



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**Voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances
de las labores en mina subterránea**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
Bachiller en Ingeniería de Minas**

AUTORES:

Estela Yomona, Jimmy (ORCID: 0000-0003-3702-5749)

Estela Yomona, Kenji (ORCID: 0000-0002-6312-0101)

ASESOR:

Dr. Martell Espinoza, Beder Erasmo (ORCID: 0000-0002-4169-9212)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Perforación y Voladura de Rocas

CHICLAYO – PERÚ

2020

Dedicatoria

A mi hermano y progenitores por darme esa iniciativa para hacer realidad este proyecto y su gran aporte de forma incondicional y generosa en el progreso de mi formación profesional y por ser una inspiración y motivo para continuar con las metas y objetivos trazados.

Los autores

Agradecimiento

Mi agradecimiento a todos los Ingenieros de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad César Vallejo lo cual aportaron sus conocimientos y nos guiaron en las clases de pregrado, contribuyendo a nuestro mejoramiento y superación académica profesional.

Los autores

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población y muestra.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimiento	12
3.6. Método de análisis de datos.....	13
3.7. Aspectos éticos	13
IV. RESULTADOS.....	14
V. DISCUSIÓN.....	19
VI. CONCLUSIONES	21
VII. RECOMENDACIONES	22
REFERENCIAS.....	23
ANEXOS	30

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Fundamentos del empleo de la voladura controlada</i>	14
---	----

Índice de gráficos

Gráfico 01. Finalidad del empleo de la técnica de la voladura controlada.....	14
Gráfico 02. Condiciones óptimas que tiene la voladura controlada.....	15
Gráfico 03. Ventajas de la voladura controlada.....	15
Gráfico 04. Relación burden y espaciamiento para una malla de voladura controlada.....	15
Gráfico 05. Estaría de acuerdo de utilizar la voladura controlada en mina subterránea.....	16
Gráfico 06. Condiciones necesarias de perforación para voladura controlada. ..	16
Gráfico 07. Recomendación cuando se presentan vibraciones.....	16
Gráfico 08. Condiciones de carguío para la voladura controlada.....	17
Gráfico 09. Optimización de voladura controlada.....	17
Gráfico 10. Indicadores de voladura controlada.....	18
Gráfico 11. Tipos de detonadores para voladura controlada.....	18

Resumen

El presente informe de investigación tuvo por finalidad conocer los fundamentos del empleo de la voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea. La investigación surgió de la observación de un problema de deficiencia de la voladura en los avances de las labores en mina subterránea para dicha investigación se buscó trabajar con una muestra de cinco trabajadores con tres años de experiencia utilizando como tipo y diseño de investigación cuantitativo explicativo. Asimismo, para el recojo de información se utilizaron métodos como es el método analítico y técnicas de análisis documental, técnica de observación, técnica de entrevista junto a instrumentos empleados como guía de observación y guía de entrevista, además, se utilizó el software SPSS. Toda esta metodología le da a este informe de investigación el respaldo, sustento y seriedad respectiva. Finalmente, se obtuvo como resultados que para una voladura controlada se considera un diseño de malla con burden y espaciamiento más reducido que la malla de voladura convencional y el uso de explosivos de baja potencia, todos estos resultados se presentan por medio de gráficos estadísticos enumeradas, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis, si se conoce los fundamentos del empleo de la voladura controlada se podrá reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea, todo este trabajo permitió concluir que de acuerdo al conocimiento del empleo de la voladura controlada esto ayuda a reducir considerablemente la deficiencia en los avances de las operaciones en mina subterránea.

Palabras clave: Voladura controlada, diseño de malla, perforación, taladro, explosivo.

Abstract

The purpose of this research report was to know the fundamentals of the use of controlled blasting to reduce the deficiency in the progress of underground mine work. The investigation arose from the observation of a problem of blasting deficiency in the progress of the underground mine work for this research. We sought to work with a sample of five workers with three years of experience using as a type and design of explanatory quantitative research. Also, for the collection of information, methods such as the analytical method and documentary analysis techniques, observation technique, interview technique were used together with instruments used as an observation guide and interview guide, in addition, the SPSS software was used. All this methodology gives this research report the support, support and respective seriousness. Finally, it was obtained as results that for a controlled blasting it is considered a mesh design with lower load and spacing than conventional blasting mesh and the use of low power explosives, all these results are presented by means of enumerated statistical graphs, each one with their respective analyzes that contributed to verify the hypothesis, if the fundamentals of the use of controlled blasting are known, the deficiency in the progress of the work in the underground mine can be reduced, all this work allowed us to conclude that according to the knowledge of the Use of controlled blasting this helps to significantly reduce the deficiency in the progress of underground mine operations.

Keywords: Controlled blasting, mesh design, drilling, drill, explosive.

I. INTRODUCCIÓN

Al tener un control en la iniciación de la voladura de acuerdo al tipo de dinamita, origina una correcta detonación del explosivo logrando crear una abertura o plano de corte continuo, logrando alcanzar el área final en la labor de avance, en cambio al realizar una voladura empírica con los iniciadores defectuosos o explosivos de mayor potencia el daño ocasionado es mayor afectando al macizo rocoso, mayormente los taladros de ayuda superan la fuerza que impacta a los taladros de la corona o perímetro deteriorando al macizo rocoso.

Sobre ello es que surge el problema de la deficiencia de la voladura la cual es mala reacción físico-químico exotérmico de los iniciadores y agentes explosivos, la cual no adquieren la temperatura adecuada o la formación de los gases para generar una fuerza rompedora necesaria para fragmentar la roca. Este problema se puede evidenciar a nivel nacional como lo que señala Vilca (2019) que, en la Minería Aurífera Retamas S.A., se usó para la voladura convencional la dinamita semexsa 65% donde no se realizaron los análisis para determinar las causas que generaba la sobre rotura y la dilución del mineral.

En la aplicación de este método tiene como ventaja principal producir menor agrietamiento de la roca remanente, favoreciendo al sostenimiento natural de los túneles. Pese a ello aún existe un problema relacionado con la deficiencia de la voladura en los avances de las labores en mina subterránea que así mismo se define como la mala reacción físico-químico exotérmico de los iniciadores y agentes explosivos, la cual no adquieren la temperatura adecuada o la formación de los gases para generar una fuerza rompedora necesaria para fragmentar la roca. Es provocado por diversas causas tales como el deficiente diseño de perforación y voladura, la voladura no controlada, implementos de voladura tradicionales.

Otra de las causas, es cuando se refiere al mal diseño de la malla de perforación y detonación se habla sobre los maestros perforistas que se dejan llevar por sus años de experiencia las cuales sus diseños lo hacen por intuición o exceso de confianza trayendo como consecuencia que es menos efectiva, generando mayores gastos en explosivos y mano de obra, afectando el tiempo de avance. Taipe, Marcañupa (2015) teniendo como evidencia lo que ocurre en Ecuador, según Uyaguari (2018)

afirma que los métodos de perforación y voladura en minería subterránea son muy variados y algunos técnicos en perforación y voladura no dan el uso adecuado de los parámetros para el diseño de la malla de perforación y esto dará mayor consumo de sustancias explosivas y los costos serán muy elevados.

Otra evidencia clara, según Serin (2017) en cuanto a la voladura indica que es una de las principales operaciones en las labores mineras donde al hacer un mal modelo matemático, hay fallas que deben ser superadas, en Minera Aurífera Retamas S.A. en la Zona de Chilca Bajo indican que por cada mes se registra un aproximado de 5 tiros cortados, 24 tiros soplados, 31 casos de taqueo, 3 tiros anillados, estos tipos de problemas generan pérdidas económicas. Una de las causas la voladura no controlada según Silva (2017), consiste el empleo de cargas de explosivos en el frente donde está constituido de taladros muy cercanos donde su disparo no tiene una secuencia establecida, generando que la excesiva liberación de energía debilite el macizo rocoso o la dilución del mineral.

