



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada para la optimización del proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7- Chongoyape

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero de Minas

AUTOR:

Br. Acaro Yzquierdo Tomi Yerson (ORCID: 0000-0003-1804-432X)

ASESOR:

Mg. Salazar Ipanaqué Javier Ángel (ORCID: 0000-0002-7909-6433)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Perforación y Voladura de Rocas

Chiclayo – Perú

2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a mis padres, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que está conmigo siempre y aunque nos faltan muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es tan especial para él como lo es para mí. A mis hermanos, tíos y abuelos a quienes estimo bastante, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestos a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

Tomí Yerson

Agradecimiento

Este proyecto es el resultado del esfuerzo en conjunto de todos los que formamos parte para su desarrollo desde el inicio hasta su culminación. Por tal motivo agradezco a la empresa y su gerente general, Dr. Guillermo Barba Fernández, quien a lo largo de este tiempo ha puesto su confianza en mi persona y ha probado mis capacidades y conocimientos en el desarrollo de este proyecto de investigación el cual ha finalizado llenando todas las expectativas que creíamos alcanzar. A mis profesores, quienes a lo largo de toda mi formación académica me han apoyado y motivado a ser el mejor. A mis asesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Tomí Yerson

1040



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 09:00 horas del día 24 de febrero de 2020 de acuerdo a lo dispuesto por la Resolución de Dirección de Investigación N° 020-20/UCV-CH, de fecha 24 febrero 2020, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis "EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7 - CHONGOYAPE", presentada por el Bach. ACARO IZQUIERDO TOMMY YERSON con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero de Minas, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

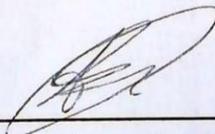
- Presidente: Mg. Orlando Alex Siccha Ruiz
- Secretario: Mg. Javier Ángel Salazar Ipanaqué
- Vocal: Mg. Jorge Omar Gonzales Torres

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

Aprobado por unanimidad

Siendo las 09:50 horas del mismo día, se dió por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

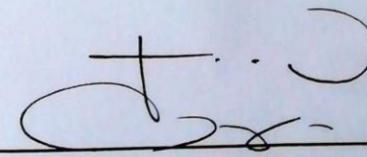
Chiclayo, 27 febrero 2020


Mg. Orlando Alex Siccha Ruiz

Presidente


Mg. Javier Ángel Salazar Ipanaqué

Secretario


Mg. Jorge Omar Gonzales Torres

Vocal

Declaratoria de autenticidad

Yo, Acaro Yzquierdo Tomi Yerson, identificado con el DNI 76346716, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, autor de la Tesis la cual lleva como título “Evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada para la optimización del proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape”, declaro lo siguiente:

El contenido de esta tesis es original, es el resultado de trabajo diario, no ha sido imitado, se usaron ideas, formulaciones, imágenes etc., propias del autor. Se ha empleado contenido importante el cual se ha extraído de libros e incluso de otros proyectos de tesis, los cuales han sido citados según los derechos del autor.

Considerando lo anterior soy responsable de que el hecho de no respetar los derechos de autor y el hacer copia, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que tomo cualquier responsabilidad que pudiese haber con respecto a esta tesis.

De tal modo, me hago responsable ante la Universidad o terceros, de cualquier anomalía que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado.

Chiclayo, 12 de Julio del 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Tomi Yerson Acaro Yzquierdo', is written over a horizontal line.

FIRMA

DNI: 76346716

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Índice	vi
Índice de figuras	viii
Índice de tablas.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.1.1. Nivel internacional	2
1.1.2. Nivel nacional.....	4
1.1.3. Nivel local	5
1.2. Trabajos previos	7
1.2.1. Nivel internacional	7
1.2.2. Nivel nacional.....	10
1.2.3. Nivel local	13
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	13
1.3.1. Ciencias.....	13
1.3.2. Teoría de la variable independiente.....	15
1.3.3. Teorías de la variable dependiente	25
1.3.4. Marco legal	34
1.3.5. Estado del arte.....	35
1.3.6. Impacto ambiental	35
1.3.7. Seguridad y salud ocupacional.....	35
1.3.8. Gestión de riesgos y prevención de desastres	36
1.3.9. Definición de términos	36
1.4. Formulación del problema	38
1.5. Justificación.....	38
1.6. Hipótesis	39
1.7. Objetivos.....	40
1.7.1. General	40
1.7.2. Específicos.....	40
II. MÉTODO	41
2.1. Tipo y diseño de investigación	41
2.2. Operacionalización de variables	41

2.2.1.	Variable independiente	41
2.2.2.	Variable dependiente	41
2.3.	Población, muestra y muestreo	43
2.3.1.	Población	43
2.3.2.	Muestra	43
2.4.	Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	43
2.4.1.	Técnica de recolección de datos	43
2.4.2.	Instrumento de recolección de datos	44
2.4.3.	Validez y Confiabilidad.....	44
2.5.	Procedimiento	45
2.5.1.	Diagrama de procesos.....	45
2.5.2.	Descripción de los procesos	45
2.5.3.	Normativa	48
2.6.	Método de análisis de datos	49
2.7.	Aspectos Éticos	49
III.	RESULTADOS	51
3.1.	Selección de la emulsión gasificada adecuada que optimice el proceso de voladura de rocas.....	51
3.2.	Realización de las pruebas de voladura de rocas teniendo en cuenta los criterios técnicos	57
3.2.1.	Características del macizo rocoso	57
3.2.2.	Diseño de la malla de perforación.....	60
3.2.3.	Explosivo y accesorios de uso estándar	61
3.2.4.	Resultados de la voladura de rocas.....	61
3.2.5.	Cálculos técnicos para la voladura	62
3.2.6.	Diseño de carga.....	65
3.2.7.	Velocidad de detonación	67
3.2.8.	Presión de detonación.....	69
3.3.	Comparación de los costos de voladura de la emulsión gasificada con respecto al explosivo que se usa en la mina Santa Clotilde 7	70
IV.	DISCUSIÓN	73
V.	CONCLUSIONES.....	75
VI.	RECOMENDACIONES	76
	REFERENCIAS	77
	ANEXOS	83
	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS.....	92
	REPORTE TURNITIN.....	93
	AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV.....	94
	AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	95

Índice de figuras

Figura 1: Mapa geológico de la Mina Santa Clotilde 7.....	6
Figura 2: Galería producto de la voladura de rocas.....	7
Figura 3: Componentes del estudio técnico.	16
Figura 4: Medida continua de la velocidad de detonación en barreno	22
Figura 5: Curvas de densidad de una emulsión en función de la profundidad de los barrenos en condiciones secas	23
Figura 6: Precios comparativos de los explosivos industriales	31
Figura 7: Selección del explosivo según sus propiedades geomecánicas de los macizos rocosos establecidos por Brandy y Brown en 1985.....	33
Figura 8: Datos ingresados en el software Geotable (muestra 1 - testigo 1).....	58
Figura 9: RMR (muestra 1 - testigo 1)	58
Figura 10: Datos ingresados en el software Geotable (muestra 1 - testigo 2).....	59
Figura 11: RMR (muestra 1 - testigo 2)	59
Figura 12: Malla de perforación de la mina Santa Clotilde 7.....	60
Figura 13: Registro de la velocidad de detonación del EMULNOR 3000.....	67
Figura 14: Registro de la velocidad de detonación del Emulex 65	68
Figura 15: Registro de la velocidad de detonación de la DETONITA 3000.....	68

