



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“Estudio de Malla de Perforación y Voladura según las propiedades del macizo rocoso para optimizar la explotación en Unidades Mineras ”.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería de Minas**

**Autores:**

David Christopher Casanova Gamboa

**Asesor:**

Mg. Ing. César Pol Arévalo Aranda

Trujillo - Perú

2018

## **DEDICATORIA**

A Dios por mantenernos con vida hasta el día de hoy, por mostrarnos día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible. A nuestros padres y hermanos que con su amor, comprensión y apoyo incondicional siempre nos dan una palabra de aliento en los momentos difíciles y que son incentivos en nuestras vidas.

## AGRADECIMIENTO

A nuestra alma máter “Universidad Privada del Norte”, a los Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas quienes en nuestra etapa de formación nos brindaron su tiempo y sus conocimientos para forjarnos profesionalmente.

A nuestro asesor Ingeniero César Pol Arévalo Aranda por su asesoramiento, sugerencias y conocimientos que fueron fundamentales en la elaboración de este trabajo de investigación



## **Tabla de contenido**

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>28</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>30</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>31</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

*Tabla 1* Artículos seleccionados de la base de datos e-libro.....13

*Tabla 2* Artículos encontrados y seleccionados de la data de Pro Quest.....14

*Tabla 3* artículos seleccionados de la base de datos de Google Académico.....14

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Etapas para la selección de la muestra</i> .....	16
<i>Figura 2: Características de la muestra definitiva</i> .....	17
<i>Figura 3: Obtención de resultados de las bases de datos consultadas</i> .....	18
<i>Figura 4: Malla de perforación:</i> .....	23
<i>Figura 5: Variables controlables de las voladuras</i> .....	25
<i>Figura 6: Ciclo de minado</i> .....	25

## RESUMEN

El presente artículo describe los resultados de una revisión sistemática de la literatura que tuvo como tema el Estudio de malla de perforación y voladura según las propiedades del macizo rocoso para optimizar la explotación en unidades mineras, con el propósito de analizar los sistemas de penetración en la roca, las propiedades de la roca que afectan la perforación, factores que influyen en el rendimiento de la perforación, las propiedades del macizo rocoso asimismo el diseño de malla de perforación y voladura para obtener una buena fragmentación y de esta manera reducir costos.

La muestra estuvo compuesta por 45 publicaciones, producidas entre 1987 y 2018 utilizando la base datos de e-libro (12 publicaciones), Pro Quest (19 publicaciones) y Google Académico (14 publicaciones) utilizando indicadores como contenido de la publicación, año en que fueron publicados, idioma, índice de autores y ciudad donde fueron publicadas. A través de métodos de selección bibliográfica mediante un filtro y con el uso de una estrategia de búsqueda definida las publicaciones seleccionadas a emplearse fueron 16. Los resultados obtenidos muestran información específica sobre el diseño de mallas de perforación y voladura, nos permite entender que la mayor parte de los costos radica en las operaciones unitarias de perforación y voladura de rocas y que es necesario mejorar utilizando modernas técnicas de voladura de rocas.

**PALABRAS CLAVES:** Malla de perforación, voladura, macizo rocoso

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores claves en la minería actual es disponer de los diseños y explosivos adecuados para abrirse camino en los diferentes yacimientos. Por tal motivo el correcto diseño de malla de perforación es uno de los procesos de vital importancia para adecuarse a las características del macizo rocoso sea mineral o estéril que se va a volar.

(Ojeda, 2007), sustentó que el diseño de malla de perforación es el esquema que indica la distribución de los taladros con detalle de distancias, carga de explosivo y secuencia de encendido a aplicarse.

En la actualidad existen diferentes métodos y maquinarias empleadas en el arranque de las rocas, los métodos que se emplean en excavaciones subterráneas y a los que se aplican a cielo abierto, sus diferencias radican en el tamaño de la maquinaria utilizada y de las propiedades del macizo rocoso sujeto al arranque, puesto que el macizo se comportaría de diferente manera en la superficie que a una profundidad considerable dentro de la corteza terrestre (Gutierrez, 2013).

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes. Esta operación es necesaria para lograr el confinamiento del explosivo y aprovechar mejor las fuerzas expansivas (Martinez, 2012).



A pesar de la enorme variedad de sistemas posibles de penetración de la roca, en minería y obra pública la perforación se realiza actualmente, de una forma casi general utilizando la energía mecánica (Pernia, 1987)

La voladura es uno de los medios principales de extracción de minerales en las operaciones de minería a cielo abierto. El propósito de la operación de voladura es la fragmentación de la roca y para esto se requiere de una gran cantidad de explosivos. Los explosivos liberan una gran cantidad de energía durante la explosión, en donde, sólo el 20-30% es utilizado para la ruptura y el desplazamiento de las rocas, mientras que el resto de esta energía es desperdiciada en forma de efectos secundarios ambientales (Builes, 2012).

En la operación de voladura que está directamente relacionada a la perforación se presenta también una serie de deficiencias, empezándose por un consumo excesivo de explosivos y una mala administración de los mismos (Aquino, 2009)

La perforación y voladura es una técnica aplicable a la extracción de roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Así partiendo de esta definición, este método es aplicable a cualquier método de explotación, bien en minería, bien en obra civil, donde sea necesario un movimiento de tierras (Bernaola, 2013).