Tomas, Pizarro (2015) señala que los detonadores convencionales son iniciadores de los explosivos las cuales existen de múltiples calidades y es necesario conocer sus especificaciones técnicas, tiene que ser un detonador que alcance el régimen establecido, caso contrario trae como consecuencia que los resultados son inferiores al régimen de detonación nominal y no tienen una buena fragmentación del macizo rocoso. Como evidencia Romero, (2016) afirma que, en cuanto a los resultados negativos en la fragmentación por voladura con detonadores no eléctricos, el producto P80 sale mayor a 4", de esta manera la producción no es la adecuada para las maquinarias del proceso de carguío, acarreo y chancado.

En los temas de seguridad los tipos de detonadores no eléctricos no entregan un control adecuado para evitar los tiros quemados, la cual es un riesgo muy latente del proceso de la voladura y que trae consecuencias no deseados.

Se planteó la siguiente formulación del problema ¿Cómo se puede reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea? Para ello, la presente investigación tiene como objetivo general "Analizar los fundamentos del empleo de la voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea, cuya finalidad se formularon los consecutivos

objetivos específicos: Analizar la optimización de la voladura controlada, reconocer el diseño de malla de perforación y voladura, analizar la optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de microrretardos. Como hipótesis se tiene que si se conoce los fundamentos del empleo la voladura controlada se podrá reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea.

En este orden de ideas, las motivaciones que nos conlleva la realización del trabajo de investigación son de representación académico. Ya que existe la voluntad de los participantes en examinar una dificultad para ser abordado desde el área científica, incorporando todas las inventivas, procesos y materiales para reconocer a profundidad la problemática. La jerarquía que tiene la presente investigación es la orientación al análisis de la voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea, en tal sentido se detallará los antecedentes que incitaron y motivaron el hecho.

Las técnicas e instrumentos que se utilizó fueron, la técnica de entrevista, análisis documental y como instrumentos la guía de entrevista, guía de análisis documental. Los recursos de donde se encontraron los datos son fuentes secundarias, de las que resaltan en este caso es la información bibliográfica, hemerográfico, como son los libros y artículos de revistas digitales que fueron accesibles a través del internet. Y entre la técnica de observación, se empleó la guía de observación, respaldándose en los instrumentos de medios electrónicos, los mismos que dieron respaldo al trabajo de indagación.

El actual trabajo de investigación de acuerdo por las particularidades y los objetivos que se han detallado se ubica en el modelo cuantitativo con el tipo de investigación explicativo. La población está constituida por todos los trabajadores en voladura de mina subterránea, con una muestra de cinco trabajadores con más de tres años de experiencia en perforación y voladura en mina subterránea.

II. MARCO TEÓRICO

Entre los antecedentes a nivel internacional y como nacional que sirven de apoyo y respaldo a la investigación realizada, se hace mención en los siguientes párrafos de acuerdo a los estudios desarrollados.

A nivel internacional CASTRO ÁLVAREZ, Cristian Felipe en Chile (2015) realizó su investigación titulada “Modelamiento numérico de la dilución por sobre excavación en minería subterránea explotada por Sublevel Stopping”. Como objetivo general fue determinar un método que pueda calcular el nivel de sobre excavación al realizar el modelo numérico en minería de Sublevel Stopping. Concluyó que al realizar un análisis de 582 casos históricos en Sublevel Stopping, sirvió para los modelos de dilución actuales y así regular un modelo numérico donde la sobre excavación de las paredes que forman parte de la dilución no planifica es por parte de los esfuerzos de relajación y que dependerán de la calidad de la roca.

ORTEGA RAMOS, Camilo Andrés; JARAMILLO GIL, Andrés Felipe y MOLINA ESCOBAR, Jorge Martin realizaron en Colombia (2016) una investigación titulada “Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina “La Maruja”, Colombia”, con el objetivo construir un cuadro de datos de geomecánica basada en el GSI, la cual facilite la toma de decisiones para la excavación de acuerdo al material rocoso, concluyendo que hay un mejoramiento de las etapas de producción y disminución del gasto de explosivos en voladura, la tabla de datos se desarrolla considerando pruebas de ensayo en voladura aplicando variadas distribuciones geométricas de redes de excavación y logrando reducir más del 30% de los costos.

A nivel nacional PIERRE FERNÁNDEZ, Jean realizado en Perú (2018) una investigación titulada “La fabricación de explosivos para voladura controlada de Famesa Explosivos”, con el fin de fabricar explosivos mejorando sus productos dirigidas a minerías subterráneas de esta manera para apoyar el proceso de reducción de costos. Concluyó que la empresa Famesa Explosivos actualmente dispone del SAN G QHANA del tipo de una emulsión bombeada para minería subterránea que ha dado considerables ahorros en los costos a las empresas mineras que han optado cambiar de encartuchados a emulsiones bombeadas.

Generalmente el ahorro es por la disminución del número de taladros, reducción del tiempo del ciclo de carguío de explosivos y una mejor seguridad.

En Perú, CRUZ FAUSTINO, Evert Jesús (2018) realizó una investigación titulada “Reemplazo de dinamita semexa 45% 7 7/8” por dinamita exsablock 45% 7 7/8 según condiciones geomecánicas de la veta Esperanza R.T. para tajos con cara libre concertante a un tipo de roca mala, con el fin de reducir la sobre dilución del mineral en E.C.M Comiluz SAC, Compañía Minera Marsa S.A.”. Con el objetivo de disminuir el exceso de la sobre dilución, asimismo tener un control en el minado de acuerdo a la potencia de la veta y disminuyendo el daño al macizo rocoso de las paredes. Concluyó que el costo del exsablock es de menor costo a comparación de la dinamita semexa, asimismo el exsablock produce menor dilución y una adecuada fragmentación del mineral.

TOMAS CRISTÓBAL, Marlon Edmer y PIZARRO VILCATOMA, Edwin realizaron en Perú (2015) una investigación titulada “Optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de microrretardo en explotaciones mineras subterráneas en Consorcio Minero Horizonte S.A.”. Teniendo como objetivo perfeccionar la detonación reduciendo costos mediante las cargas electrónicas de microrretardo en las explotaciones mineras subterráneas en Consorcio Minero Horizonte S.A. Concluyó que la utilización de detonadores electrónicos con microrretardos resulta muy eficiente económicamente de 0.88 US\$/tonelada de material y con un rendimiento promedio mensual de 145 253.17 tn de material, de tal manera dando incremento a los beneficios económicos.

MENDOZA MUÑOZ, Norma realizo en Perú (2014) una investigación titulada “Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera Paraiso-Ecuador”. Con el objetivo de diseñar redes de excavación y detonación subterránea controlada, utilizando el algoritmo de R. Holmberg y Chiapetta. Concluyó que los patrones se mejoraron especialmente de perforación y voladura, así como disminución en el precio de perforación en 42.41 %. Reducción en el coste de voladura en un 30.81 %, lo cual este dinero sería recapitalizado y luego ser destinado para la inversión de maquinaria y otros componentes.

Las teorías que forma parte del el esquema o la forma en que se desarrolla una sección de los sistemas de avance dependerá de algunos factores, así como la clase de equipo de perforación, al tipo de roca que está expuesta, la clase de sostenimiento, el sistema de ventilación y el tiempo disponible para la ejecución.

Para Gering [et al] (2017), el sistema de perforación y la voladura es uno de los procesos más importante e incluso a veces llegan a ser muy costosos para la minería. Estos cosas se dan en todas las operaciones mineras, es por ello se requiere hacer uso de información disponible con la finalidad de mejorar cada proceso de la perforación y voladura para que sea más óptimo. Según Adeoluwa [et al]. (2017), se deber realizar evaluaciones geomecánicas del macizo rocoso, así como el índice de la calidad de la roca (RQD), la clasificación geomecánica (RMR) o el índice de Q de Barton. Esto facilita identificar el tipo de roca con la que se va realizar los diseños de malla y el tipo de explosivo requerido.