Índice de tablas

Tabla 1: Composición típica de una emulsión explosiva	20
Tabla 2: Dimensiones de los oxidantes en los explosivos.....	20
Tabla 3: Clases de humos (Institute of makers of explosives. EE.UU.).....	24
Tabla 4: Normativa técnica para el uso de explosivos	47
Tabla 5: Selección del Emulnor según el tipo de roca.....	51
Tabla 6: Características técnicas del EMULNOR según el tipo de roca.....	52
Tabla 7: Selección del Emulex según el tipo de roca.....	53
Tabla 8: Características técnicas del EMULEX según el tipo de roca.....	54
Tabla 9: Selección de la Detonita según el tipo de roca.....	55
Tabla 10: Características técnicas de la DETONITA según el tipo de roca.....	56
Tabla 11: Resultado de laboratorio del ensayo de compresión simple.....	57
Tabla 12: Características del macizo rocoso	60
Tabla 13: Detalles de Perforación y voladura	61
Tabla 14: Densidad de carga explosiva de la dinamita semexsa 65.....	62
Tabla 15: Densidad de carga explosiva del Emulnor	63
Tabla 16: Densidad de carga explosiva del Emulex.....	63
Tabla 17: Densidad de carga explosiva de la Detonita.....	63
Tabla 18: Datos de los cartuchos.....	64
Tabla 19: Número de cartuchos por emulsión.....	64
Tabla 20: Distribución de carga de las emulsiones según el tipo de roca	65
Tabla 21: Distribución de carga del explosivo estándar que se usa en la mina Santa Clotilde 7	66
Tabla 22: Factor de Potencia de las emulsiones	66
Tabla 23: Cuadro económico comparativo del Emulex y la Dynamita.....	70
Tabla 24: Cuadro económico comparativo del Emulnor y la Dynamita	71
Tabla 25: Cuadro económico comparativo de la Detonita y la Dynamita.....	72
Tabla 26: Diferencia del total de costos de voladura por periodos.....	72

RESUMEN

El presente informe de investigación tuvo por finalidad realizar la evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada para la optimización del proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape.

La investigación surgió de la observación de un problema vinculado al uso empírico de la dinamita sin tomar en cuenta las propiedades técnicas del explosivo, para dicha investigación se buscó trabajar con una muestra que estuvo conformada por la galería 322 y la utilización de 3 tipos de emulsiones diferentes en la voladura de rocas pertenecientes a la mina Santa Clotilde 7 ubicada en Chongoyape utilizando como tipo de investigación cuantitativa con el diseño no experimental descriptivo transversal. Así mismo, para el recojo de información se utilizaron métodos como es el método analítico y sistémico también técnicas como la observación y el análisis documental junto a su instrumento empleado como la guía de observación, además, se utilizó el software Geotable y el Micro Trap. Toda esta metodología le da a este informe de investigación el respaldo, sustento y seriedad respectiva.

Finalmente, se obtuvo como resultado que la emulsión emulnor 3000 es la que tuvo mayor velocidad de detonación y produjo una mejor voladura en cuanto a la fragmentación y la reducción de costos, todos estos resultados se presentan por medio de tablas e imágenes enumeradas, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis de que si se realiza la evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada, se optimizará el proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape. Todo este trabajo permitió concluir que la evaluación técnica realizada por medio del uso de la emulsión, indica que sus propiedades explosivas optimizan el proceso de voladura de rocas cuyo efecto se encuentra reflejado en la reducción de costos y la fragmentación de la roca.

Palabras Clave: Emulsión, Voladura de rocas, Evaluación Técnica, Explosivo

ABSTRACT

The objective of this research report was to carry out the technical evaluation of the use of the gasified emulsion for the optimization of the rock blasting process in the Santa Clotilde 7-Chongoyape mine.

The investigation arose from the observation of a problem related to the empirical use of dynamite without taking into account the technical properties of the explosive, so this research focuses on a sample composed of gallery 322 and the use of 3 types of Santa Claus. Clotilde 7 emulsions located in Chongoyape as a type of quantitative research with a non-experimental descriptive transversal design. Likewise, for the counting of information, methods such as the analytical and systemic method are also used, such as observation and documentary analysis together with the instrument used as an observation guide, in addition, the Geotable software and the Micro Trap. All this information is based on a research report on the respective support, sustenance and seriousness.

Finally, we obtained as a result that emulsion 3000 emulsion was the one that had the highest detonation speed and produced a better explosion in terms of fragmentation and cost reduction, all these results are presented in the middle of the tables and images listed, each one With the results of the analysis that contributed to obtain the hypothesis that the technical evaluation of the use of the gasified emulsion is made, the blasting process of the rocks in the Santa Clotilde 7-Chongoyape mine will be optimized. All this work has to do with the result. The evaluation. The technology.

Keywords: Emulsion, Rock Blasting, Technical Evaluation, Explosive

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Los explosivos evolucionan constantemente; desde un inicio rudimentario hasta haber alcanzado un alto grado tecnológico, ya sea basada en la investigación técnica o por los adelantos de la ciencia ya que se ha logrado fabricar explosivos de alta generación que mejora la voladura de rocas y a la vez optimiza la explotación de los recursos mineros.

La evaluación de la voladura es importante ya que de esta manera se puede estudiar y analizar la acción que ejercen los explosivos, teniendo en cuenta los mecanismos de rotura, las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, aquellos modelos que predicen la fragmentación, y las técnicas de evaluación de la misma. Sin embargo, sin ser una ciencia exacta la mayor influencia es dada por la observación y la mejora continua.

Por lo tanto, de acuerdo con las indagaciones y las observaciones efectuadas, se ha encontrado que el problema radica en la constante utilización de explosivos tradicionales, la cual muchas veces se realiza de forma empírica sin un procedimiento técnico que permita guiar algunos procesos como son el transporte, la manipulación y principalmente la operación para el uso de las voladuras en los frentes de avance de la mina subterránea.

En vista que no se tiene en cuenta parámetros que rijan conocer los diferentes elementos que constituyen la práctica de voladuras, se plantea la utilización del uso de la emulsión gasificada para reducir costos y simplificar la técnica, mejorando y optimizando la extracción de los recursos mineros dejando atrás el uso excesivo de anfo y la dinamita.

De esta manera, el estudio evaluará técnicamente el uso de la emulsión gasificada cuyo proceso es complejo, ya que las condiciones físicas en las que se va a llevar a cabo son variables en cuanto a la satisfacción de ciertos criterios que también varían. Muchas veces se trata de criterios técnicos en cuanto a las características que presenta el macizo rocoso, así mismo presentan criterios económicos que tienen como base su propia

naturaleza y que está influenciada por el mercado. La base para planificar la construcción de una labor de acceso subterráneo es conocer el proceso de voladura y el uso correcto de explosivos, pero, esto muy pocas veces sucede. Por este motivo se piensa que es necesario realizar una comparación de las diferentes emulsiones gasificadas la cual pueda determinar la mejor evaluación técnica de cada una de ellas.

Para esto se debe realizar algunos cambios que puedan mejorar la calidad y el uso que se les da a los explosivos, es decir, estos cambios deben estar direccionados hacia un objetivo de aplicación de los diferentes mecanismos técnicos cuyo principio es mejorar los procesos operativos en cada voladura que se realice. Ante este problema se identifica la importancia de realizar el presente trabajo de investigación, el cual determinará esos factores que tienen mayor incidencia, cuyo fin es optimizar el proceso de voladura.

