parámetros de perforación, explosivo, carguío, tiempos de secuencia y diseño geométrico del yacimiento (1).

2.2.6. Mecanismo de fragmentación de roca

- **Explosivo**

Durante el proceso del rompimiento y posterior desplazamiento del material, tanto en el momento y después de la detonación de la columna explosivas, existen tres fases:

Detonación: Es considerada una de las primeras fases de la fragmentación, donde los componentes del explosivo se convierten en gases sometidos a altas temperaturas y presiones (9).

Propagación de las ondas de choque y/o esfuerzo: Posterior a la detonación se desarrolla la propagación de ondas de choque alrededor de todo el macizo rocoso (6).

Expansión del gas a presión: Se da cuando la gran parte de todo el material fragmentado ha sido terminada a través de las ondas de tracción y compresión, o así como la mezcla de ambos (6).

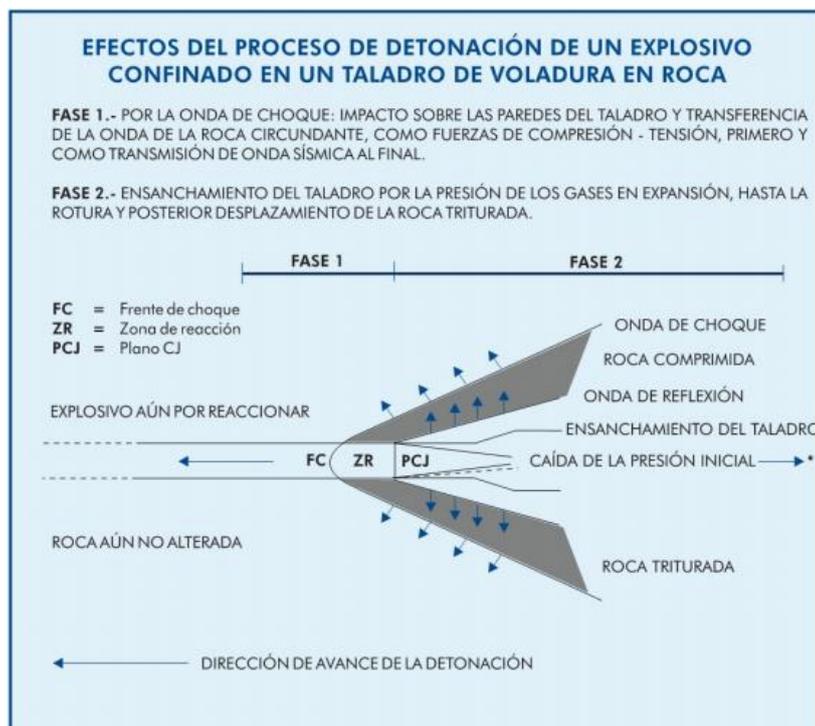


Figura 4. Proceso de detonación del explosivo. Tomada de EXSA, 2019a, p. 17 (14).

2.3. Definición de términos básicos

- **Burden (piedra):** Es la distancia perpendicular más corta entre el taladro hacia la cara libre, desde el instante en que se realiza el proceso de detonación de la columna explosiva del taladro. También se puede considerar como la distancia dispuesta entre las filas dentro de los taladros en la voladura (1).
- **Espaciamiento:** Es la distancia entre los taladros cargados y están dispuestos en forma perpendicular hacia el burden; esta distancia puede variar según las condiciones del macizo rocoso (6).
- **Frente:** Es el lugar del área de trabajo donde el personal calificado y el equipo de perforación proceden a realizar los trabajos de avances respectivos de una galería o crucero, a partir de la perforación y voladura (5).
- **Geomecánica:** Es la disciplina que se enfoca en el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas. Estos estudios se realizan

en función de los trabajos de campo como los mapeos geomecánicos y en los ensayos de los laboratorios (1).

- **Malla de perforación:** Es un esquema de colocación geométrica de los taladros, para ser perforados en una voladura, donde se distribuyen básicamente en relación con el burden, espaciamiento y su dirección con la profundidad de taladro (1).
- **Perforación:** La perforación es unas operaciones unitarias que se realizan dentro de la actividad minera; por lo que tiene la finalidad de abrir huecos conocidos como taladros dentro de un esquema geométrico en el frente de ataque de los tajos para su posterior arranque, lo cual permitirá colocar los explosivos y sus accesorios de iniciación (11).
- **Voladura:** Es la acción de fragmentar la roca, hormigón, algún elemento metálico u otros materiales sólidos a partir del uso de explosivos confinados en los taladros (11).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de la investigación

El método con el que se desarrolla la actual investigación es el método científico, que considera y pone en práctica un orden sistemático y ordenado.