López (2014), pueden excavarse con perforación y voladura a sección completa las secciones que tengan una roca competente inferior a 100m^2 y la excavación por fases dependerás de las dimensiones del túnel y de las características geomecánicas de la roca. Loza (2013), su principio de desarrollo de los esquemas de voladura es mediante la realización de huecos libres con los taladros de arranque haciendo esto que rompan las cargas restantes que existen en la sección. Generalmente estos huecos tienen superficies de aproximadamente 1m^2 a 2m^2 , pero también se dan perforaciones que alcanzan los 4m^2 .

Para Dambov [et al], realizar una perforación y voladura de forma efectiva se debe hacer una programación y organización en las operaciones, así como el diseño de la malla, la ubicación de los taladros, el tipo de perforadora y los explosivos a usar para así tener mejor efectividad. Palomino (2016), la principal operación fundamental es la perforación y la preparación de voladura en el ciclo de minado. El motivo es realizar huecos o denominan taladros de forma cilíndrica en el macizo rocoso de acuerdo al diseño de la malla establecida y el tipo de roca, estos están destinados para dar alojamiento a los explosivos incluyendo sus accesorios iniciadores. Los principios básicos de la peroración son por efecto mecánico de percusión y rotación, lo cual genera acciones de golpe en la roca.

Chávez (2018), antes de realizarse la perforación se crea el diseño de malla y se hace la distribución y la denominación de los taladros y de la misma manera su secuencia de salida al momento de ser disparados, pero esto dependerá mucho del tipo de roca y también de las características con la que cuenta la maquina perforadora. Los parámetros de la roca son propiedades físicas, propiedades elásticas, condiciones geológicas. Carbajal (2018), el marcado de la malla de perforación se ejecuta con trazo de pintura cuadrículas pre-calculado que se da en un frente que sirve para guía al perforista, para cada clase de roca se diseña una malla de perforación, todas las mallas presentan en el techo taladros de alivio para un mejor acabado y control del terreno.

Por otra parte, Rincón y Molina (2017), las desviaciones que se generan en la minería subterránea tienen efectos negativos en la voladura. No se realiza el avance planificado, no se consigue las toneladas propuestas y perjudica los parámetros de la voladura, burden, espaciamiento, mala fragmentación de la roca. Los reflejos de la desviación con notorios en los resultados generando sobre carga de explosivo, mayor consumo de energía y sobreuso de las perforadoras.

Li y Zhan (2018), con el avance tecnológico hoy en día la minería se está automatizando haciendo uso de maquinaria no tripuladas. Para el área de perforación ya se están aplicando perforadoras Jumbo no tripulados que a través de pruebas realizadas alcanzan un resultado muy eficiente, reduciendo los costos y aumentando la producción. Esto se debe a que las mineras subterráneas cada vez se profundizan más por la gran demanda de minerales. Dependerá de las condiciones geológicas, del método de explotación, el tipo de perforación a la roca.

Por otro lado, Huang [et al] (2019), indica que la fragmentación de la roca a través de la voladura es la más utilizada y que resulta ser económico para los desarrollos de las operaciones mineras. Sin embargo, al realizar la voladura cierta parte es aprovechado para romper la roca y la demás energía sobrante son las que ocasionan daño al macizo rocoso a través de las vibraciones. Esto genera inestabilidad llegando a ser un peligro para los operarios.

Asimismo, Wang [et al] (2018), señala que los parámetros que se pueden controlar es la carga de explosivo, el espaciado de los taladros, la desviación de los taladros,

la sobre perforación y el tiempo que se le da al retardo para la voladura. Estos parámetros se pueden mejorar para tener mejores resultados en el diseño de la voladura para así poder disminuir los daños al macizo rocoso. Los parámetros que no se pueden controlar están sujetos a las características geomecánicas del macizo rocoso. Por otra parte, los daños ocasionando también se producen por utilizar diseños de voladura muy simples sin considerar los factores que contenga el macizo rocoso, ya sea presencia de agua, sobre carga de explosivo y la secuencia de salida de los taladros.

Para Ruiz (2017), la voladura controlada se debe espaciar de tal forma que las fracturas se inclinen hacia los puntos de menor resistencia de taladro a taladro, las técnicas más utilizadas son: Voladura de precorte, recorte, y amortiguada. La distribución que tienen los taladros es de una forma concéntrica tales como de corte o arranque ubicadas en el área central de voladura y teniendo las siguientes denominaciones.

Según Diéguez [et al]. (2014), iniciando desde la parte central del área tenemos los taladros de arranque, las cuales cumplen con la función de formar la primera cavidad del frente de una galería y convirtiéndose en un banco anular. Para ejecutar el arranque requiere más carga entre 1,3 y 1,5, veces más para poder desplazar el material producto de la voladura, y para los siguientes taladros disminuyen su proporción de cargas porque su trabajo es menor y actúan por efecto de desplome.

A continuación, tenemos los taladros de ayuda y son las que rodean a los taladros de arranque y su salida es con dirección a la primera cavidad, el número y distribución de estos tipos de taladros dependerá de las dimensiones del frente.

Luego tenemos los taladros cuadradores que están ubicados a los laterales y forman los flancos de la galería. También tenemos los taladros de corona que su función es darle forma de bóveda a la galería, su disparo es al final de toda la ronda de manera instantánea juntos con los cuadradores y al final tenemos los taladros de arrastre que dan forma al piso de la galería que también se disparan al final de toda la ronda.

Para realizar la voladura se requiere de explosivos y están hechas de sustancias químicas sólidas o líquidas, y cuando se le da una iniciación adecuada se convierte en un tiempo muy corto en otra sustancia más estable de forma gaseosa, alta temperatura y presión.

Chipana (2015), los materiales explosivos generan gran cantidad de fuerza destructiva con una conversión muy rápidas a gases de alta temperatura y que su volumen es mucho mayor a la original generando presión sobre las paredes de su alrededor, su velocidad de expansión se da en microsegundo en forma de ondas de choque así fragmentando la roca circundante. Según Pan [et al]. (2020), el factor de daño que se genere en el macizo rocoso dependerá de la forma de carguío de explosivo en los taladros. Generalmente al realizar una carga acoplada el daño es mucho mayor a comparación de una carga desacoplada. La tener una carga desacoplada en los taladros de contorno se reduce los efectos de choque evitando dañar gravemente a la masa rocosa sin generar la creación de grietas.

Famesa (2019), con el pasar del tiempo se realizan múltiples pruebas para mejorar la voladura y tener mejores resultados, se viene aplicando detonadores electrónicos ya que tienen mejor precisión para los tiempos de iniciación para los taladros de contorno, además la carga de explosivo es menor lo que reduce las vibraciones. Para un mejor resultado en la voladura de contorno el disparo de los taladros sea de manera simultánea, cuando se aplica detonadores eléctricos convencionales se realiza con serie de microrretardo.

Según López (2019), cuando se realiza la voladura en frentes pequeños con un espacio limitado y usado los taladros paralelos, usualmente se hace uso de los retardos lentos ya que la roca de cada taladro tenga tiempo de ser expulsado antes del siguiente taladro iniciado. Para Exsa (2019) La etapa de la voladura nos ayuda a fragmentar la roca con los explosivos y sus accesorios de voladura adecuados para la operación. Estos accesorios son sustancias o compuestos con una capacidad de poder transformarse en productos condensados y gaseosos por la reacción química de óxido reducción. Esto genera las ondas que choque la cual son aprovechadas para el rompimiento del material y denominado técnica de voladura de rocas.

Sulcacondor (2018), las propiedades físicas que conforman a los explosivos entre las cuales tenemos a la potencia energía favorable para producir efecto rompedor en la roca. La densidad que varía entre 0.8 y 1.6 gr/cm³, es un componente de carga para voladura. La sensibilidad disposición de iniciación de un explosivo o detonador y por último su resistencia al agua que es característica del explosivo para su normal funcionamiento en zonas con agua sin perder su eficiencia.