Sabiendo que aproximadamente el 85% de la energía generada por una voladura no se aprovecha en la fragmentación, se recalca la importancia de tener una configuración de malla de perforación para cada tipo de roca presente en una operación minera, que mejore granulometría y reduzca costos (Escobar, 2015).

En minería, la optimización se lleva a cabo mediante la evaluación y análisis de cada una de las operaciones unitarias necesarias para la extracción del recurso mineral de interés, una de estas, es la operación de perforación y voladura, la cual es uno de los métodos de arranque de material más utilizado, ya que permite obtener mayor cantidad de material arrancado en un tiempo más corto. Puede ser empleado en rocas con diferentes propiedades físicas y mecánicas, además ofrece una adecuada fragmentación del material, aspecto que es fundamental para la remoción y transporte de material volado (Builes, 2012).

La industria minera constituye una de las principales ramas de la economía, estimula el desarrollo de la industria, asegura el abastecimiento de las principales materias primas e influye directamente en el desarrollo económico social de un país, para garantizar la estabilidad y por ende la seguridad de estas excavaciones, deben realizarse estudios del macizo rocoso, con el objetivo de conocer cuáles son sus características y al menos suponer cuál será su comportamiento ulterior (Cartaya, 2012).

Es imprescindible para los criterios de rotura y para la evaluación de la calidad geomecánica de los macizos rocosos la clasificación de Bieniawski (RMR), que permite tener un orden de entendimiento del hecho natural complejo que es un macizo rocoso (Galván, 2015).

La tendencia a utilizar explosivos de gran energía hace que también sea una necesidad la aplicación de nuevas técnicas para el diseño de mallas de perforación y

Voladura, esta teoría tiene sustento en que la energía de un explosivo comparado con la de otro explosivo es muy diferente, en el mismo volumen de un taladro (Ames, 2008).

En la actividad minera una variable muy importante es el precio de los metales, el cual no puede ser controlado por las empresas mineras, es por ello que actualmente todas las minas del mundo realizan grandes esfuerzos para optimizar los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura reduciendo de esta manera los costos en mina (Jáuregui, 2009).

Con la finalidad de optimizar la explotación en unidad minera conociendo las características del macizo rocoso.

¿De qué manera un estudio determinado de perforación y voladura puede optimizar la explotación en unidad minera?

El objetivo principal es optimizar la explotación en unidades mineras, conociendo las características del macizo rocoso y en base a ello diseñar una adecuada malla de perforación y voladura, que va a permitir obtener una buena fragmentación de la roca, mejorando la granulometría, contribuyendo con el eficiente acarreo y transporte y de esta manera reducir costos.

El uso de una adecuada malla de perforación y voladura va a permitir que se mejoren los ciclos de producción y de la misma forma la utilización de explosivos en las voladuras.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El presente estudio de revisión sistemática de la literatura, es definido como “un método sistemático, explícito y reproducible para identificar, evaluar y sintetizar el cuerpo del trabajo realizado y registrado por investigadores, académicos y profesionales”.

Esta revisión sistemática intenta reunir la mayor parte de conocimiento de un área específica, destacando lo que se conoce acerca de un tema concreto, a través de los resultados obtenidos en diferentes estudios y ofrecer así recomendaciones para la investigación futura.

La pregunta de investigación establecida para conducir el proceso metodológico fue la siguiente: ¿De qué manera un estudio determinado de perforación y voladura puede optimizar la explotación en unidad minera?

**Criterios de Selección:** Todos los artículos se seleccionaron de las bases de datos publicadas en e- libro (entre los años 1987 – 2015), Pro Quest (entre los años 2004 – 2018) y Google Académico (entre los años 2008 – 2017) utilizando las siguientes palabras claves: malla de perforación, voladura y macizo rocoso (en español), estos artículos fueron publicados en diferentes ciudades como: Madrid, Bogotá, Barcelona, Miami, Caracas, Panamá, Tamaulipas, Kuching, La Habana y Lima. Se escogieron estos descriptores dada la naturaleza tan amplia del concepto.

Es este estudio se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de selección e inclusión: En la base de datos de e – libro se encontraron 12 artículos, de los cuales solo se consideraron 3 artículos, en la revista científica Pro Quest se encontraron 19 artículos de

Los cuales se consideraron 9 artículos, en la base de datos de Google Académico se encontraron 14 artículos de los cuales solo se consideraron 4 artículos.

Estos artículos fueron incluidos porque contienen información específica para esta investigación, los demás artículos fueron excluidos porque la información que en estos se encontraron eran irrelevantes o en su defecto no se direccionaba con el tema de la investigación.