3.2. Tipo de investigación

El tipo y/o clase de investigación realizado en el presente estudio es el aplicado.

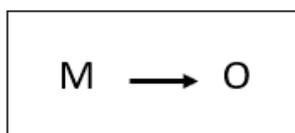
3.3. Nivel de investigación

El nivel investigación utilizado en la presente tesis es el descriptivo-explicativo.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación por desarrollarse es descriptivo simple, el cual logrará determinar el grado que influye la variable independiente en la variable dependiente.

En el presente estudio, se considera diseñar una adecuada malla de perforación y voladura con la finalidad de mejorar la calidad de fragmentación de roca para así contribuir a un buen avance lineal y de producción de mineral.



Donde:

M : Muestra u objeto en que se realizará el estudio

O : Observación de la muestra

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Se consideran todas aquellas labores de avance de la Compañía Minera Alpayana S.A.

3.5.2. Muestra

La muestra será la veta del nivel 21 perteneciente a la labor mecanizada de la Compañía Minera Alpayana S.A.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- Observación en campo
- Revisión bibliográfica
- Recopilación de datos de campo

3.6.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989)
- Software AutoCAD 3D para el diseño de mallas de perforación
- Software Excel para los cálculos
- Cálculo matemático para el diseño de malla de perforación
- Análisis de imágenes de la fragmentación de rocas
- Otros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Evaluación geomecánica

Para realizar el diseño de malla de perforación en el frente de avance, se desarrolló la evaluación geomecánica del macizo rocoso *in situ*. Si bien es cierto el RMR ha sido diseñado para realizar el sostenimiento dentro de túneles y minas subterráneas, también se toman referencias del RMR para hacer una aproximación de la RCU del macizo y poder acercarnos a la resistencia a la tracción, que es ideal al momento de romper las rocas dentro de las mallas de perforación y voladura de la mina.

DCR Ingenieros S.R.Ltda.		CIA. MINERA CASAPALCA S.A.		PROYECTO: Evaluación Geomecánica del Minado		POR: R2S / SRM	
Geomecánica en Minería y Obras Civiles				UBICACION: Nivel T2		FECHA: NOV 2017	
Nº ESTACION: E1-01		ORIENTACION DE LA CARA: N55°E		DESCR: 0		HOJA: 1 de 5	
TIPO DE ROCA				VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)			
AREN				R. COMPRESION UNIAIXIAL (MPa)			
FREQÜENCIA FRACTURA				RQD %			
A				ESPACIAMIENTO (mm)			
B				CONDICION DE RUGOSIDAD			
%				JUNTAS			
Nº Fract / m				ALTERACION			
TIPO				AGUA SUBTERRANEA			
RUMBO				CLASE DE MACIZO ROCOSO			
BUZAMIENTO				RMR			
ESPACIAMIENTO				DESCRIPCION			
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							
ESPACIAMIENTO							
TIPO							
RUMBO							
BUZAMIENTO							

4.2 Cálculo para el número de taladros

Para el cálculo de la cantidad de taladros se realizó una recolección de datos obtenidos por la empresa y datos técnicos sobre informes técnicos y fichas geomecánicas, las cuales muestran información importante para conseguir resultados cercanos a la realidad de la mina.

Tabla 4. Datos técnicos para el cálculo de taladros

Datos técnicos		
Dimensiones	Base	4 m
	Altura	4 m
Densidad de la roca		2.6 Ton /m ³
Barreno		12 pies
Brocas		45 mm
RMR		65
Rimadora para taladro de alivio		102 mm