1.1.1. Nivel internacional

Bernaola, Castilla y Herrera (2003). Afirma que: La perforación y voladura son operaciones unitarias que necesitan de una constante mejora continua, esto involucra emplear nuevas tecnologías de tal forma que genere un impacto positivo en la optimización de la producción. Sin embargo, actualmente a nivel mundial se manifiesta la ausencia de estas nuevas tecnologías en la pequeña minería, debido a que están limitadas a ciertos factores, que en su gran mayoría son económicos, es por esto que muchas empresas mineras optan por utilizar máquinas, equipos, herramientas y accesorios tradicionales, que con el pasar de los años se siguen utilizando de generación en generación.

Vega (2015). Manifiesta que: En estudios internacionales también se aplica explosivos basados en emulsiones por la cual se tiene en cuenta una serie de parámetros técnicos en cuanto a dimensiones, densidades y cantidad de producción. Teniendo en cuenta estos datos se busca la manera de optimizar la fragmentación de acuerdo al resultado de la voladura en la cual se utilizan tres emulsiones de distintas densidades. También se puede identificar que en Sudáfrica se tiene en cuenta un monitoreo el cual si se realiza de manera óptima tiene mucha influencia en los resultados, teniendo en cuenta este caso

las dimensiones del cartucho de la emulsión es la que influye en el avance y la producción.

Aguirre (2006). Realiza una comparación entre explosivos tradicionales y los de avanzada tecnología afirmando que: A comparación de los explosivos tradicionales existen otros que se encuentran en una escala tecnológicamente competente, el problema radica, en su aplicación, que al tener costos técnicos elevados su utilidad prioritaria es la gran minería, sin embargo, si se tratase de yacimientos de muy alta ley y de un mineral de demanda económica, se pudiese utilizar en temas de optimización de acuerdo a una evaluación técnica-económica. Es decir, estos explosivos no están totalmente limitados, ya que su propósito es reducir el tamaño de la fragmentación en las voladuras y por lo tanto esto puede generar un mayor desempeño en los siguientes procesos, principalmente el de la conminución.

Aduvire H, Aduvire O y López (1994). Afirman que: Los países latinoamericanos que se dedican a la industria minera, principalmente Chile, Colombia, Ecuador y Perú, actualmente aún conservan ese nivel empírico al momento de realizar sus operaciones unitarias, cómo es la perforación manual y la voladura través del uso de explosivos tradicionales como la dinamita y el anfo, pero conforme el tiempo pasa, se introduce nuevas técnicas y nuevos elementos en el ámbito de la voladura, para obtener una fragmentación de calidad en conjunto con una reducción de costos moderada en cuanto a nivel de producción.

Morillo (2015). Afirma que: Ecuador es un país minero que refleja la realidad de muchas empresas mineras en el mundo que evaden una problemática de gran magnitud la cual se produce por la voladura de rocas y afecta directamente al ser humano que se encuentra expuesto a la emisión de estos gases tóxicos. La voladura de rocas a través de explosivos tradicionales, generan gases muy nocivos; que dependiendo el explosivo que se use, su duración y toxicidad varía. En su mayoría, minas localizadas en cualquier parte del mundo no cuentan con sistemas de prevención por lo que se busca soluciones en las cuales la elección del explosivo adecuado es una forma de contribución ecológica para reducir la emisión de gases.

1.1.2. Nivel nacional.

Guerra (2013). Afirma que: Datos estadísticos en cuanto a la variación de precios de los explosivos convencionales principalmente del nitrato de amonio según Weekly Fertilizer Report es que, existe una gran demanda de estos explosivos, esto se da por el alza del precio de los componentes principales y por el desarrollo que tienen las empresas mineras a nivel del mundo, ya que obligan a la empresa nacional que fabrica todo tipo de explosivos a encontrar solución ante este tipo de problema, es por esto que la empresa Famesa Explosivos, durante un tiempo de investigación innova un nuevo explosivo gasificable al que nombra como SANG y Emulfrang que es utilizada para minería superficial y subterránea.

Medina (2014). Afirma que: Cuando ingresa tecnología reciente a la operación de voladura es para que esta funcione como estrategia para la reducción de costos, es decir, se aprovechan las propiedades que tiene el explosivo para reducir el factor de carga, y por ende el costo total por tonelada fragmentada. Al realizarse estudios comparativos se puede asumir que las empresas explosivas buscan cubrir las demandas cuyos productos presentan una buena calidad y mantienen precios económicos, por esta razón se introduce la emulsión gasificada que tiene que desempeñar un trabajo eficiente a cualquier condición sobre un macizo rocoso la cual deba generar una buena fragmentación sin producir gases tóxicos y a bajos costos por tonelada fragmentada.

León (2013). Sostiene que: El generar gases nocivos en la voladura de rocas es problema que frecuente en las minas del Perú sobre todo en aquellas que representan la minería informal e ilegal. De esta manera se opta por la utilización de tecnología explosiva cuya finalidad será la de mitigar los gases nocivos para así poder evaluar las consecuencias que estas puedan traer. Se tiene en cuenta la emulsión gasificable en cuanto a la voladura ya que la concentración de gases es casi nula, sin embargo, se tiene que tener un estudio de factibilidad para poder utilizar este explosivo. Al existir la presencia de estas anomalías en cuanto a la coloración de los gases, muchas veces se da por la presencia de agua que pueda existir en los taladros de voladura por lo que se puede comprobar la eficacia de una emulsión gasificable en estas realidades, para esto se necesita evaluar sistemáticamente el desempeño que pueda tener el

explosivo respecto a este problema y así mismo nutrir el proyecto con conceptos de innovación y mejora continua.

Yana (2017). Afirma que: Los problemas en costos y voladuras son constantes, al existir poco porcentaje en cuanto al concentrado de emulsión la velocidad de detonación es deficiente y más aún en presencia de agua. Por tal razón, es mejor aumentar el porcentaje de emulsión para mejorar su resistencia y aumentar su velocidad de detonación. Es decir, que como consecuencia se mejoraría la fragmentación y se reduciría los bolones que son productos de malas voladuras a raíz de muchos factores insitu al momento de planificar o realizar una voladura, estas consideraciones generan muchas ventajas ya que además se le añade nitrito de sodio en una cantidad mínima que, al entrar en reacción en conjunto, genera esponjamiento en toda la columna de carga y así aumenta su densidad la cual reduce el costo del explosivo.

1.1.3. Nivel local

Ghasemi, et al. (2011). Afirma que: La voladura de rocas es una detonación de explosivos que tienen un poder rompedor cuya energía liberada corresponde bajos porcentajes, sin embargo, generan un gran volumen de gases a elevadas temperaturas. Cada explosivo tiene una fórmula y se comporta de diferente manera si se inicia de una forma adecuada es porque está influenciada por ciertos parámetros físico-químicos que al final generan impacto en el mecanismo de fragmentación.

Los problemas de voladura surgen mediante la observación en cuanto a la utilización de explosivos tradicionales como la dinamita combinado con el anfo, la cual muchas veces se realiza de forma empírica sin un procedimiento técnico que permita guiar diversos procesos para el uso en voladuras de los frentes de avance de la mina subterránea.

Santa Clotilde 7 es una empresa minera que está ubicada en el distrito de Chongoyape, provincia de Chiclayo en el departamento de Lambayeque, tiene una altitud de 300 m.s.n.m. a 400 m.s.n.m. El acceso a la mina es por un camino con pendientes elevadas

cuyo inicio está dado en el km 46 de la Carretera Chiclayo – Chongoyape a partir de ahí se recorre 5 km de longitud cuyas coordenadas según WGS84 son 9,257,635.92 Norte y 665,745.26 Este.

Santa Clotilde 7 es una empresa minera formalizada cuya actividad es la minería subterránea artesanal, que sigue una serie de técnicas y métodos empíricos en cada una de sus operaciones en la cual extraen minerales metálicos de alto interés económico como es el oro, cobre y plata por lo que se convierte en una mina polimetálica.