Pearton (2015), la formación de estos gases llega alcanzar presiones hasta diez veces más la presión atmosférica que es 1 Atm = 14.7 Psi, acompañada con temperaturas superiores a 3000 °C donde la onda de choque se extiende a velocidades de 2000 a 8000 m/seg y de esta manera la explosión llega a durar algunos microsegundos. Guan [et al] (2019) Los detonadores electrónicos están conformados por un recipiente resistente de aluminio cerrada por un extremo, en su interior contiene un condensador, un chip, un inflamador, un explosivo primario y secundario, estos artefactos se caracterizan por su seguridad y precisión ya que necesitan de una corriente codificada para su iniciación.

Para Sargentón (2018), la velocidad de detonación es la celeridad en que se desplaza las ondas de fuerza a través del macizo rocoso en el frente de operaciones, esto se modifica de acuerdo a los productos que se utiliza y está entre los rangos de 1600-7500 m/s. La celeridad de detonación depende de la densidad del explosivo, componentes, tamaño de partículas y confinamiento. Para la reducción de agrietamiento por la onda de presión generada por el explosivo se puede hacer uso de cordón detonante de alto gramaje.

Uno de los iniciadores tradicionales y más utilizados es el fulminante simple N° 8 conformado por un casquillo cilíndrico de aluminio, al interior lleva una carga primaria de explosivo azida de plomo – PENT altamente sensible que estalla por la mecha transmitida.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación que le corresponde con las particularidades y los planes redactados se encuentra ubicada en el enfoque cuantitativo con el tipo de indagación explicativo. Hernández [et al] (2015), indica que las investigaciones explicativas están encaminados a evidenciar los orígenes de los sucesos concretos del entorno social. La utilidad está enfocada a detallar como se presenta el anómalo y en qué circunstancias se desarrolla o por que se relacionan más variables.

3.2. Variables y operacionalización

De acuerdo a las variables planteadas para esta investigación son las siguientes, para la variable independiente está conformada por la voladura controlada, asimismo como variable dependiente está conformada por reducir la deficiencia.

En la operacionalización de variables se elaboró mediante la descomposición de todos los conceptos que conforman la investigación con la finalidad de hacerlo menos abstracto y hacerlo más útil para el proceso de investigación.

3.3. Población y muestra

Población: La población está conformada por todos los trabajadores que laboran en mina subterránea. Según Arias (2016), el conocimiento científico tiene una característica de generalidad, es por eso que sus resultados se extienden de manera es estos sean aplicables. La población es el conjunto ya sea finito o también infinito, conformada por objetos, personas, etc.

Muestra y criterios de selección: Está estructurada por los trabajadores que laboran en las galerías de mina subterránea. Para Arias (2016), cuando no se puede hacer el estudio de toda la población se acude a la selección de

una muestra, ya que es el subconjunto que representa a la población y que es más fácil realizar el estudio.

Criterio de inclusión: Los trabajadores que tienen más de tres años de experiencia en excavación y detonación en mina subterránea. Criterio de exclusión: Trabajadores no capacitados en perforación y voladura.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos fueron las siguientes, como primera técnica se aplicó el análisis documental, también se aplicó la técnica de la observación. Según Ñaupas (2018), la observación es una de las principales técnicas que se aplican para la investigación siendo la más antigua y la más confiable, la cual facilita la recopilación de datos. También se utilizó la técnica de la entrevista.

Asimismo, se indica los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron la guía de observación la cual se empleó con la finalidad de conocer los resultados que se obtiene mediante el uso de la voladura controlada, la disminución de la sobre rotura, dilución y perfiles lisas. La guía de entrevista la cual se utilizó el formato de cuestionario que se empleó para que sea respondida por trabajadores con experiencia en perforación en voladura en mina subterránea.

3.5. Procedimiento

Como primera etapa para el desarrollo de la investigación se aplicó la guía de observación para la recolección de datos que conforma los resultados generados por una optimización de la voladura controlada a través de los parámetros de la perforación y voladura.

Como segunda etapa para la recolección de datos se aplicó la guía de entrevista, siendo aplicado para trabajadores que laboran en minería subterránea con cierto grado de experiencia y así obtener información sobre el diseño de malla de perforación y voladura.

Para la tercera etapa se dio uso a la guía de observación para así recopilar los datos por los datos obtenidos a través del uso de la optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de microrretardo.

3.6. Método de análisis de datos

Método analítico: Ya que se realiza en base a la caracterización y apartamiento de los elementos de un todo que se estará investigando (objeto de investigación), haciendo un estudio minucioso de las partes que los conforman y la forma de cómo estos funcionan.

En cuanto al análisis y procesamiento de datos se utilizará el software SPSS en la cual nos ayudará a ordenar, analizar gráficos, considerando los diferentes tipos de investigación y descifrar la información recopilada teniendo como base los fundamentos teóricos.

3.7. Aspectos éticos

Considerando los parámetros de la Universidad Cesar Vallejo, objetivos y el ambiente de la indagación se ha considerado los siguientes valores éticos:

Honestidad: Es una cualidad que tienen las personas y una socialización con los fundamentos de la veracidad, equidad y honradez moral que antepone la franqueza en sus ideologías, palabras y ejercicios.

Respeto a la propiedad intelectual: Es el derecho que trata de sembrar la invención, creación y la transmisión tecnológica ordenando los mercados, facilitando la toma de medidas por el público consumidor.

IV. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra los resultados en forma ordenada y relacionada con los objetivos y criterios que permitieron procesar la información obtenida a través de los instrumentos empleados como la guía de observación y la guía de entrevista aplicada personas con experiencia. En base a nuestro primer objetivo sobre conocer los fundamentos del empleo de la voladura controlada en los avances de mina subterránea, a continuación, se indica los siguientes resultados.

Tabla 1. *Fundamentos del empleo de la voladura controlada*

Factores	Resultados
Voladura controlada	El corte que realiza la voladura controlada deja una superficie lisa.
Control de la dilución	Permite una voladura efectiva y selectiva.
Agrietamientos excesivos.	La voladura controlada permite el manejo de la energía para un mejor corte.

Fuente: Elaboración propia.

En el presente cuadro según los resultados obtenidos nos indican que la voladura controlada tiene como fundamentos la disminución de la dilución del mineral, así mismo los resultados de la voladura deja una superficie lisa y estable gracias a su manejo y control de la energía liberada por los explosivos.

Análisis de la optimización de la voladura controlada.

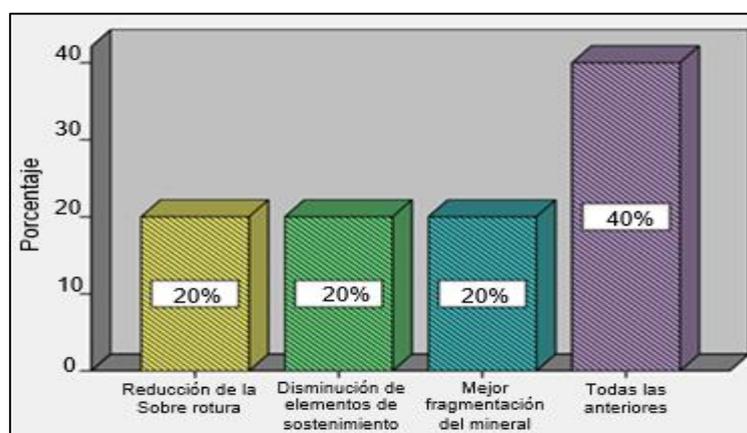


Gráfico 01. *Finalidad del empleo de la técnica de la voladura controlada.*

Fuente: Elaboración propia.