### Artículos incluidos en la investigación:

**Tabla 1: E- Libro**

TITULO	EDITORIAL	AUTOR	FECHA	RESUMEN
Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas	Editorial Universitaria - Cuba	Maday Cartaya Pire	15/05/2006	Estudio y valoración general de las principales características ingeniero-geológicas de los macizos rocosos
Manual de Perforación y Voladura	Instituto Geológico y Minero de España	José María Permía Llera	01/01/1987	Tipología de los trabajos de perforación en el arranque con explosivos y campos de aplicación de los diferentes métodos de perforación
Mecánica de Rocas: Correlación entre la resistencia a carga puntual y la resistencia a compresión simple	Programa Editorial Universidad del Valle	Manolo Galván Ceballos	01/01/2015	Características geomecánicas del macizo rocoso

*Nota: De los 12 artículos encontrados solo se consideraron 3 artículos ya que contenían importante información referida a la investigación*

**Tabla 1: ProQuest**

Title	Abstract	Authors	language	placeOfPubl	pubdate
Avanza edificación de central hidroeléctrica por	Asi mismo, Jose Martins Brandao, gerente de ingeniería de la Odebrecht, menciona que esta en r		Spanish	Miami	May 6, 2004
Comienza la construcción del túnel de La Linea	Con la primera voladura de roca en la cordillera central, en jurisdicción de Cajamarca, Tolima, el pr		Spanish	Miami	Jan 13, 2005
En 2008 estará listo central hidroeléctrica Yac	La obra Proyecto Yacambú-Quibor, iniciada en 1973, es una pres	Camacho, Larry	Spanish	Caracas	Oct 16, 2005
ANÁLISIS DE EXCAVACIONES EN LA MINA	En la mina subterránea El Toro se explota roca calcárea para la	Castro C, Álvaro	English	Spain	Bogota 2007
EXTRACCION SELECTIVA EN MINERIA AURI	En la mina La Independencia ubicada en Titiribí Antioquia, se vie	ANDRÉS FELIPE RODRIGUEZ	English	Spain	Bogota 2009
Fomento de Construcciones y Contratas, S.A.	This Annual Report covers Fomento de Construcciones y Contratas, S.A. in Spain.		Spanish	Kuching	2012
ANALISIS Y DISEÑO DE LA OPERACION DE	En este artículo se presenta el análisis y el diseño de la operaci	JOVANI ALBERTO JIMÉNEZ BU	English	Spain	Bogota 2012
Tipos de minería			Spanish	Bogotá	Aug 21, 2012
Fomento de Construcciones y Contratas, S.A.	This Annual Report covers Fomento de Construcciones y Contratas, S.A. in Spain.		Spanish	Kuching	2013
Desaparece un cerro para agrandar el Canal		jtason@laestrella.com.pa (Jess	Spanish	Panama City	Jun 14, 2016
Modificación de las mallas de perforación de vc	Having proper rock masses characterization is of great importan	Camilo Andres Ortega RamosC	Spanish	Bogota	2016
Método iCOM: compensación optimizada de m	Earthworks represents one of the most important items in the bud	Villar, YYY VillarVillarY Villar, L	Spanish	Barcelona	2017
Correlación entre el índice RMR de Bieniawski	From the XX century, various rock mass classification systems ha	Fernández-Gutiérrez, J DJJ D F.	Spanish	Barcelona	2017
Comparative study among rock mass classifca	The Porphyry deposits are the largest mineral resources in the wc	Santiago Perez Rodriguez, Man	Spanish	Bogota	2018
Nueva metodología empírica para la estimación	The aim of this article is to create a new methodology that is simp	Lain, CCC LainLainC Lain, Llan	Spanish	Barcelona	2018
El segundo túnel de Occidente, en la vía 4G Mar 1, ya inició trabajos		SEBLONSEBLON	Spanish	Bogotá	Feb 20, 2018
El segundo túnel de Occidente, en la vía 4G Mar 1, ya inició trabajos			Spanish	Miami	Feb 20, 2018
El segundo túnel de Occidente, en la vía 4G Mar 1, ya inició trabajos			Spanish	Bogotá	Feb 20, 2018
Diagnostic of the aggregate quarry "La Inagua"	The growing demand for construction aggregates in Cuba is one o	Hernández-Jatib, Naisma	Spanish	Tamaulipas	Jul-Dec 2018

**Nota: De los 19 artículos encontrados se consideraron 9 artículos ya que contenían importante información referida a la investigación.**

**Tabla 3: Google Académico**

TEMA	PAIS	AUTOR	FECHA	RESUMEN
Diseño de las mallas de perforación y voladura utilizando la energía producida por las mezclas explosivas	Perú	Ames Lara, Víctor Alejandro	17/03/2008	La tendencia a utilizar explosivos de gran energía hace que también sea una necesidad la aplicación de nuevas técnicas para diseñar mallas de perforación y voladura.
Diseños de mallas de perforación y voladura subterránea aplicando un modelo matemático de áreas de influencia	Colombia	Ojeda Mestas, René Wilfredo	21/04/2007	Este trabajo de investigación es realizado para ejecutar diseños óptimos sin la necesidad de

realizar muchas pruebas de campo.