Figura 1: Mapa geológico de la Mina Santa Clotilde 7.

Fuente: Geocatmín

Se ha observado que carece de métodos ingenieriles en cuanto a la perforación y voladura, estas operaciones unitarias son realizadas con conocimiento empírico puesto que no se tiene en cuenta las características de la roca y los parámetros controlables del explosivo por lo que se genera una voladura desigual e inclinada. Esto se debe a la utilización actual de dinamita junto con el anfo cuyo precio en conjunto son superiores a otros explosivos que podrían mejorar la calidad de una voladura y por ende optimizar la producción. Se observa, que una consecuencia de esta mala voladura refleja una pobre producción que consigue la mina, puesto que se tiene poco conocimiento de las mejoras que existe en el mercado de explosivos y en la mayoría de las actividades de extracción.



Figura 2: Galería producto de la voladura de rocas.

Fuente: Elaboración propia

1.2. Trabajos previos

1.2.1. Nivel internacional

CHUGÁ, Alex (2017). En la investigación “Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú” para obtener el grado de Ingeniero de Minas por la Universidad Central de Ecuador – Ecuador manifiesta: El método se basa en un conjunto de actividades que va desde el diseño de bancos, y análisis de parámetros para determinación de voladura mediante un procedimiento comparativo de voladura para sistemas convencionales y técnicas gasificadas de voladura en el que se obtiene que en su mayoría existen voladuras controladas, buenos montículos de pila en el material, fragmentación adecuada y no existe roca soplada y el costo-fragmentación, para definir la voladura óptima de trabajo, se hace relación a la voladura que represente el menor costo por tonelada extraída.

En este estudio se puede determinar que con la utilización de la emulsión se realizan voladuras controladas y a la vez se puede realizar una buena fragmentación sin tiros cortados teniendo en cuenta ciertos parámetros de voladura de rocas en la que sea óptima y que además represente el menor coste.

AGUIRRE, Andrés (2016). En la investigación “Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el ABRA” para obtener el grado de Ingeniero de Minas por la Universidad de Chile – Chile manifiesta: El método estaba basado en la toma de datos seguido de una secuencia para la obtención de resultados y su respectivo análisis, en los resultados se determinó los costos mensuales de voladura influenciado por los explosivos de alta energía. Se evaluó el explosivo Vistis 225 el cual obtuvo la mayor energía comparado con los demás explosivos. Por lo tanto, en cuestión técnica y costes, se puede mostrar evidencia que económicamente los explosivos planteados son rentables.

En el caso de este explosivo, de acuerdo con los resultados se puede evidenciar que es un explosivo que posee alta energía, es decir su poder rompedor es elevado por lo que se puede deducir que produce una buena fragmentación, también se tiene en cuenta su coste de voladura que es un factor fundamental para la selección del explosivo en la cual se determina que es un explosivo rentable y que puede ser utilizado en la voladura de rocas ya que optimiza todo el proceso.

SÁNCHEZ, Yadira (2012). En la investigación “Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth” para obtener el grado de Ingeniero de Minas por la Universidad Central del Ecuador – Ecuador manifiesta: Se utilizó la perforación y voladura de rocas aplicados en el avance de la rampa y la descripción del macizo rocoso a través de ensayos de carga puntual cuyos resultados demuestran que la resistencia de las rocas aumenta conforme se profundiza por lo que se ha concluido que existe fallas en el número de taladros, cantidad de carga, velocidad de detonación, avance de la frente y tiempo destinado a las labores de barrenación y cargado de sustancia explosiva y con ellas en el costo de explotación.

El ensayo de carga puntual se aplica a un macizo rocoso para determinar la resistencia a la compresión que este pueda tener. En este caso se aplicó en una muestra perteneciente a la rampa cuyos resultados son beneficiosos ya que la resistencia aumenta mientras se profundiza, es decir las fuerzas que se ejercen sobre el macizo rocoso son cada vez más débiles ya que la roca a medida que se avanza se hace más competente por la cual se concluye que al no tener en cuenta estos parámetros se

evidencia un desarreglo en todo el proceso de voladura la cual retrasa el tiempo y produce pérdidas económicas.

MUSIC, Andrés (2007). En la investigación “Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal, mina el Teniente” para obtener el grado de Magister por la Universidad de Chile – Chile manifiesta: Se utilizó el método de análisis de datos a través de un software cuyas técnicas de desarrollo para su evaluación fueron dos: El análisis del registro de las vibraciones y la implementación del disparo para reducir la sobre excavación por lo que se concluyó que es factible establecer un diseño final el cual genere una menor sobre excavación, disminuya los costos directos de la operación y la exposición a riesgos potenciales por desprendimientos de roca.

Las vibraciones se producen por todos los esfuerzos y tensiones que actúan sobre la roca en la cual se puede presenciar cierta inestabilidad que tiene consecuencia en la seguridad ya que puede existir un desprendimiento de rocas. En cuanto a los disparos existe una sobre perforación cuyo producto es un mal diseño de la sección por lo que es preferible rediseñar la malla y ajustar las medidas de los barrenos para poder disminuir costos y riesgos.

MENDOZA, Juan (2017). En la investigación “Diseño y evaluación de voladuras” para obtener el grado de Ingeniero de Minas por la Universidad Autónoma de México – México manifiesta: Se realizó la metodología de análisis de datos en el diseño de voladura, proceso de voladura y resultado de la voladura en la cual se utilizó la técnica de recolección de datos en campo y en la que se realizó simulaciones cuyos resultados se observó el desplazamiento de las partículas, sin embargo, también existen algunas rocas que siguen en vuelo; tales partículas seguirán con su trayectoria hasta llegar a su posición final. Por lo que se concluyó que, mediante el análisis de partículas, (esfericidad, área, perímetro, etc.), es posible reducir el error producto de la segmentación, disminuyendo el volumen de las partículas más irregulares.

El autor menciona que al realizar un diseño y una evaluación de voladura se tiene que simular los datos que se ha tomado y una vez procesado se puede determinar que existe un movimiento de partículas, es decir las rocas siguen su trayecto y vuelan hasta optar

una posición final. Por lo tanto, al analizar estas partículas se puede reducir el volumen de aquellas partículas irregulares.

BRACAMONTE, Patricio (2016). En la investigación “Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el ABRA” para obtener el grado de Ingeniero de Minas por la Universidad de Chile – Chile manifiesta: El presente trabajo tiene como objeto analizar si se produce un incremento en la fragmentación de la roca al comparar el P80 de la fragmentación dada por la voladura estándar respecto a la propuesta por el explosivo Vistis 225 el cual optimizó el proceso aumentando porcentajes de roca menor a 1 pulgada por el cual se concluye que es un explosivo de alta energía en comparación al resto de explosivos propuestos e inclusive que el Fortis Extra-65.

En la investigación el autor busca optimizar el proceso de voladura teniendo en cuenta explosivos potentes cuyo propósito es realizar una buena fragmentación de tal manera que se pueda alcanzar en el análisis granulométrico el P80 por lo que al experimentar se pudo determinar que el explosivo Vistis 225 presenta más energía al momento de ser detonado en comparación al resto alcanzando fragmentaciones menores a 1 pulgada.