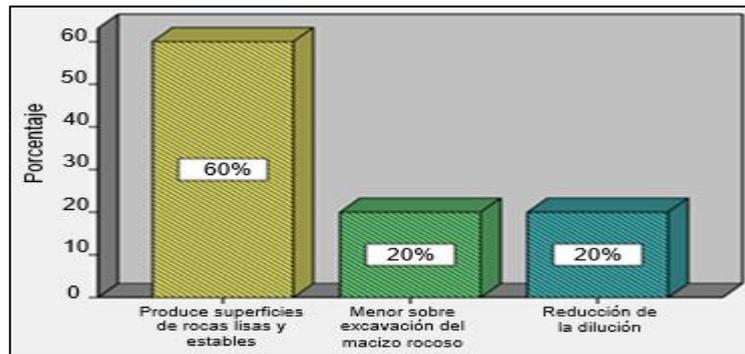


Gráfico 02. Condiciones óptimas que tiene la voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

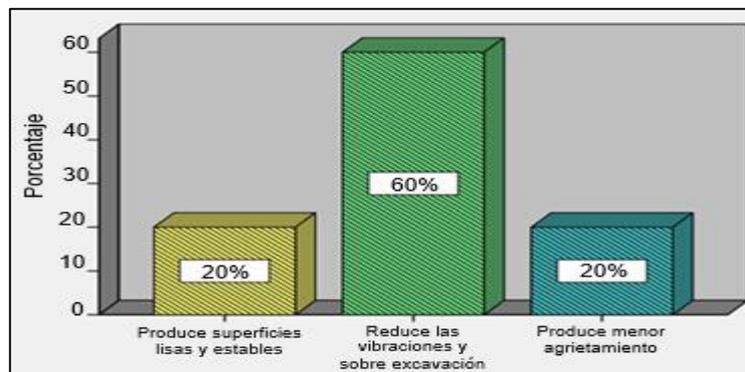


Gráfico 03. Ventajas de la voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos anteriores se puede observar que en su gran mayoría de los entrevistados respondieron, que al analizar la optimización de la voladura controlada da como resultado la reducción de la sobre rotura, menor sostenimiento y mejor fragmentación del mineral, y las condiciones óptimas que produce son rocas de superficie lisas y estables.

Diseño de malla de perforación y voladura.

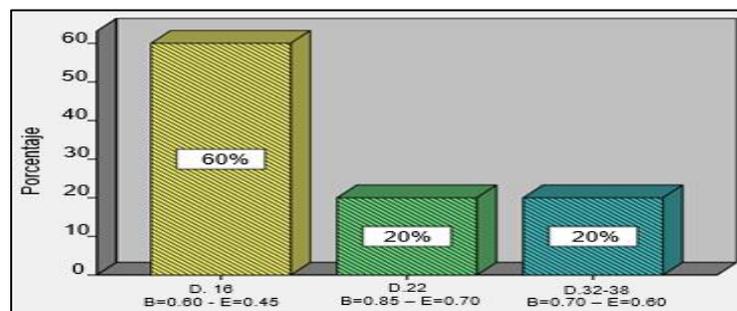


Gráfico 04. Relación burden y espaciamento para una malla de voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

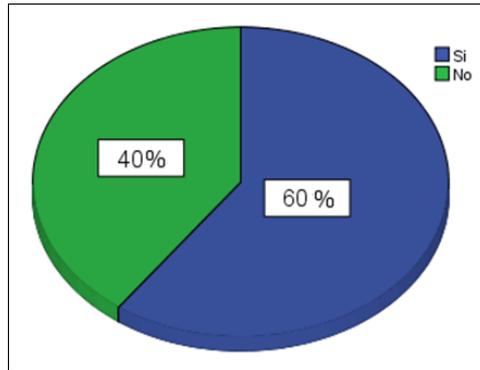


Gráfico 05. Estaría de acuerdo de utilizar la voladura controlada en mina subterránea.

Fuente: Elaboración propia.

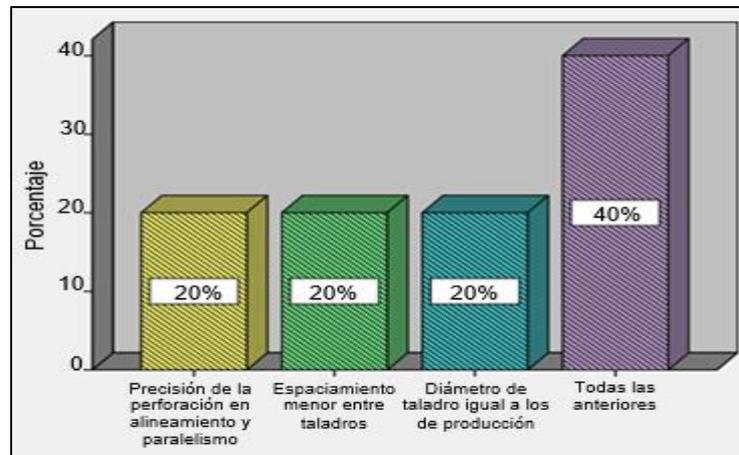


Gráfico 06. Condiciones necesarias de perforación para voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

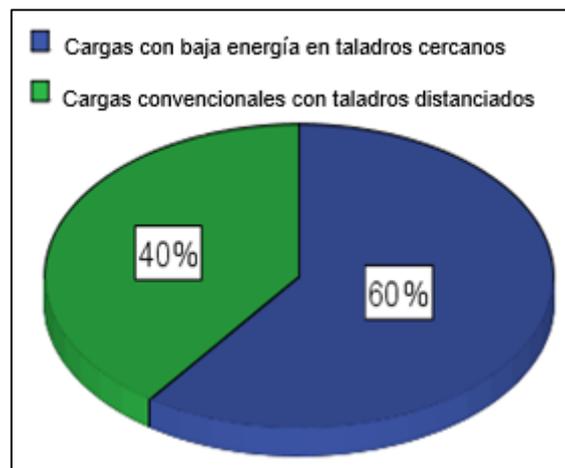


Gráfico 07. Recomendación cuando se presentan vibraciones.

Fuente: Elaboración propia.

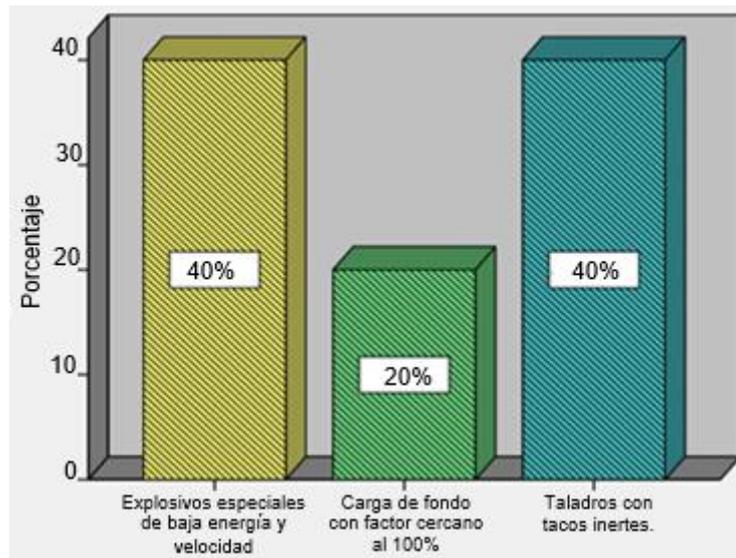


Gráfico 08. Condiciones de carguío para la voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

La entrevista que se realizó a los ingenieros con experiencia en el ámbito minero nos dio como resultado los gráficos anteriores y en su mayoría nos indica que para el reconocimiento del diseño de mala de perforación y voladura se tiene que tener en cuenta que el burden y espaciamento son menores, donde las condiciones necesarias para la perforación son el diámetro, espaciamento y precisión de los taladros, para luego ser cargados con explosivos donde recomiendan que sean cargas con baja energía en los taladros cercanos.

Análisis de la optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de microrretardo.