1) AREA

$$A = (2/3 * B * H) + [H / (18 * B) * (H^2 / 3 + 4B^2)]$$

$$A = 14.52 \text{ m}^2$$

2) PERÍMETRO

$$P = A^{(1/2)} * 4$$

$$P = 15.24 \text{ m}$$

3) NÚMERO DE TALADROS

$$N^{\circ} T = (P / dt) + (C * S)$$

$$N^{\circ} T = (P / 0.60) + (1.5 * 14.52)$$

$$N^{\circ} T = 47.18 \text{ taladros}$$

$$N^{\circ} T = 47 \text{ taladros}$$

4) NÚMERO DE TALADROS DE ALIVIO

$$L = 0.15 + (34.1 * \text{diametro}) - (39.4 * \text{diametro}^2)$$

$$L = 0.15 + (34.1 * 0.102) - (39.4 * 0.102^2)$$

$$L = 3.22 \text{ m}$$

Tabla 5. Coeficiente de roca y distancia entre taladros

Dureza roca	Coeficiente de roca "C" (m)	Distancia entre taladros (m)
Tenaz	2.00	0.50 - 0.55
Intermedia	1.50	0.60 - 0.65
Friable	1.00	0.70 - 0.75

5) DIAMETRO EQUIVALENTE

$$Dh = dh * N^{(1/2)}$$

$$Dh = 102 * 3^{(1/2)}$$

$$Dh = 176.67$$

$$Dh = 177 \text{ mm}$$

6) BURDEN

$$B = K * \text{diam. Tal. Alivio}$$

$$B = 1.5 * 177$$

$$B = 265 \text{ mm}$$

$$B = 27 \text{ cm}$$

7) ESPACIAMIENTO

$$E = B * 2^{(1/2)}$$

$$E = 37.5 \text{ cm}$$

8) FACTOR DE CARGA

TIPO	F.C
Muy difícil	1.5
Difícil	1.3
Facil	1.1
Muy Facil	1

9) LONG. TEÓRICA DE AVANCE

$$\text{Barreno de 12 pies} * (0.3048) = 3.65 \text{ m}$$

$$11.5 \text{ pies} * (0.3048) = 3.5 \text{ m} = Lta$$

10) VOLUMEN TEÓRICO ROTO

$$Vtr = S * Lta$$

$$Vtr = 14.52 * 3.5$$

$$Vtr = 50.82 \text{ m}^3$$

11) TONELAJE TEÓRICO ROTO

$$Ttr = Vtr * \text{densidad roca}$$

$$Ttr = 50.82 * 2.6$$

$$Ttr = 132.13 \text{ Tn}$$

12) EXPLOSIVO TOTAL TEÓRICO

$$Ett = FC * Vtr$$

$$Ett = 1.3 * 50.82$$

$$Ett = 66.07 \text{ kg}$$

13) CARGA EXPLOSIVA TEÓRICO POR TALADRO

$$Cet = Ett / N^{\circ} \text{ Taladros}$$

$$Cet = 66.07 / 44$$

$$Cet = 1.50 \text{ kg}$$

4.3 Selección del explosivo Semexsa 65

Características técnicas

Especificaciones técnicas	Unidades	Semexsa 45	Semexsa 65	Semexsa 80
Densidad	g/cm ³	1.08 ± 3%	1.12 ± 3%	1.18 ± 3%
Velocidad de detonación*	m/s	3,800 ± 200	4,200 ± 200	4,500 ± 200
Presión de detonación**	kbar	87	94	125
Energía**	KJ/kg	3,338	3,433	3,747
RWS**	%	89	92	99
RBS**	%	120	127	147
Volumen de gases	l/kg	1,016	1,015	989
Resistencia al agua	Horas	Buena	Muy buena	Excelente
Categoría de humos	Categoría	1 era.	1 era.	1 era.

* Sin confinar en tubo de hojalata de 30 mm de diámetro.

** Calculadas con programa de simulación TERMODET a condiciones ideales de 1 atm

Presentación y embalaje

Masa explosiva encartuchada en papel kraft, los cartuchos son dispuestos en bolsas plásticas y embaladas en cajas de cartón corrugado.

Peso Neto	25 kg	Producto	Pulg.	UN/Caja	Masa g/UN
Peso Bruto	26.3 kg	SEMEXSA 45	1 1/8	12	205
Dimensiones de caja	Ext. 35 x 45 x 28 cm	SEMEXSA 65	1 1/2	12	368
Material	Caja de cartón corrugado	SEMEXSA 65	7/8	7	308
		SEMEXSA 80	1 1/8	8	164

Para otros formatos de presentación preguntar a un especialista EXSA.