1.2.2. Nivel nacional

SALCEDO, Edson (2015). En la investigación “Evaluación técnica y económica de la emulsión gasificada en minera Yanacocha SRL” para obtener el grado de ingeniero de minas por la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú manifiesta: Se realizó un análisis de fragmentación comparativo respecto a los explosivos, así mismo se utilizó la técnica de evaluación en campo para una proyección de ahorro a futuro en la que se obtuvo beneficios técnicos y económicos. Es decir, se reemplaza el ANFO pesado usado ampliamente en minera Yanacocha por una nueva emulsión gasificada cuyo uso estuvo dada al 100% pero en diferentes densidades. Al realizar muchas pruebas de medida de velocidad de detonación a diferentes densidades se concluyó que su reemplazo es factible por la emulsión gasificada ya que alcanza mejores velocidades y que además realizaba una mejora en la fragmentación.

El autor afirma que en su investigación al comparar el explosivo que se usa constantemente como es en el caso del ANFO pesado con respecto a la emulsión gasificada se puede determinar que en cuanto a la fragmentación de la roca la emulsión es mucho más eficiente ya que sus propiedades le permiten que produzca mayor liberación de energía la cual va a tener un mayor impacto en lo que es el siguiente proceso de la conminución ya que se va a reducir costos a largo plazo por lo que va a beneficiar económicamente, por lo tanto el autor propone reemplazar este explosivo tradicional por la emulsión gasificada para que sea usada en cada taladro a distintas densidades.

ALCÁZAR, Paulo (2017). En la investigación “Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro” para obtener el grado de ingeniero de minas por la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman – Tacna - Perú manifiesta: Se realizaron pruebas en campo y a través de comparación los resultados fueron positivos alcanzando una mayor velocidad de detonación aprovechando la mayor energía del explosivo. Por lo tanto, el uso del ANFO pesado 73 en base a emulsión gasificable optimiza las operaciones de perforación y voladura.

El autor afirma que mediante la implementación de la emulsión se comparan los resultados y se evidencia que presenta una alta velocidad de detonación aprovechando la energía que posee esta mezcla, es decir en algunos casos se alcanzó los 5600 m/s teniendo en cuenta el diámetro del taladro ya que tiene mucha influencia al momento de alcanzar sus velocidades y la energía se aprovecha producto del incremento de la densidad. Por lo tanto, el autor concluye que al usar ANFO 73 en base a emulsión gasificable optimiza todo el proceso.

GUERRA, Ramiro (2013). En la investigación “Uso de emulsión gasificable para reducir costos de perforación-voladura en minería superficial y subterránea” para obtener el título de ingeniero de minas por la Universidad Nacional de Ingenierías – Perú manifiesta: A través del Monitoreo VOD usando la técnica del Proceso de Sensibilización de la emulsión gasificada se obtiene mejoras en la fragmentación con respecto a un explosivo estándar como es el ANFO pesado, por lo tanto, el porcentaje de roca gruesa disminuye con respecto al estándar y la fragmentación se optimiza así

como los costos que involucran la perforación y voladura de rocas cuyo ahorro está registrado en el ahorro tanto para mineral como para desmonte.

El autor indica que para minería subterránea y superficial a través del uso de la emulsión gasificada y con la utilización del proceso de sensibilización se obtiene una óptima fragmentación, es decir se reduce el tamaño de los gruesos respecto a lo que el Anfo Pesado fragmentaba anteriormente en cada voladura por lo que se afirma que se produce un ahorro respecto a los costos de explosivo para mineral y estéril por cada tonelada métrica volada.

HUANGAL, Cesar (2014). En la investigación “Evaluación técnica económica del uso del SANG en mina la Arena” para obtener el grado de ingeniero de minas por la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú manifiesta: Mediante el análisis de la aplicación de un explosivo a través de los parámetros técnicos-económicos, granulométricos y estadísticos se obtuvo resultados positivos en uniformidad y fragmentación, es decir, el P80 se redujo entre 15 y 20 % en comparación a los disparos con HA 45/55 reemplazando la mezcla explosiva al 100% por los que se concluye que se llegaría a tener un ahorro anual de US\$ 300 000, además favorece ecológicamente ya que no se generan gases nitrosos, debido a que en su fabricación se logra mantener su balance de oxígeno.

El autor define ciertos parámetros técnicos, económicos la granulometría y como como influye la estadística con respecto a la fragmentación. Es decir, se tuvo en cuenta el P80 en el que disminuye en ciertos porcentajes respecto a otro explosivo y si se lograra reemplazar su ahorro anual sería significativo, además con esta emulsión gasificada se contribuye a reducir el impacto ambiental ya que no genera gases nitrosos.

LLACMA, Jesús (2017). En la investigación “Evaluación técnico-económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone” para obtener el grado de ingeniero de minas por la universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Perú manifiesta: A través de la observación directa, análisis estadístico, análisis descriptivo y la técnica de recolección de datos se redujo el costo por tonelada volada, eliminó la generación de gases nitrosos y optimizó la fragmentación. En conclusión, al aplicar la

respectiva evaluación, se obtuvo óptimos resultados en términos de fragmentación y uniformidad, el P80 disminuyó en un 7,1% comparado con los resultados de los análisis realizados en proyectos disparado con Heavy ANFO.

El autor tiene mayor enfoque en la parte económica ya que se redujo el costo por tonelada de material volado, y como es característica de la emulsión gasificada se eliminó la emisión de gases y en la cuestión técnica se disminuyó el P80 respecto al uso del ANFO pesado esto se realiza observando, analizando, describiendo y recolectando cada dato que permita guiar hacia los resultados.

1.2.3. Nivel local

En búsqueda de referencias bibliográficas a nivel local no existen estudios que demuestren que la aplicación de este tipo de método sea factible.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Ciencias

a. Mecánica de Rocas

Comité Americano (1974). Define a la mecánica de rocas: Como una ciencia que estudia el comportamiento de las fuerzas internas y externas que son ejercidas en las rocas ya que su estructura se puede modificar de acuerdo a las condiciones que presente, ya sea respondiendo a cambios de deformación o rotura. Esto involucra el soporte del material rocoso frente a ciertas condiciones que permitan evaluar el comportamiento que pueda tener para poder crear o modificar un diseño de estructuras y obras de ingeniería. Las tensiones y deformaciones que son ejercidas por el macizo rocoso constituyen dos parámetros que se relacionan y que dependen de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman la roca y de las condiciones a que están sometidas en la naturaleza.

b. Geología

Rivera (2011). Afirma que: La geología abarca todo un estudio completo desde un origen, una formación y la evolución de la tierra. Esto involucra el estudio de las rocas, desde un principio hasta la actualidad y el cambio que van experimentando al pasar el tiempo cuyo objeto es determinar todo su proceso y en algunos casos sacar provecho económico debido a las características físicas y químicas que presentan algunas rocas para buscar riquezas minerales que puedan ser explotados por el hombre. Así mismo no se debe olvidar que la geología al ser una ciencia que estudia los fenómenos que han ocurrido y ocurren actualmente evalúa, analiza y plantea soluciones para facilitar que el ser humano sea capaz de entender y comprender su entorno desde su pasado hasta la actualidad.

c. Matemática

Paenza (2013). Afirma que: Las matemáticas se encuentran en toda la vida y son utilizadas constantemente al resolver cualquier tipo de problemas y que sigue un razonamiento lógico con la relación de símbolos, figuras y números cuya utilización es para contar, calcular y medir ciertas cosas. Es decir, que se puede interpretar como una ciencia que estudia propiedades de entes abstractos y de las relaciones que tienen estas. En el caso de que se le dé una aplicación concreta ayuda a educar, preparar y entrenar el cerebro para que se pueda utilizar en cualquier problema que constantemente van siendo más complejos para el ser humano, pero a medida que aumentan de complejidad el ser humano va dando respuesta.

d. Topografía

Gámez (2013). Afirma que: La topografía está basada en ciertos principios y procedimientos cuyo objeto es representar gráficamente una superficie terrestre en la cual se aplican conceptos geométricos con el fin de describir una realidad física la cual tiene mucha importancia en la actividad de la ingeniería.