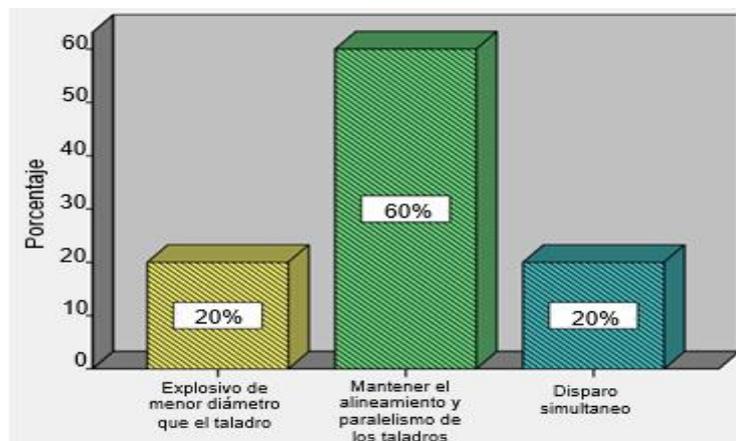


Gráfico 09. Optimización de voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

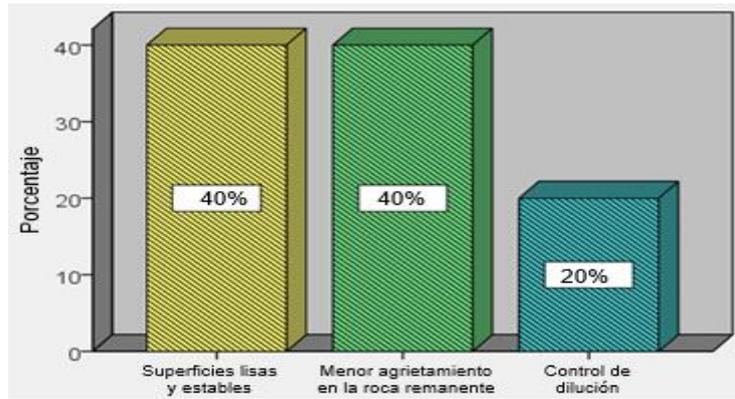


Gráfico 10. Indicadores de voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

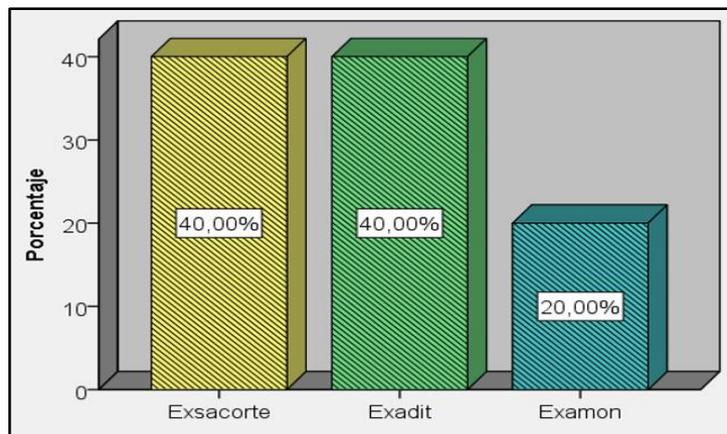


Gráfico 11. Tipos de detonadores para voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos anteriores se puede observar que los entrevistados en su mayoría dan como resultado que al analizar la optimización de la voladura controlada mediante el uso de detonadores con microrretardos se tiene que tener en cuenta en mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, así mismo recomiendan el uso de detonador Exacorte y Exadit para la voladura controlada dejando como indicadores las superficies lisas y estables con menor agrietamiento en la roca remanente.

V. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos se comprueba la hipótesis de la investigación que establece que al conocer los fundamentos del empleo la voladura controlada se podrá reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea, en vista que una voladura controlada tienen las ventajas de disminuir la dilución del mineral y reducir los costos de sostenimiento y esto concuerda en lo dicho por el autor Mendoza en Perú (2014) quien señala la optimización de la voladura controlada con el propósito de diseñar redes de excavación y detonación subterránea utilizando el algoritmo de R. Holmberg y Chiapetta, se mejora los patrones de las labores unitarias, reduciendo el costo, mayor rendimiento de perforación y voladura.

En base a los resultados del primer objetivo sobre el análisis de la optimización de la voladura controlada los resultados indica que existe la disminución de la sobre rotura por las menores vibraciones generadas y no produce la sobre excavación, asimismo impide hacer uso de elementos de sostenimiento por su superficie lisa y estable y esto se relaciona con lo dicho por el autor Lara en Perú (2013) en su investigación titulada “ Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura controlada en la Unidad Carahuacra de la Compañía Minera Volcan S.A.A”. Concluyó que para optimizar una voladura controlada se tienen que tener en cuenta el diseño de la malla de perforación y utilizar cápsulas con menor capacidad rompedora en las coronas para reducir las afecciones al macizo rocoso.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el gráfico 2 sobre las condiciones óptimas que tienen la voladura controlada que el 60% indican que la voladura controlada produce unas superficies lisas y estables en las paredes de la galería. Los resultados que se muestra en el gráfico 3 sobre las ventajas de la voladura controlada el 60% considera que reduce las vibraciones y la sobre excavación al ser comparado con el autor CRUZ (2018) en su investigación sobre el remplazo de la dinamita semexa 45% por la dinamita exsablock 45% con el fin de disminuir la dilución. Concluyo que la dinamita exsablock genera menos daño al macizo rocoso dejando una superficie lisa sin ocasionar mayores daños.

Dilución del mineral en E.C.M Comiluz SAC, Compañía Minera Marsa S.A.”. Con el objetivo de disminuir el exceso de la sobre dilución, asimismo tener un control en el minado de acuerdo a la potencia de la veta y disminuyendo el daño al macizo rocoso de las paredes. Concluyó que el costo del exsablock es de menor costo a comparación de la dinamita semexa, asimismo el exsablock produce menor dilución y una adecuada fragmentación del mineral.

Con respecto al diseño de malla de perforación y voladura los resultados obtenidos indica que las dimensiones del burden y espaciamiento es muy importante en el diseño de malla de perforación de esta manera se obtendrá una mejor voladura controlada y esto coincide con el autor Ortega y otros (2015) en su investigación titulada “Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina La Maruja” donde señala que para hacer un diseño de malla se tiene que hacer unas tablas geomecánicas basadas en el GSI y de acuerdo del material rocoso se hará una mejor distribución de los taladros burden y espaciamiento, de esta manera mejorar la producción y disminuir los gastos de explosivos en voladura.

En cuanto a la optimización de la voladura los entrevistados reconoce el empleo de detonadores con microrretardos, porque deja una superficie lisa y estable de esta manera reduciendo los gastos en sostenimiento, indicando algunos tipos de detonadores como el exsacorte, exadit y el examon que tienen menos vibraciones, coincidiendo con el autor Pierre (2018) y Tomas en Perú quienes dan a conocer sobre la fabricación de explosivos con detonadores eléctricos con microrretardos para voladura controlada a así optimizar las operaciones tener excelentes resultados.

VI. CONCLUSIONES

1. De acuerdo al conocimiento del empleo de la voladura controlada concluye que esto ayuda a reducir considerablemente la deficiencia en los avances de las operaciones en mina subterránea.
2. La voladura controlada contribuye de manera óptima a la reducción de la vibración evitando la sobreexcavación, produciendo menor agrietamiento en la roca remanente ayudando al auto-sostenimiento de las excavaciones.
3. Para el diseño de malla para una voladura controlada se debe tener en cuenta la relación entre burden y espaciamiento en la periferia que es menor a los de la voladura convencional.
4. El disparo de los taladros de corte periférico debe ser en dos o tres etapas de retardo muy cercanas, tomando en cuenta la velocidad pico de la partícula causada por el disparo que puede ocasionar daños severos a la roca remanente.

VII. RECOMENDACIONES

1. A la Universidad César Vallejo que establezca convenios con las empresas mineras para la realización de prácticas pre-profesionales en vista que son muy importantes para nuestra formación académica.
2. A los ingenieros de minas de la UCV que incorporen prácticas de laboratorio en el estudio geotécnico, para la ampliación de conocimientos de los estudiantes.
3. A los estudiantes de Ingeniería de Minas que sigan enfocándose en la investigación ya que es la base para adquirir nuevos conocimientos.