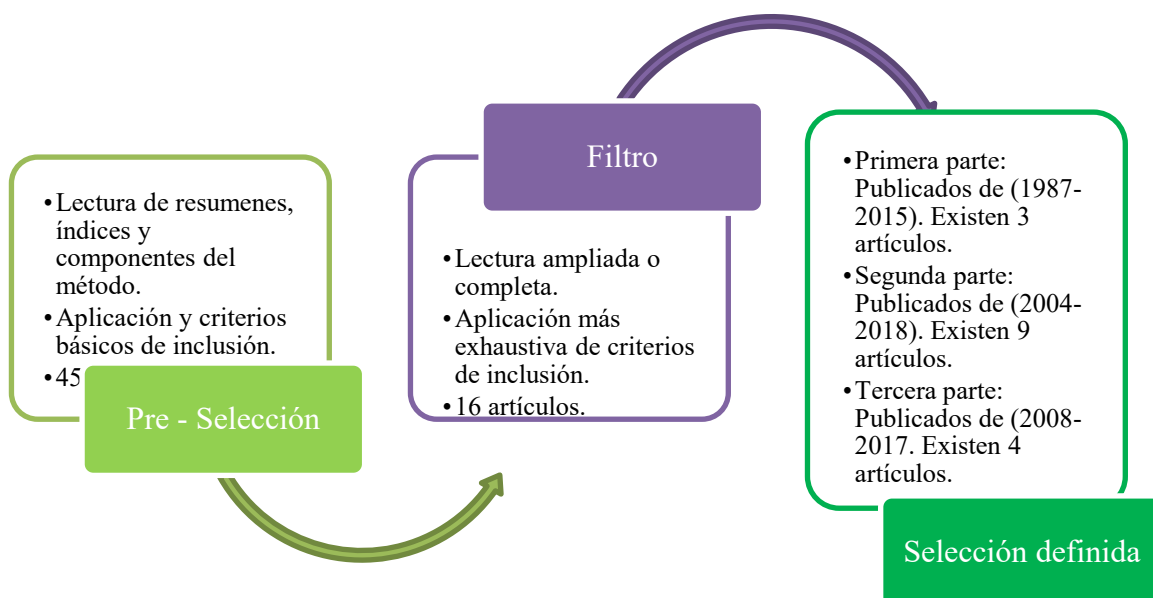
Reducción de los gastos operativos en mina optimizando los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura.	Perú	Jáuregui Aquino, Oscar Alberto	13/11/2009	Exponer la factibilidad de la reducción de los costos operativos en una empresa minera.
Perforación y Voladura de Rocas en Minería	España	Bernaola Alonso, José	07/10/2013	Existencia de una relación intrínseca entre perforación y voladura

*Nota: De los 14 artículos encontrados se consideraron 4 artículos ya que tenían importante información referida a la investigación.*

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

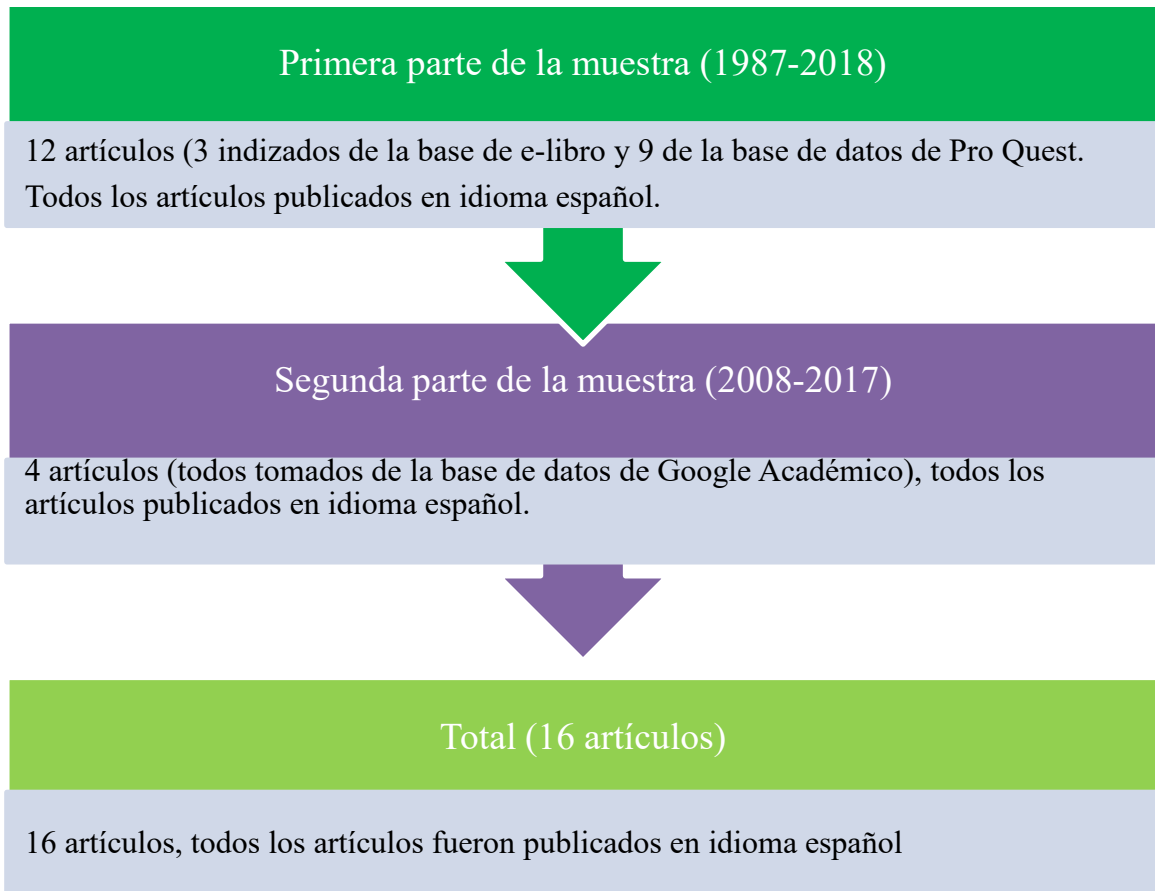
La búsqueda de artículos en las bases de datos y motores de búsqueda arrojó un total de 45 artículos originales en el período de tiempo de 1987 a 2018, distribuido de la siguiente manera: E- libro 12 artículos, Pro Quest 19 artículos, Google Académico 14 artículos dando un total de 45 artículos. A partir de este número se eliminaron un total de 29 artículos que no eran relevantes para la investigación dando un valor final de 16 artículos originales seleccionados, se procedió a la identificación de la revisión en las diferentes ciudades del mundo, indistintamente de su naturaleza pública o privada, como lo muestran en las figuras 1, 2 y 3.