1.3.2. Teoría de la variable independiente

A. Teoría de la evaluación técnica

Rosales (2005). Afirma que: Existen diferentes tecnologías que se han introducido en las explotaciones de yacimientos mineros en el caso de los explosivos para mejorar la operatividad y seguridad en las labores, es por esto la importancia de realizar el trabajo de investigación cuya finalidad es la de identificar esos factores que inciden durante una evaluación técnica, ya que se quiere tener una mejor calidad en las operaciones de voladura subterránea, que involucra un análisis de los implementos, la influencia de los costos y el capital que se necesita para la inversión.

Por otro lado, Sapag (2008). Afirma que: La parte técnica tiene como objetivo buscar la optimización en cuanto a recursos y que a partir de este estudio se puede determinar el valor económico que se va a necesitar para iniciar una futura operación. Para esto se debe tener en cuenta suficiente información de las necesidades que tenga un proyecto y analizarlas para que pueda entrar en operación. Al finalizar este tipo de estudios se puede concluir que hay presencia de un mercado con tecnología altamente competente la cual permite facilitar a que se pueda llevar a cabo un determinado proyecto.

B. Componentes del estudio técnico

Existen muchos autores que proponen distintos componentes que son esenciales para conformar un estudio técnico. A continuación, se muestra una estructura básica propuesta por Baca en el 2010.

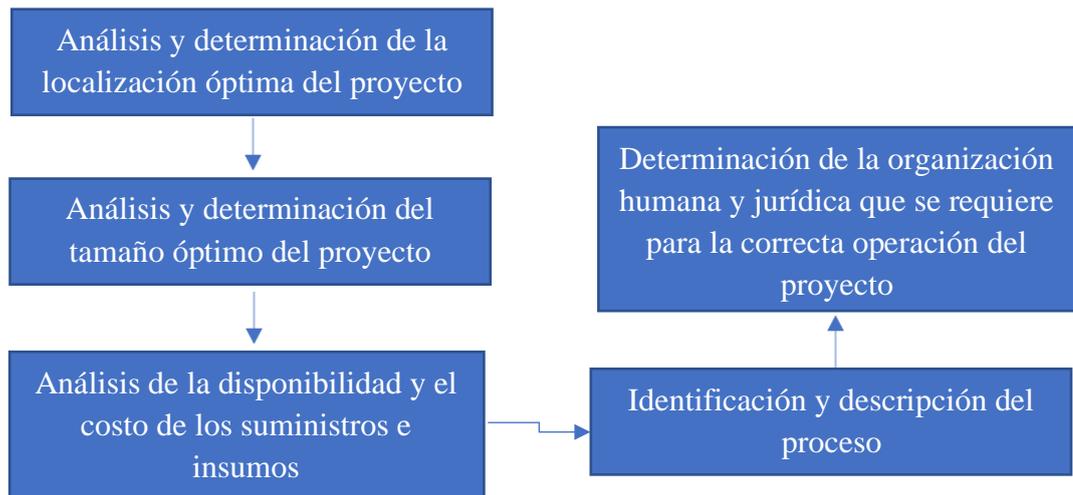


Figura 3: Componentes del estudio técnico.

Fuente: Baca (2010)

Los componentes de un estudio técnico son determinados por el análisis y determinación que parte de una localización del proyecto, de su tamaño y los costos de los suministros e insumos además que se debe identificar y describir todos los procesos que la involucran para finalmente determinar la organización humana y jurídica que se requiere para que exista una correcta operación del proyecto.

De otro modo existe otro tipo de estructura que conforma un estudio técnico para evaluar los proyectos que se presenta a continuación y es propuesta por Sapag Chain Nassir y Sapag Chain Reinaldo en el 2008.

1. Proceso de producción: Sapag (2008). Menciona que: El proceso de producción es cuando existe materia prima que sufre una transformación en productos cuya participación es dada por cierta tecnología en combinación con la mano de obra, algunos procedimientos y métodos de operación. Es decir, la mina Santa Clotilde 7 tiene un determinado proceso de producción el cual involucra a la operación unitaria de voladura de rocas la cual tiene el mayor enfoque esta investigación en la que se pretende introducir una nueva tecnología en cuanto a lo que es el uso de explosivos.

2. Capacidad de producción: Corresponde al mayor nivel de producción que ofrece una estructura económica. En este caso se tiene que tener en cuenta que la capacidad deberá ser flexible, es decir debe reducir los costos que son fijos e incrementar las variables para que permita adaptar cambios en los niveles de producción. Esto se puede

conseguir con cambios en algunas actividades o procesos que involucren la explotación de recursos minerales. Por ejemplo, en la mina Santa Clotilde 7 tiene un nivel de producción baja por lo tanto es que se plantea el cambio de explosivo para que haya una mejora en ciertos aspectos técnicos que permitan optimizar el proceso de voladura; cuya consecuencia estará reflejada en los siguientes procesos como es la conminución y por ende se aumentaría la capacidad de producción al reducir el tiempo en esta operación unitaria.

3. Inversiones en equipamiento: Esta inversión debe comprender un equilibrio en cuanto al costo y la tecnología para obtener diversos productos; aprovechando la disponibilidad máxima del sistema. Es decir, debido a que existen adelantos tecnológicos se complica las posibilidades de elección ya que se tiene que tener en cuenta los niveles de inversión que en algunos casos aumenta y empeora situaciones; por lo que se debe tener ciertos criterios al momento de la elección como son la competitividad, el avance tecnológico, la globalización, el respeto al medio ambiente y la vida útil que pueda tener.

Tomando en cuenta estos criterios se propone como un método de inversión sustituir un explosivo por otro, aquel presente aquellas características técnicas que puedan ser mejor en cierta magnitud ya sea porque es una nueva tecnología, es competitiva, su valor económico es mucho más rentables y puede generar menos emisión de gases hacia el medio ambiente.

4. Localización: Es la que determina la ubicación que más adecuada del proyecto. En este caso se centra en realizar la evaluación técnica con respecto a la ubicación teniendo en cuenta principalmente los puntos de venta, es decir, si necesito comprar explosivos industriales se tiene que evaluar los precios de distintas empresas y determinar cuál es la más económica para poder reducir mis costos al momento de desarrollar un proyecto.

5. Distribución de planta: Cuando se realiza una distribución de la planta es que se encuentra ligada al orden físico de sus elementos el cual es necesario para desarrollar ciertas actividades o servicios cuyo fin es tener un sistema ordenado que facilite

mejorar los beneficios del proyecto. Es decir, si queremos realizar una voladura de rocas como actividad tenemos que tener en cuenta donde se va a realizar o ubicar esos lugares, en esta investigación esa ubicación está dada en el plan de minado que presenta la mina, por esta razón el uso de la emulsión se podrá utilizar para aquellas labores de avance y producción.

6. Cálculo de costos de producción: Son los gastos para producir un bien o servicio la cual involucra costos directos relacionados con la materia prima, mano de obra y los costos indirectos como las depreciaciones, insumos o materiales menores y mano de obra indirecta. Es decir, estos gastos corresponden a todas las compras que se ha hecho en el proyecto, desde el inicio hasta el final, sean directos o indirectos. Por lo tanto, al utilizar la emulsión gasificada en una voladura de rocas se determinará el cálculo de costos solamente de los explosivos que se van a evaluar para saber qué tan rentables son a comparación del uso de la dinamita y así concluir si esta evaluación es factible o no para ser utilizado como explosivo actual en las voladuras de la mina Santa Clotilde

7. Sin embargo, la evaluación técnica no sólo está influenciada por este criterio ya que el mejor explosivo no depende siempre del bajo costo sino también de ciertas características físicas y químicas que contenga para la optimización del proceso de voladura.