REFERENCIAS

ADEOLUWA, Oluwaseyi, NOA, Rafael y QUEVEDO, Gilberto. Caracterización estructural del macizo rocoso de la mina subterránea Oro Descanso. *Minería y Geología* [en línea]. Octubre-diciembre 2017, n.º 4. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2019].

Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122017000400007&lng=es&nrm=iso

ISSN: 1993-8012

ARIAS, Fidas. El proyecto de investigación introducción a la metodología científica [en línea]. 7.ª ed. Caracas: Editorial Episteme, 2016 [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2019].

Disponible en: https://kupdf.net/download/el-proyecto-de-investigacion-fidas-arias-7ma-edic-2016pdf_5a1b4afde2b6f5e526da642c_pdf

BEDON, Chiara [et al]. Advancements in design, analysis, and retrofitting of structures exposed to blast. *Hindawi* [en línea]. vol. 2016. Agosto 2016. [Fecha de consulta: 28 de setiembre de 2019].

Disponible en <https://www.hindawi.com/journals/ace/2016/1345478/>

ISSN: 1687-8086

CASTRO, Cristian. Modelamiento numérico de la dilución por sobre excavación en minería subterránea explotada por sublevel stoping. Tesis (Ingeniero civil de minas). Chile: Universidad de Chile, 2015.

Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133484>

CARBAJAL, Palmiro. Aplicación de la tecnología láser CAD en el mercado de mallas de perforación y voladura controlada para mejorar la fragmentación en la Compañía San Valentín-Huancavelica. Tesis (Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Académico Profesional de Ingeniería, 2018.

Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11056>

CHAVEZ, Frank. Metodología de perforación y voladura controlada en la construcción del Nivel 660, para evitar la sobre excavación en la Mina Acchilla,

U.E.A. Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, 2018. Tesis (Ingeniero de Minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2018.

Disponible en <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3358>

CHIPANA, Rudy. Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería progreso de la contrata minera Cavilquis Corporación Minera Anenea S.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2015.

Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1937>

CRUZ, Evert J. Reemplazo de dinamita semexa 45% 7 7/8" por dinamita exsablock 45% 7 7/8 según condiciones geomecánicas de la veta Esperanza R.T. para tajos con cara libre concertante a un tipo de roca mala, con el fin de reducir la sobre dilución del mineral en E.C.M Comiluz SAC, Compañía Minera Marsa S.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2018.

Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11049>

DAMBOV, Risto. DANEVO, Nikolinka y HADZI-NIKOLOVA, Mirija. Some methodological drilling: Blasting parameters in the excavation of tunnel. *Underground Mining Engineering* [en línea]. Vol. 2017. Octubre-diciembre 2017. [Fecha de consulta: 27 de setiembre de 2019]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/322646710_Some_methodological_drilling_Blasting_parameters_in_the_excavation_of_tunnel
ISSN: 0354-2904

DIÉGUEZ, Yoandro, OTAÑO, Noguel y SARGENTÓN, Gilberto. Diseño de voladuras de contorno en túneles. *Minería y Geología*. [en línea]. v.30, n.º3. Julio-setiembre 2014 [Fecha de consulta: 25 de setiembre de 2019].

Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223532481004.pdf>

ISSN: 0258-8959

EL delicado arte de la voladura controlada de Famesa Explosivos [Mensaje en un blog]. Lima: Revista Energiminas, (30 de abril de 2018). [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2019] Recuperado de <https://www.energiminas.com/el-delicado-arte-de-la-voladura-controlada-de-famesa-explosivos/>

EXSA. Manual práctico de voladura [en línea]. 5.^a ed. Lima: 2019. [Fecha de consulta: 02 de noviembre de 2019]. Disponible en <https://www.minerosunsa.com/2019/10/manual-practico-de-voladura-exsa-5ta.html>

FAMESA Explosivos. Manual de perforación y voladura. Lima: Famesa Explosivos S.A.C., 2019. 490 pp.
ISBN: 978-612-481001-5

GERING, S [et al]. Drill and blast implementation case study at multiple freeport-McMoRan sites. *Mining Engineering* [en línea]. Mayo 2017. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2019].
Disponible en <https://hexagonmining.com/-/media/Files/HexagonMining/News/MEMagazineArticleMay2017.ashx>
ISSN: 0026-5187

GUAN, Xiaoming [et al]. Tunnel millisecond delay controlled blasting based on the delay time calculation method and digital electronic detonators to reduce structure vibration effects. *PlosONE*. [en línea]. Marzo 2019. [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2019].
Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0212745>
ISSN: 1932-6203

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, y BAPTISTA, María del Pilar. Metodología de la Investigación [en línea]. 5.^a ed. México: MsGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2010 [fecha de consulta: 12 de noviembre de 2019]. Disponible en https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
ISBN: 978-607-15-0291-9

HUANG, Dan [et al]. Experimental and numerical investigation of blast-induced vibration for short-delay cut blasting in underground mining. *Hindawi* [en línea]. Vol.2019. Marzo-agosto 2019. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2019].
Disponible en <https://www.hindawi.com/journals/sv/2019/5843516/>

ISSN: 1070-9622

LARA, Oscar. Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura controlada en la Unidad Carahuacra de la Compañía Minera Volcan S.A.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de ingeniería de Minas, 2013.

Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2173?show=full>

LÓPEZ, Carlos. Manual de perforación y voladura de rocas. 3ª ed. España: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 2014. 541 pp.

ISBN: 8478401644

LÓPEZ, Jim, Voladura de rocas con ANFO para optimizar avances en labores subterráneas de Compañía Minera Casapalca S.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, 2019.

Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5139>

LOZA, Robert. Aplicación del método de Holmberg para el mejoramiento de la malla de voladura en la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, 2013.

Disponible en <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2453>

LI, Jian-guo, ZHAN, Kai, Intelligent Mining Technology for an Underground Metal Mine Based on Unmanned Equipment, *Elsevier* [en línea]. Vol. 4, n.º 3. 19 de mayo 2018. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2019]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307853>

ISSN 2095-8099,

MENDOZA, Norma. Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraiso-Ecuador. Tesis (Ingeniería de Minas). Huncayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, 2014.

Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1339>

MOLINA, Jorge y RINCÓN, Juan. Mejoramiento del arranque mediante el control de las desviaciones de perforación, caso mina “El Roble”, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra* [en línea]. Mayo 2017 [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2019].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n42/0120-3630-bcdt-42-00045.pdf>
ISSN: 0120-3630

ÑAUPAS, Humberto, VALDIVIA, Marcelino, PALACIOS, Jesús J. ROMERO, Hugo E. Metodología de la investigación cuantitativa – cualitativa y redacción de la tesis [en línea]. 5.ª ed. Bogotá: Ediciones de la U., 2018 [fecha de consulta: 19 de octubre de 2019].

Disponible en: <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>

ISBN: 978-958-762-876-0

ORTEGA, Camilo [et al]. 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 [Fecha de consulta: 30 de octubre 2019].

Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0120-3636302016000200004&Ing=es&nrm=iso&tIng=es.

PALOMINO, Henry. Optimización del proceso de perforación y voladura en las labores de desarrollo para mejorar la eficiencia en Compañía Minera Poderosa S.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas, 2016.

Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5348>

PEARTON, S.P. The application of pumpable emulsions in narrow-reef stoping. *Platinum conference papers* [en línea]. Vol.115, n.º 6. junio 2015. [Fecha de consulta: 02 de noviembre de 2019].