En los 16 artículos se analizaron los conceptos de malla de perforación, voladura, macizo rocoso, optimización para reducir costos.



**Figura 1: Etapas para la selección de la muestra**





*Figura 2: Características de la muestra definitiva*





*Figura 3: procedimiento para obtener muestra definitiva*

## **MACIZO ROCOSO Y SUS PROPIEDADES:**

Macizo rocoso es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico

### **Propiedades Físicas y Mecánicas del Macizo Rocosos:**

Propiedades Físicas:

- Porosidad.
- Peso Específico.
- Durabilidad o Alterabilidad.
- Dureza o Tenacidad.
- Permeabilidad.

Propiedades Mecánicas:

- Resistencia a Compresión Simple.
- Resistencia a Tracción.
- Elasticidad.

La caracterización y el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso son complejos debido a la ya mencionada variabilidad de características y propiedades que presentan junto a un elevado número de factores que los condicionan (Suarez, 2014).

Clasificación de rocas por su origen: Según su origen, los diferentes tipos de rocas se pueden dividir en tres grandes grupos:

**Ígneas:** Formadas a partir del enfriamiento de rocas fundidas (magmas). Los magmas pueden enfriarse de manera rápida en la superficie de la Tierra mediante la actividad volcánica o cristalizar lentamente en el interior, originando grandes masas de rocas llamadas plutónicas.

**Metamórficas:** Formadas a partir de otras rocas que, sin llegar a fundirse, han estado sometidas a grandes presiones y temperaturas y se han transformado.

**Sedimentarias:** Formadas en zonas superficiales de la corteza terrestre a partir de materiales que se depositan formando capas o estratos. Son detríticas si se originan a partir de trozos de otras rocas. Químicas y orgánicas si se forman a partir de precipitación de compuestos químicos o acumulación de restos de seres vivos.

Las clasificaciones geomecánicas constituyen un sistema de comunicación universal entre sus usuarios (ingenieros, geólogos, etc.), mejoran el conocimiento del comportamiento del macizo rocoso y proporcionan una valoración cuantitativa del mismo por medio de un algoritmo aritmético simple. Algunos de los índices geomecánicos empleados en la caracterización geomecánica en roca son el R.M.R. (Bieniawski, 1989), el índice Q (Barton, 1974) (Miguel, 2006).

## SISTEMA R.M.R. DE BIENIAWSKI Y EL SISTEMA Q DE BARTON

**Sistema R.M.R:** Esta clasificación fue desarrollada por Bieniawski en 1973, con las actualizaciones en 1979 y 1989, un sistema de clasificación de macizo rocoso que permite a su vez relacionar índices de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo, excavación y sostenimiento en túneles.

Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- RQD de la roca.
- Espacio entre discontinuidades.
- Condiciones de discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Al aplicar las puntuaciones a los cinco parámetros geomecánicos de clasificación se obtiene un valor numérico, a este valor se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades para finalmente tener el valor de RMR (Yance, 2013).

**Sistema Q de Barton:** Desarrollado por Barton, Lien y Lunde en 1974, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite establecer sistemas de sostenimientos para túneles y cavernas. El sistema Q está basado en la evaluación numérica de seis parámetros que definen el índice Q.

Este índice viene dado por los siguientes parámetros:

- RQD.
- Número de familia juntas.
- Rugosidad de la discontinuidad más favorable.
- Grado de alteración o relleno en la discontinuidad más débil.
- Presencia de agua (flujo de agua).
- Estado de tensiones.