C. Evaluación Económica

Bolivar (2001). Afirma que: Se tiene que determinar los costos de inversión donde se reflejen los costos en que se adquiere los activos fijos y diferidos, para saber cuáles son las depreciaciones y amortizaciones. Se tiene que tener en cuenta los costos de operación que están en función a la producción, administración y ventas. La generación de un proyecto genera un impacto económico, sin embargo, tiene que ver la parte ambiental ya que genera efectos en los recursos naturales que rodea e involucra un proyecto.

Mora (2009). Afirma que: La evaluación económica tiene como finalidad establecer la rentabilidad de la inversión de un proyecto, es decir debe cumplir con ciertos parámetros en cuanto a costos.

D. Gestión de Costos

BSG Institute (2019). Afirma que: Una gestión de costos se enfoca fundamentalmente del costo de aquellos recursos que son necesarios para completar una determinada actividad referente a un proyecto. Es decir, debe ser oportuno ya que servirá para tomar decisiones, debe ser integral ya que abarca toda la organización, será detallada siempre y cuando no se convierta en algo pesado ni algo superficial que permita hacer un análisis, tendrá que ser dinámico por lo que tiene que adaptarse a distintos cambios que repercuta en una organización y deberá estar orientado a resultados de tal forma que se incremente la probabilidad de que se cumplan aquellos objetivos que se ha trazado.

Por lo tanto, teniendo en cuenta esta definición; la gestión de costos está centrada en la compra del explosivo y los accesorios que se necesitan para realizar una voladura de rocas y partiendo de ese resultado se podrá determinar un valor económico final del proyecto que en este caso sólo corresponde a la voladura en toda la vida útil que ha sido establecida mediante el plan de minado.

E. Emulsiones Explosivas

Medina (2014). Afirma que: Las emulsiones son mezclas explosivas de dos líquidos que no se pueden disolver uno en el otro, son de última generación y cuyo diseño está preparado para fragmentar rocas muy competentes en distintas condiciones. Es decir, una emulsión está compuesta por gotas de una solución oxidante suspendida en una fase continua de aceite representada por sales inorgánicas disueltas en agua y por un combustible líquido inmiscible en el agua de tipo hidrocarbonado, además el tamaño que presentan estas gotas están dadas en micrones ya que esta reducción de tamaño de partículas refleja la eficiencia de la reacción.

A continuación, se puede mostrar la composición típica de una emulsión explosiva y también las dimensiones oxidantes respecto a otros explosivos según Bampffield y Morrey.

Tabla 1: Composición típica de una emulsión explosiva

FASE CONTINUA	PORCENTAJE (%)
Agua	10 - 12
Sales Inorgánicas	65 - 85
Vacíos	1 - 2
FASE CONTINUA	PORCENTAJE (%)
Combustible	3.5 - 8
Emulsificante	0.8 - 1.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Dimensiones de los oxidantes en los explosivos

EXPLOSIVO	TAMAÑO	ESTADO	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)
ANFO	2	Sólido	3200
DINAMITA	0,2	Sólido	4000
HIFROGEL	0,2	Sólido/Líquido	3300
EMULSIÓN	0,001	Líquido	5000-6000

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar a través de estas tablas que la velocidad de detonación incrementa para una emulsión debido al menor tamaño de partícula y sus porcentajes variables en cuanto a su composición química.

Al ser un explosivo con estas características el empleo del uso de las emulsiones en las operaciones de voladura se encuentra en tendencia ya que tiene numerosas ventajas.

- Menor precio, ya que su fabricación no es a base de gomas y féculas de alto coste
- Excelente resistencia al agua
- Elevada velocidad de detonación
- Seguridad de fabricación y manipulación
- Se carga fácilmente y en un periodo corto de tiempo
- No produce gases tóxicos

F. Propiedades del Explosivo

Los explosivos tienen ciertas propiedades que los caracterizan por el cual se les puede clasificar de acuerdo a su energía, potencia, velocidad de detonación, volumen de gases, resistencia al agua, etc. Dentro de sus propiedades más importantes se tienen las siguientes:

a) Potencia y energía

Se puede entender a la potencia como algo rompedor que mide la rapidez con la que un explosivo pueda desarrollar su máxima presión. Con respecto a la voladura de rocas se entiende como la capacidad de poder fracturar y desplazar la roca. Es decir, se combinan la velocidad de detonación y el volumen de los gases producto de la explosión.

b) Velocidad de Detonación

Es la velocidad en la cual la onda que genera se propaga por medio del explosivo, por tal razón se considera como un parámetro fundamental que determina el ritmo de liberación de la energía cuyos factores que la afectan son: el diámetro del taladro, la densidad de carga, el grado de confinamiento y la iniciación. Por lo tanto, se puede afirmar que, a mayor densidad, se obtiene mayor velocidad de detonación y por ende un mayor poder rompedor. Es decir, que la velocidad que adquiere la onda de detonación es la que viaja por el explosivo y está condicionada a ciertos factores que la afectan cuyos parámetros harán que la velocidad aumente o disminuya.

– Ensayos en Campo

Existe un método de medición continua través de sondas que son colocadas en el interior del barreno la cual recoge información de la varianza que hay en velocidad de detonación a lo largo del mismo.

Es un método que está basado en la colocación de un cable coaxial cuya resistencia se calibra a lo largo del barreno cortocircuitando en su extremo inferior. Así mismo al otro extremo de la sonda se conecta a un generador de corriente continua la cual logra tener un circuito eléctrico sobre el cual es posible conocer su resistencia.

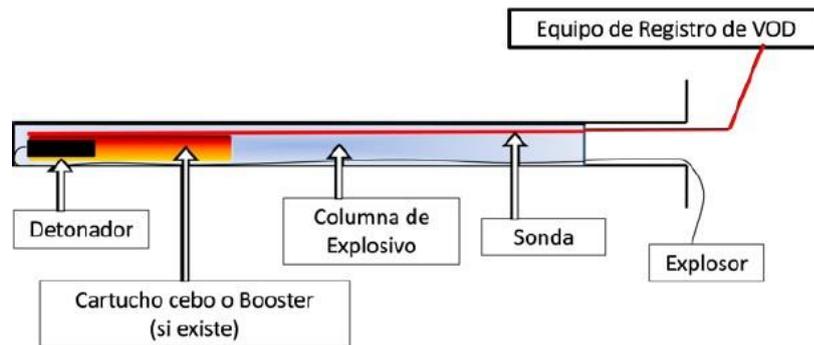


Figura 4: Medida continua de la velocidad de detonación en barreno

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas en minería. Bernaola Alonso p.79

c) Diámetro Crítico

Se puede interpretar al diámetro crítico como un diámetro mínimo que debe presentar toda una columna explosiva para que el proceso de detonación se propague de manera eficiente y estable. Por lo tanto, se busca ampliar este diámetro crítico frente a una voladura de rocas ya que la velocidad de detonación aumentará y en el caso que este tenga una dimensión por debajo de lo establecido las ondas de detonación no propagaran o bien si, pero la velocidad disminuirá drásticamente.

d) Densidad

Está representada en g/cm^3 cuyos valores varía desde 0.80 a 1.60. Es decir, los explosivos densos generalmente producen mayores presiones y mayor velocidad de detonación, también se puede decir que es una propiedad importante porque actúan en condiciones hidrológicas, es decir que, cuando la densidad es alta hace que el explosivo sea poco permeable. Por lo tanto, se puede afirmar que un explosivo con gravedad específica menor a 1 no se atrapa en el agua.