En las cantidades mencionadas podrá haber variaciones en el número y peso de los cartuchos para mantener el estándar de 25 kg/caja.

Figura 5. Ficha técnica del explosivo Semexsa 65. Tomada de EXSA, 2019b, p. 13 (15).

Debido al diámetro de los barrenos o taladros, es de vital importancia elegir el diámetro adecuado del taladro adicionándole una medida, para que así los cartuchos no tengan complicaciones en ingresar a los agujeros perforados.

Tabla 6. Diámetros del cartucho Semexsa 65

	Diámetro	Largo	UN/Caja	Masa g/UN	Masa kg/UN
Semexsa E65	1 1/2"	8	96	260	0.26
Semexsa E-66	1 1/8"	8	172	145	145

Nota. Tomada de EXSA, 2019b, p. 13 (15).

4.4 Distribución de taladros y explosivos

Tabla 7. Distribución de los taladros cargados y de alivio

Taladro	N.º taladro	Carga	Carga mejorada por taladro (kg)	N.º cartuchos por taladro (calculado)	N.º cartuchos por taladro (mejorado)	N.º cartuchos totales	Total de carga (kg)
Arranque	3	Vacío	Alivio				
	4	1.50 * 1.50	2.25	8.66	9	35	9.01
Ayuda 1	4	1.50 * 1.30	1.95	7.51	8	30	7.81
Ayuda 2 y 3	15	1.50 * 1.00	1.50	5.78	6	87	22.52
Cuadradores	6	1.50 * 0.90	1.35	5.20	5	31	8.11
Alzas	8	1.50 * 0.90	1.35	5.20	5	42	10.81
Arrastre	7	1.50 * 1.50	2.25	8.66	9	61	15.77
N.º taladros	47					285	74.02

• Después de la voladura

14) VOLUMEN REAL REMOVIDO

$$Vr = S * Lr \quad \text{Longitud} = 3.1$$

$$Vr = 14.52 * 3.1$$

$$Vr = 45 \text{ m}^3$$

15) TONELAJE REAL REMOVIDO

$$Trr = Vr * \text{densidad roca}$$

$$Trr = 45 * 2.6$$

$$Trr = 117.02 \text{ Tn}$$

16) FACTOR DE POTENCIA

$$FP = \frac{\text{kg de explosivo total}}{Trr}$$

$$FP = \frac{74.02}{117.02}$$

$$FP = 0.63 \text{ kg/Tn}$$

17) FACTOR DE CARGA

$$FC = \frac{\text{kg explosivo total}}{Lr}$$

$$FC = \frac{74.02}{3.1}$$

$$FC = 23.88 \text{ kg/m}$$

17) EFICIENCIA DE PERFORACIÓN

$$EP (\%) = \frac{\text{Long. Promedio taladro}}{\text{Long. Teórico taladro}} \times 100$$

$$EP (\%) = \frac{3.35}{3.50} \times 100$$

$$EP (\%) = 95.71 \%$$

18) EFICIENCIA DE VOLADURA

$$EP (\%) = \frac{\text{Avance real}}{\text{Long. Prom. perforación}} \times 100$$

$$EP (\%) = \frac{3.10}{3.35} \times 100$$

$$EP (\%) = 92.54 \%$$

4.5 Resultados

Tabla 8. Resultados de la voladura

Datos técnicos			Resultados			UND.
RMR	65	RCU	130 Mpa	Longitud avance	3.1	m
Densidad de roca	2.6	Tn/m ³		Longitud promedio perforación	3.35	m
Sección (B x H)	4.0	x	4.0	Volumen roto	45	m ³
N.º taladros cargados	44	Taladros		Tonelaje roto	117.02	Tn
N.º taladros de alivio	3	Taladros		Factor de carga	23.88	kg/m
Diámetro de producción	45	Alivio	102 mm	Factor de potencia	0.63	kg/Tn
Longitud de perforación	3.35	m		Eficiencia de perforación	95.71	%
Barreno	12	Pies		Eficiencia de voladura	92.54	%

Para poder realizar un adecuado diseño de mallas de perforación y voladura, se debe tomar en cuenta la geomecánica del macizo rocoso de la galería, por lo que para el presente plan de tesis, sobre la base de los estudios de laboratorio, se consiguió RMR de 60-70, con una RCU de 130 Mpa, con lo que es una roca de calidad buena (7).