### MALLA DE PERFORACIÓN

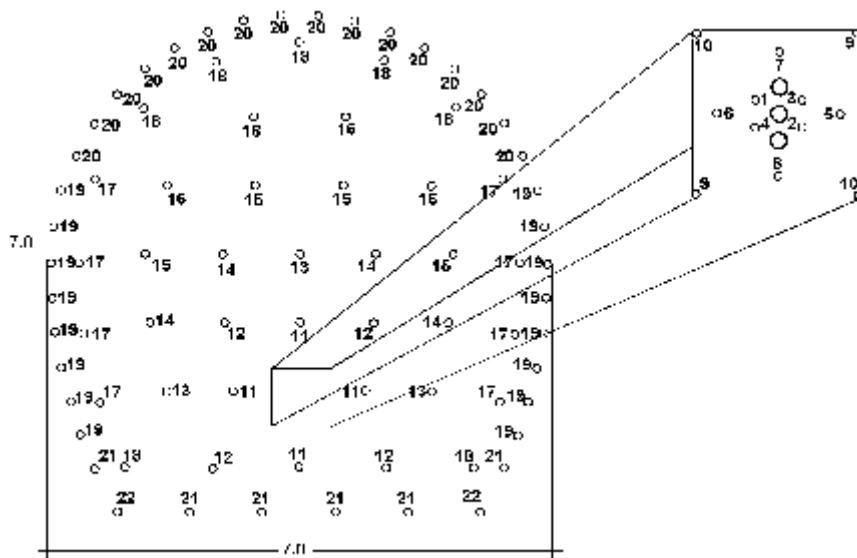
(Ojeda, 2007), sustentó que el diseño de malla de perforación es el esquema que indica la distribución de los taladros con detalle de distancias, carga de explosivo y secuencia de encendido a aplicarse.

**Perforación:** La perforación de las rocas en el campo de la voladura es la primera operación unitaria que se realiza en la actividad minera; tiene como propósito abrir unos huecos (taladros), en una distribución geométrica adecuada en los macizos rocosos para su posterior arranque, aquí se alojará el explosivo y los accesorios de los sistemas de iniciación a usar.

**Sistemas de Penetración:** Los sistemas de penetración en la roca que han sido desarrollados hasta la actualidad son:

- Mecánicos: Percusión, rotación y roto-percusión.
- Térmicos: Soplete o lanza térmica.
- Hidráulicos: Chorro de agua, erosión.
- Químicos: Micro voladura y disolución.

En la actividad minera la más utilizada es la de energía mecánica, en donde los componentes principales de sistema de perforación de este tipo son: la perforadora que es la fuente de energía mecánica, el varillaje que es el medio de transmisión, la broca que es el elemento útil que ejerce sobre la roca dicha energía y el fluido de barrido que realiza la limpieza y evacuación de los detritos producidos (Lara, 2013).



**Figura 4: Malla de perforación**

**Propiedades de la roca que afectan la perforación:** Entre las principales propiedades de las rocas que afectan en los mecanismos de penetración y en la selección de método de penetración se tiene a los siguientes: Dureza, resistencia, plasticidad, abrasividad, textura y características de rotura.

**Factores que influyen en el rendimiento de la perforación:** Tipo de equipo (neumático o hidráulico), tipo de roca (dureza de la roca), tipo de broca, presión de aire de



barrido hacia arriba, velocidad de penetración, diámetro y profundidad de los taladros, presión del aire comprimido, orientación de los taladros, clima organizacional.

**Voladura:** La teoría de la voladura es quizás uno de los más interesantes, que provoca pensamientos, retos y áreas controversiales en nuestra industria. Esto abarca muchas áreas en la ciencia de la química, física, termodinámica y la mecánica de rocas. En términos generales, el fracturamiento de la roca mediante explosivos involucra la acción de un explosivo y la respuesta de masa rocosa circundante dentro del dominio de la energía, tiempo y masa (Lara, 2013).

La voladura se puede definir como la ignición de una carga masiva de explosivos. El proceso de voladura comprende el cargue de los huecos hechos en la perforación. Con una sustancia explosiva, que al entrar en acción origina una onda de choque y, mediante una reacción, libera gases a una alta presión y temperatura de una forma substancialmente instantánea, para arrancar, fracturar o remover una cantidad de material según los parámetros del diseño de la voladura misma (Builes, 2012).

El éxito de una buena voladura depende que tan buena sea la malla de perforación, y de la cantidad óptima de explosivo por taladro (Exsa, 2009)