Disponible en http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532015000600008

ISSN: 2411-9717

ROMERO, Royer. Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. Tesis (Ingeniería de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, 2016. Disponible en https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_16a75f50b6c19f8d0f3c7cb4310adb6b

RUIZ, Trinidad. Reducción de costos usando espaciadores de agua en emplazo de carrizo y cordón detonante en la voladura controlada de la Mina Marsa-Retamas 2017. Tesis (Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, 2017. Disponible en https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIT_2507bbd38ebfe380479b0056e227c73b

SARGENTÓN, Gilberto. Diseño de voladuras de contorno por recorte con cordón detonante de alto gramaje en la excavación de túneles. *Minería y Geología* [en línea]. Vol.34, n.º 4. 2018. [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2019] Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1993-80122018000400002&lng=es&nrm=iso
ISSN: 1993-8012

SERIN, Roger. Reducir el porcentaje de dilución, mediante voladura controlada en los tajos de producción en la Mina Marsa-Retamas. Tesis (Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, 2017. Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10026>

SILVA, Edward. Mejoramiento de los indicadores de perforación y voladura mediante la aplicación de tecnología de diseño laser en el marcado de mallas y voladura controlada en los frentes de avance de la mina Consuelo - Unidad de Producción Maraón de la Compañía Minera Poderosa S.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional, 2017. Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10028>

SULCACONDOR, Misara. Optimización de operaciones unitarias de perforación y voladura mediante voladura controlada en labores horizontales en la CIA Minera

Poderosa S.A. Tesis (Título en Ingeniería de Minas). Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, 2018.

Disponible en <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3264>

TAIPE, José y MARCAÑAUPA, Demecio. Implementación de un nuevo diseño de malla de perforación y voladura en frentes de avance, en la mina San Cristobal de la CIA. Minera Bateas S.A.C. Tesis (Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, 2015.

Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2177>

TOMAS, Marlon y PIZARRO, Edwin. Optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de microrretardo en explotaciones mineras subterráneas en Consorcio Minero Horizonte S.A. Tesis (Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, 2015.

Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1348>

UYAGUARI, Wilson. Diseños de mallas de perforación y voladura basado en clasificaciones geomecánicas para la optimizar el consumo de sustancias explosivos en las galerías del nivel 2 ½ del Proyecto Minero EL Inca. Tesis (Ingeniero en Geología y Minas). Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2018.

Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/xmlui/handle/20.500.11962/22126?locale-attribute=en>

VILCA, Yhonny. Voladura controlada y reducción porcentual de dilución y costos en tajeo con uso de exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A. – 2019. Tesis (Ingeniero de Minas). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2019.

Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12914>

WANG, Yixian. [et al]. Blast induced crack propagation and damage accumulation in rock mass containing initial damage. *Hindawi* [en línea]. V. 2018. Enero-junio 2018. [Fecha de consulta: 08 de octubre de 2019].

Disponible en <https://www.hindawi.com/journals/sv/2018/3848620/>

ISSN: 1070-9622

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Voladura controlada	La voladura controlada es aplicada mediante el empleo de carga explosiva lineal y de baja energía con la finalidad de reducir la sobre excavación y ocasionar daños al macizo rocoso (Vilca 2019).	Los datos se recolectaron mediante el uso del instrumento de la guía de entrevista, donde se entrevistó a operadores de mina subterránea con años de experiencia.	Geomecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Características del macizo rocoso 	<ul style="list-style-type: none"> • Ordinal
			Diseño de malla de perforación y voladura	<ul style="list-style-type: none"> • Número de taladros • Espaciamiento • Arranque 	<ul style="list-style-type: none"> • Nominal • Razón • Nominal
Dependiente: Reducir la deficiencia	Para medir la reducción de la deficiencia se realiza a través de cuadros estadísticos, pero para lograr los resultados se debe ajustar los parámetros de perforación y voladura para tener menos sobrerotura en las galerías (Palomino 2016).	Para la obtención de los datos sobre se aplicó los instrumentos de la guía de entrevista y la guía de observación de campo sobre la reducción de la deficiencia en la perforación y voladura.	Perforación	<ul style="list-style-type: none"> • Desviación de los taladros • Paralelismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo • Razón
			Voladura	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de carga • Factor de potencia • Secuencia de disparo 	<ul style="list-style-type: none"> • Razón • Razón • Ordinal

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 2	
 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Guía de entrevista para la voladura controlada en mina subterránea
Voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea.	

Cod: E-04 Hora de inicio: 14:00 Hora de término: 14:20

Lugar: Trujillo Fecha: 22-11-19

A. ¿Cuál es la finalidad del empleo de la técnica de la voladura controlada, indicar en las siguientes alternativas?

- 1) Reducción de la sobre rotura.
- 2) Disminución de elementos de sostenimiento.
- 3) Mejor fragmentación del mineral.
- 4) Todas las anteriores.

B. De las alternativas presentadas que condiciones óptimas tiene la voladura controlada.

- 1) Produce superficies de rocas lisas y estables.
- 2) Menor sobre excavación del macizo rocoso.
- 3) Reducción de la dilución.

C. ¿Cuáles son las ventajas de la voladura controlada?

- 1) Produce superficies lisas y estables.
- 2) Reduce las vibraciones y sobreexcavaciones.
- 3) Produce menor agrietamiento.

D. ¿Cuál es la relación entre el burden y espaciamiento para una malla de voladura controlada?

- 1) D. 16 B=0.60 – E=0.45
- 2) D. 22 B=0.85 – E=0.70
- 3) D. 32-38 B=0.70 – E=0.60

E. ¿Estaría de acuerdo de utilizar la voladura controlada en mina subterránea?

- 1) Si
- 2) No

F. ¿Cuáles son las condiciones necesarias de perforación para una voladura controlada?

- 1) La precisión de la perforación es fundamental, tanto por alineamiento como por paralelismo de los taladros.
- 2) El espaciamiento entre taladros debe ser menor que el de la voladura convencional.
- 3) El diámetro de los taladros de contorno es igual a los de producción.
- 4) Todas las anteriores.

G. En el momento de la ejecución de la voladura durante el proceso de minado, se presentan diversas vibraciones que generan daño a la estructura del macizo rocoso, por ello que se recomienda:

- 1) Cargas explosivas lineales con baja energía en taladros muy cercanos.
- 2) Cargas explosivas convencionales con taladros más distanciados.

H. ¿Cuáles son las condiciones necesarias de carguío para la voladura controlada?

- 1) Explosivos especiales de baja energía y velocidad.
- 2) Se requiere una carga de fondo con factor de acoplamiento cercano al 100%.
- 3) Es necesario llenar los taladros con tacos inertes para contener los gases.

I. Para realizar una buena optimización de la voladura controlada se recomienda.

- 1) Explosivo de menor diámetro que el taladro.
- 2) Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros.
- 3) Disparo simultáneo.

J. ¿Qué indicador o señal le ayudaría a usted como experto reconocer que existe una voladura controlada?

- 1) Superficies lisas y estables.
- 2) Menor agrietamiento en la roca remanente.
- 3) Control de dilución.

K. ¿Qué tipos de detonadores usted recomienda para una voladura controlada.

- 1) Exsacorte.
- 2) Exadit.
- 3) Examon.

ANEXO N° 3



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Guía de observación para la voladura controlada en mina subterránea

Voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea.

Nombre del observador: Estela Yamena Kenji

Hora de inicio: 09:00 Hora de término de observación: 12:00

Fecha: 09-11-19

GUÍA DE OBSERVACIÓN

	si	no	Observaciones
La voladura controla permite la optimización de la producción.	X		Al realizar un corte liso se reduce el volumen de escombros para limpieza y se reduce costos.
Disminuye el control de dilución la voladura controlada.	X		Permite una voladura eficiente y selectiva.
Hace uso de detonadores con microrretardos.	X		
Las labores en general poseen agrietamientos excesivos.		X	La voladura controlada permite el manejo de la energía por realizar un corte liso
Se diseña una malla de perforación específicamente para la voladura controlada.		X	
La carga explosiva lineal es distribuida por todo el largo del taladro.	X		
El diámetro del explosivo es menor que el diámetro del taladro.	X		Se requiere cartuchos de diámetro pequeño para un eficiente corte.