Luego, se analiza técnicamente y de acuerdo con las características del macizo rocoso como la presencia de agua, diámetro de taladro, fracturas, RMR, se elige el uso de los explosivos encartuchados Semexsa 65 para un total de 47 taladros.

Ortega et al. consideran que para poder tener una buena granulometría se debe también considerar el tipo de explosivo, el diámetro de taladro, burden, espaciamiento. Con base en un buen estudio técnico y cálculo matemático de Roger Holmberg se tienen resultados positivos en cuanto a la eficiencia de la perforación y voladura, lográndose obtener así eficiencias de 95.71 % y 92.54 %, respectivamente (2).

Respecto al factor de carga, que es el consumo de explosivo por metro lineal de avance, se obtuvo un promedio de 23.88 kg/metro lineal de avance, el cual se

encuentra dentro de los parámetros de cantidad de explosivo que consigna Romani, con 31.3 kg/m si se considera la sección de 4.5 x 4.5 m (5).

De acuerdo con el cálculo matemático, también se puede llegar a obtener resultados favorables en cuanto al avance lineal promedio, dando lugar así a un avance de 3.1 m por disparo. Esto es posible gracias a una buena capacitación de los perforistas y realizando un adecuado control de la desviación y medición constante de los taladros; estos datos pueden corroborarse en los avances de 3.02 m de minas como Andaychagua (4).

Para asegurar las mejores prácticas de calidad del material tronado y, por consiguiente, una excelente fragmentación, se debe conseguir un adecuado *factor de potencia*, lo cual se logra con la presente malla de perforación de 0.63 kg/Tn, que se encuentra dentro de los estándares (8).

CONCLUSIONES

- La aplicación del diseño de malla de perforación, gracias a los parámetros geomecánicos y la elección adecuada del explosivo de acuerdo con las características técnicas de la galería, permitió conseguir un avance lineal de 3.1 metros, por lo cual se encuentra dentro de los estándares planificados.
- La distribución adecuada de los taladros dentro de la malla de perforación a partir de la malla de arranque, las ayudas 1, las ayudas 2 y 3, los cuadradores, las alzas y los arrastres contribuyen a que la eficiencia de la perforación sea del 95.71 % con una voladura de 92.54 %.
- La cantidad de taladros propicios para la galería de 4 x 4 metros, basada en el análisis técnico de la selección de explosivo, la geomecánica y el diámetro de taladro por perforar con una Jumbo, entre otros, hace necesario el uso de 47 taladros, con lo cual se obtendrá un factor de potencia de 0.63 kg/Tn.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar capacitaciones constantes a los operadores que intervienen dentro de la perforación, pues para mejorar la eficiencia tanto en la perforación como en la voladura es fundamental la pericia de los perforistas.
- Se debería actualizar y capacitar constantemente al personal acerca de las propiedades físicas de los explosivos, además de los accesorios de voladura y el rango de secuencia que se les dará, pues es un factor determinante para poder conseguir una adecuada fragmentación de roca.
- En muchas ocasiones, se recomienda aumentar costos para la adecuada selección del explosivo, pues esto podría repercutir de manera positiva en la fragmentación y, por consiguiente, reducir el uso de energía para la siguiente etapa de chancado y molienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHINCHAY, J. C. *Diseño de malla de perforación basado en los modelos geomecánicos para optimizar la voladura en minería subterránea - 2018* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huaraz (Perú): Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2018, 243 pp. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4073>
2. ORTEGA, C., JARAMILLO, A. y MOLINA, J. Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina "La Maruja", Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra* [en línea]. Julio, 2016, (40), 32-38 [fecha de consulta: 13 de julio de 2020]. ISSN 0120 - 3630. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rbct.n40.52199>
3. ZÚÑIGA, P. *Diseño de tronaduras y su impacto en el costo de mina de Compañía Minera Cerro Negro* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). Santiago: Universidad de Chile, 2015, 143 pp. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137507>
4. VALENCIA, J. *Diseño de voladura para la optimización de fragmentación de mineral y desmonte, mediante el control de vibraciones y velocidad de detonación en Mina San Rafael Minsur S.A.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019, 178 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10033>
5. ROMANI, R. *Diseño de mallas de perforación y voladura para optimizar avance y sobre rotura Nv. 1225 - Mina Andaychagua - VCM S.A.A.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018, 92 pp. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5133>
6. VELASCO, G. *Optimización de los estándares de perforación y voladura en la ejecución de galerías y cruceros de UEA San Cristóbal de Minera Bateas SAC* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2020, 155 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11187>
7. DÍAZ, J., GUARÍN, M. y JIMÉNEZ, J. Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra* [en línea]. Diciembre, 2012, (32), 15-32 [fecha de consulta: 4 de octubre de 2020]. ISSN:

012-3630. Disponible en:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/30381/39245>

8. CISTERNAS, V. *Implementación de Lean al proceso de perforación & tronadura del Rajo Sur - División El Teniente-Codelco Chile* [en línea]. Tesis (Magíster en Gestión y Dirección de Empresas). Santiago: Universidad de Chile, 2016, 57 pp. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142798>
9. MAMANI, P. *Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria - Anabi S.A.C.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno (Perú): Universidad Nacional del Altiplano, 2019, 90 pp. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11737>
10. MATURANA, L. *Análisis y control de perforación y tronadura en Sublevel Open Stopping en cuerpos de alta ley, Codelco Chile División Andina* [en línea]. Tesis (Ingeniero Civil en Minas). Santiago: Universidad de Santiago de Chile, 2016, 178 pp. Disponible en: <http://repositorio.usach.cl/R/F4K498LE2JLD9ARVEXKXXA729XV5FLEA8BVG3PGIHV6BMT4U47-01280>
11. HUACHO, M. *Diseño de mallas de perforación y voladura para mejorar avances en Nv. 12 —Veta Oroya— Compañía Minera Casapalca S.A.* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018, 103 pp. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5050>
12. RAMÍREZ, P. y ALEJANO, L. *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid: E.T.S.I. Minas (UPM), 2004, 300 pp. Disponible en: http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
13. CASTILLO, A. *Controles operacionales en minera Colquisiri para la prevención de accidentes de tránsito* [Diapositiva de PowerPoint]. Instituto de Seguridad Minera (ISEM). Disponible en: <https://www.isem.org.pe/portal/intranet/files/docs/evento/2018-08-23%20alberto%20castillo%20navarro.pdf>
14. EXSA. *Manual práctico de voladura*. [s.l.]: Autor, 2019a, 331 pp. Disponible en: https://www.academia.edu/23767654/MANUAL_PRACTICO_DE_VOLADURA_Edici3n_especial_La_L3nea_m3s_Completa_para_Voladura_Das_Komplette_Sprengstoffprogramm_The_Most_Complete_Blasting_Line
15. EXSA. *Portafolio de productos y servicios* [Brochure]. Lima, 2019b. Disponible en: https://issuu.com/exsasoluciones/docs/exsa_brochure_2019_miner_a_segura

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es la influencia de la aplicación del diseño de malla de perforación en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la influencia de la aplicación del diseño de malla de perforación en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>La aplicación del diseño de malla de perforación influye positivamente en la mejora de la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Aplicación del diseño de malla de perforación.</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>a) ¿Cuál es la influencia de la distribución de taladros en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020?</p> <p>b) ¿Cuál es la influencia de la cantidad de taladros de perforación en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>a) Determinar la influencia de la distribución de taladros en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.</p> <p>b) Determinar la influencia del número de taladros de perforación en la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>a) La distribución de taladros influye positivamente en la mejora de la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.</p> <p>b) El número de taladros de perforación influye positivamente en la mejora de la calidad de fragmentación de roca de la Compañía Minera Alpayana S.A. Lima 2020.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Calidad de fragmentación de roca.</p>

Anexo 2

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Subdimensión
VI: Aplicación del diseño de malla de perforación	El diseño de malla de perforación es un trazo o esquema de un conjunto de taladros que se perforan en una determinada sección o frente, los cuales tienen una distribución y simetría.	Esquema de distribución de taladros de perforación.	• Distribución de los taladros
			• Cantidad de taladros de perforación
VD: Calidad de fragmentación de roca	Es el resultado de la voladura que confiere una determinada reducción del tamaño de la roca o mineral para su posterior proceso de transporte hacia la planta.	Es la reducción del tamaño de la roca o mineral para poder ser transportado.	• Volumen de roca
			• Granulometría de la roca