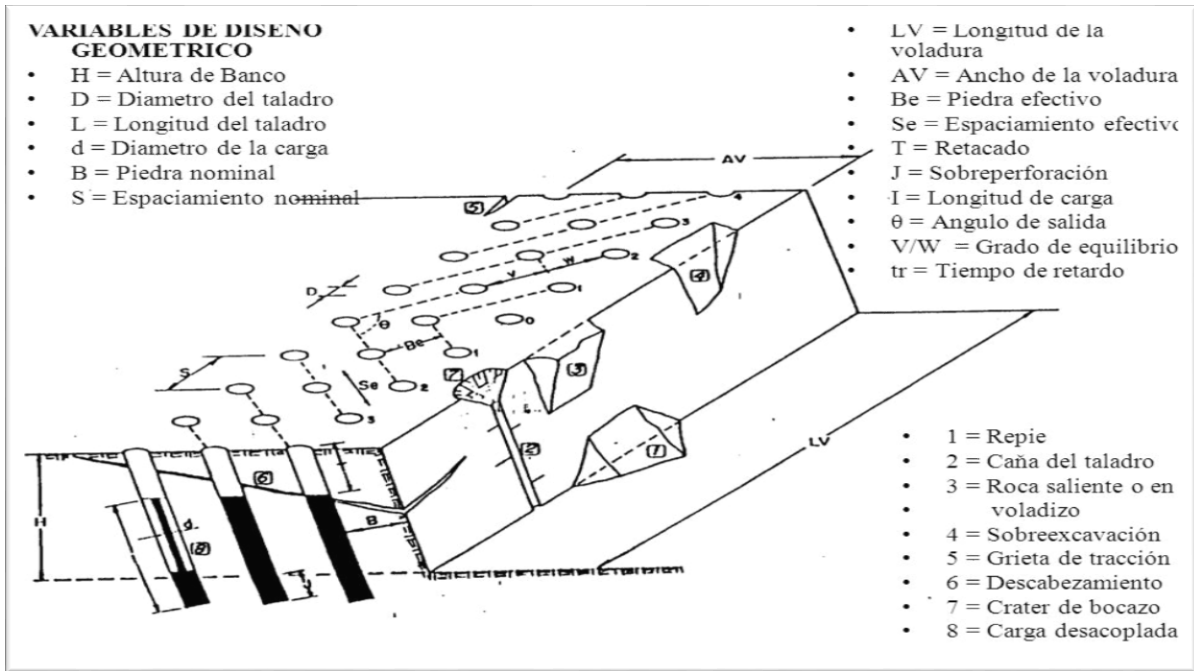


Figura 5: Variables controlables de las voladuras

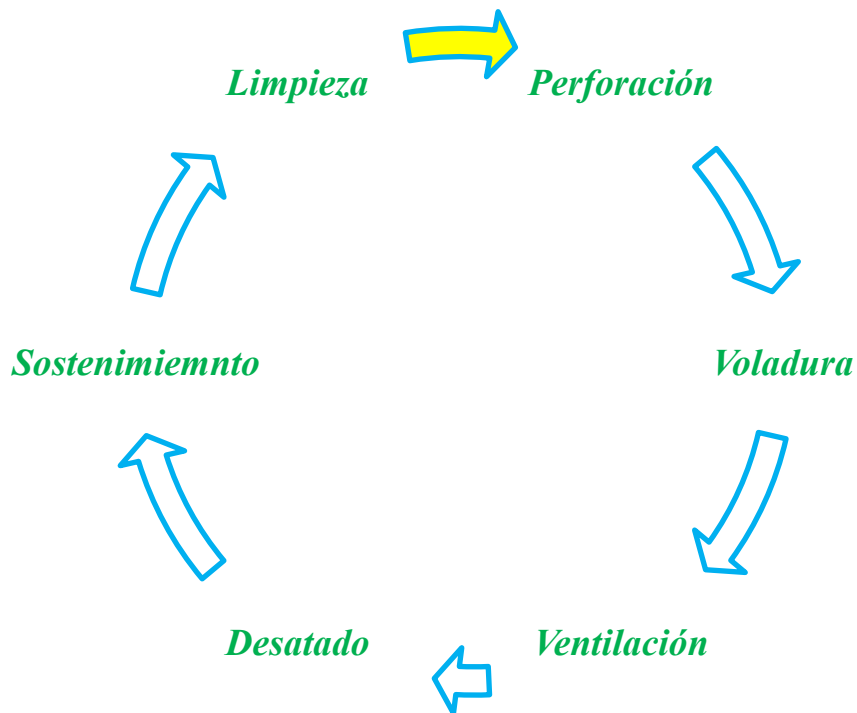


Figura 6: Ciclo de minado

Como muestra definitiva utilizada para la elaboración de esta revisión de la literatura científica se utilizaron 16 artículos los cuales son detallados: 3 artículos de la base de datos de e-libro (18.75% de la muestra), 9 artículos de la base de datos de Pro Quest (56.25% de la muestra) y 4 artículos de la base de datos de Google Académico (25% de la muestra)

Como resultado se constató que el correcto diseño de la malla de perforación y voladura teniendo en cuenta las características del macizo rocoso van a optimizar la explotación en unidades mineras, reduciendo costos en una de las operaciones unitarias críticas de la actividad minera.

Gestionar adecuadamente las operaciones de Perforación y Voladura son de vital importancia debido a que permiten reducir los costos ante una eventual crisis en el precio de los metales (Mauró, 2014).

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

En esta revisión de la literatura científica realizada a 16 artículos centrados en el tema de estudio de malla de perforación y voladura según las propiedades del macizo rocoso para optimizar la explotación en unidades mineras, podemos determinar que la perforación de roca es una actividad muy difundida y necesaria para la extracción de minerales yendo desde los métodos básicos (perforación por percusión) hasta métodos innovadores, el adecuado diseño de la malla de perforación y voladura es de vital importancia para el ciclo de minado ya que de esta manera podemos optimizar la explotación en las unidades mineras en general, definiendo los factores que influyen como las propiedades de la roca, el tipo de explosivos, la carga a utilizarse y de esta manera reducir los costos.

Luego de realizar un análisis de los parámetros que debemos de considerar en el diseño de una malla de perforación y voladura teniendo en cuenta las propiedades del macizo rocoso para optimizar la explotación en unidades mineras, podemos concluir lo siguiente:

- Para el diseño correcto y adecuado de la malla de perforación y voladura es muy importante conocer las propiedades del macizo rocoso.
- El inadecuado diseño de la malla de perforación y voladura va a incurrir en los altos costos de la mina como lo son: demasiado número de taladro con inadecuado burden, espaciamiento, demasiada distribución de carga explosiva por disparo.

- En unidades mineras ya sean a cielo abierto o subterráneas cuando nos referimos a optimizar la explotación nos referimos a mejorar la explotación y ese mejoramiento está muy ligado al aspecto de costos ya que una buena voladura va a permitir una fragmentación adecuada y esto va a permitir aminorar los costos en transporte, acarreo, chancado, molienda.

Algunas de las limitaciones de esta investigación se asocian a la naturaleza de los artículos seleccionados puesto que las búsquedas en las bases de datos utilizadas se encontraron artículos cuyos contenidos no era relevantes para el tema a tratar en esta revisión de la literatura científica.

Igualmente hubo dificultades en cuanto a la selección de artículos puesto que en cada uno de ellos se encontraba una conceptualización diferente a la otra, los datos no eran específicos.

A pesar de las limitaciones expuestas, deben valorarse los hallazgos de este estudio como una base teórica que puede ser de beneficio para próximas revisiones.

De igual modo, aunque la muestra considerada no fue tan pequeña, se invita a añadir mayor cantidad de fuentes en próximos estudios. Finalmente, se hace un llamamiento a los investigadores en términos de desarrollar y fortalecer estas y otras líneas de investigación asociadas.

## REFERENCIAS

### Bibliografía

- Ames. (2008). *Diseño de las mallas de perforación y voladura utilizando la energía producida por las mezclas explosivas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Aquino, J. O. (2009). Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura. *Tesis*, 4.
- Bernaola, J. A. (2013). *Perforación y Voladura de rocas en minería*. Madrid.
- Builes. (2012). Analisis Y Diseño de la Operacion de Perforacion y Voladuras en Minería de Superficie Empleando El Enfoque de la Programacion Estructurada. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 16.
- Bulege, W. (2012). Revisión de la Literatura Científica. *Metodología de la Investigación*, 9.
- Cartaya. (2012). Minería y Geología, revista de ciencia de la tierra. *Caracterización Geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas*.
- Díaz Martínez, J. C., & Guarín Aragón, M. A. (2012). Análisis Y Diseño De La Operación De Perforación Y. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 15.
- Escobar. (2015). *Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del esfuerzo geológico*. Medellín.
- Exsa. (2009). *Manual de perforación y voladura*. Lima.
- Galván. (2015). Mecánica de Rocas: Correlación entre la resistencia a carga puntual y la resistencia a compresión simple. *Mecánica de Rocas*.
- Gutierrez. (2013). *Optimización De Los Parámetros De Perforación Y Voladura En La Cantera "Las Victorias"*. Cuenca.
- Jáuregui, O. A. (2009). *Reducción de los costos operativos mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura*. Lima: Pontificia Universidad Católica.
- Lara, O. B. (2013). *Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura en la Unidad Carahuacra de la compañía Minera Volcan S.A.A*. Huancayo.
- Martínez. (2012). Analisis Y Diseño De La Operacion De Perforacion Y Voladuras En Minería De Superficie Empleando El Enfoque De La Programacion Estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 15.

- Mauró, O. (2014). *Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*. Lima.
- Miguel, C. (2006). *Nuevas funciones continuas para el cálculo de Slope Mass Rating (SMR): aplicación mediante un sistema de información geográfica*. Sociedad Geológica de España.
- Ojeda, R. W. (2007). *Diseños de mallas de perforación y voladura subterránea aplicando un modelo matemático de áreas de influencia*.
- Ortega Ramos, C. A., & Jaramillo Gil, A. F. (2016). Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina "La Maruja", Colombia. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 32.
- Perez Rodriguez, S. M., & Vega Posada, C. A. (2018). Comparative study among rock mass classification systems in a Porphyry deposit. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 35.
- Pernia. (1987). *Manual de Perforación y voladura*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Quintero Ortega, S. P., & Zafra, S. L. (2015). La revisión sistemática de la literatura científica y la necesidad de visualizar los resultados de las investigaciones. *Logos ciencia y tecnología*, 102.
- Reyna, C. y. (2008). análisis y diseño de la operación de perforación y. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 2.
- Suarez, L. (2014). *Introducción a la Ingeniería de rocas de superficie y subterránea. Descripción del macizo rocoso*. Medellín.
- Yance, E. H. (2013). *Estudio Geomecánico en el diseño de malla de perforación del cruceo 300, nivel 16 en la compañía minera Casapalca S.A.* Huancayo.