Por otro lado, la densidad de un explosivo constituye un factor que es importante para calcular la cantidad de carga explosiva necesaria para una voladura de rocas. Es decir, por regla general, se utilizan explosivos más densos en el fondo de los barrenos porque es el lugar exacto en donde se requiere de una mayor concentración de energía para el arranque de la roca, mientras que en las cargas de columna se requiere explosivos menos densos. La concentración lineal de carga en un barreno se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_1 \text{ (Kg/m)} = 7,854 \times 10^{-4} \times \rho_3 \times D^2$$

Dónde:

ρ_3 = Densidad del explosivo (g/cm^3)

D = Diámetro del barreno (mm)

A continuación, se presenta un gráfico que corresponde a la densidad en el fondo del barreno y la densidad media de toda la columna en función a su profundidad para una emulsión.

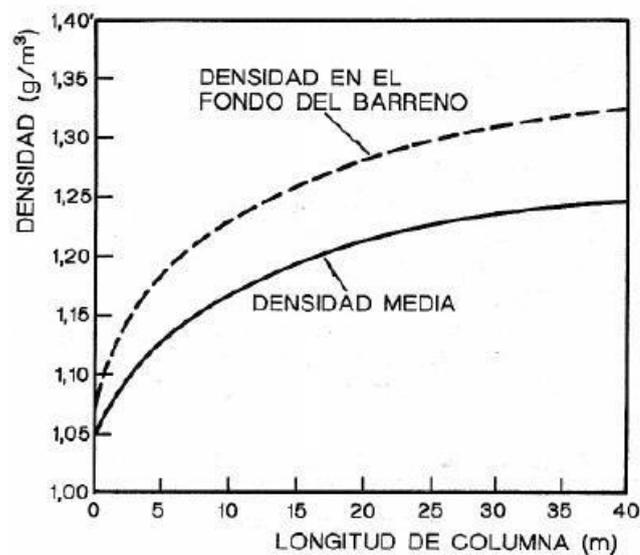


Figura 5: Curvas de densidad de una emulsión en función de la profundidad de los barrenos en condiciones secas

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas. López Jimeno p.143

e) Presión de Detonación

La presión de detonación de un explosivo se encuentra ligada a la velocidad de detonación y la densidad. Tiene relación con el poder rompedor de roca competente e intacta. Está medida en el plano C-J de la onda de detonación cuando se propaga a través de la columna del explosivo.

A continuación, se presenta la siguiente fórmula:

$$PD = 432x 10^{-6}x \rho_e x \frac{VD^2}{1 + 0,8x\rho_e}$$

Dónde:

PD = Presión de Detonación (MPa)

ρ_3 = Densidad del explosivo (g/cm³)

VD = Velocidad de detonación (m/s)

f) Calidad de los Humos

Cuando se detona un explosivo comercial se produce nitrógeno, vapor de agua, dióxido de carbono y en algunas veces sólido y líquido. Existen ciertos porcentajes de gases tóxicos como el óxido de nitrógeno y el monóxido de carbono. A este conjunto de gases cuyo producto es denominado “humos”.

Existe una clasificación en la que se establece una escala de los humos por el grado de toxicidad para la exposición de los operadores después de las voladuras de rocas.

Tabla 3: Clases de humos (Institute of makers of explosives. EE.UU.)

CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO-NO ₂)-dm ³
PRIMERA	0 – 4,53
SEGUNDA	4,53 – 9,34
TERCERA	9,34 – 18,96

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas. López Jimeno

1.3.3. Teorías de la variable dependiente

A. Teoría de la voladura de rocas

1. Teoría de la reflexión

Ames (2012). Sostiene que: Esta teoría tiene relación con las ondas que libera el proceso de voladura la cual tiene la finalidad de comprimir la roca y fracturarla para que pueda interactuar sobre ella otro tipo de onda denominada la onda de tracción que es la que fragmenta y desplaza el material rocoso.

2. Teoría de la expansión de los gases

Ames (2012). Afirma que: Si se produce una presión de los gases que libera un explosivo va a generar un gran volumen que va a poder desplazar el material rocoso ya que estos gases se liberan a través del agrietamiento que se produce en los taladros por efecto de la presión.

3. Teoría combinada

Ames (2012). Indica que: Cuando se combinan las teorías mencionadas significa que se está dando el proceso completo, es decir desde que el explosivo se detona va generando una presión en el taladro la cual lo va a agrietar, posteriormente se producen ondas de compresión y tracción que libera un gran volumen de gases que se expanden las cuales pasan por las grietas producto de la presión y finalmente desplazan el material rocoso ya fragmentado.

B. Voladura de rocas

Seguridad Minera (2014). Afirma que: Existen tres procesos que inicialmente comprende una voladura de rocas que va desde el tamaño, distribución y porcentajes de los fragmentos, seguido del movimiento que tiene la roca triturada para que finalmente esta se desplace. Cuando existe una eficiente fragmentación se facilitan los siguientes procesos en la remoción y el transporte del material volado que está relacionado con el uso al se le dará al material. Es por esto que el proceso de voladura

de rocas tiene como objeto tener una buena fragmentación, ya que también facilita que los procesos posteriores como el de la conminución se optimicen.

Entonces al evaluar ciertos criterios al momento de realizar una voladura, es necesario tener una buena planificación de tal manera que sea cuidadosa considerando una serie de detalles para que así pueda tener impacto positivo en sus resultados.

C. Parámetros de la roca.

– Propiedades Físicas

a. Dureza

Representa el grado de resistencia que tiene la roca para resistir a la penetración o rayadura de otro cuerpo.

b. Tenacidad

Representa el grado de facilidad o dificultad de poder romperse expuesto a fuerzas de compresión, tensión e impacto.

c. Densidad

La densidad representa a la relación de la masa y el volumen. Por lo tanto, si la roca tiene una densa densidad el explosivo a utilizar tendrá la misma característica y que a la vez sean rápidos para romperse.

d. Textura

Comprende la forma en la que se ha construido la roca y a la vez describe las relaciones entre sus componentes constituyendo a la roca.

e. Porosidad

Representa el volumen de los espacios abiertos los cuales son de distinto tamaño y pueden estar abiertos o cerrados las cuales determinan el tipo y el grado de soluciones que pueden ser líquidas o gaseosas por el interior de los materiales controlando la mayor parte de su durabilidad.

f. Variabilidad

Las rocas no son homogéneas en su composición y textura. Tienen un alto índice de anisotropía o heterogeneidad. Es decir, que las rocas no mantienen una uniformidad en cuanto a su cristalización y las direcciones del espacio.

g. Grado de alteración de la roca

Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman. Al sufrir un deterioro la roca o al ser alterada por diversos fenómenos se puede evidenciar que tiene una gran influencia en las propiedades de la roca es decir se modifican sus características y su composición por exposición al ambiente.

D. Explosivos

Vilela (2014). Define que: Los explosivos son sustancias o mezclas químicas que liberan energía. Es decir, cuando se libera una cantidad de energía que es usada para la fragmentación de la roca, también se genera una gran presión produciendo gases a elevada temperatura. Respecto a la industria minera, la voladura de rocas representa un método más eficiente y productivo en cuanto a excavación de roca dura debido a que presenta propiedades que reaccionan químicamente produciendo el efecto directamente hacia la roca.

López C, López E y García (2003). Afirman que: El objetivo de la voladura es arrancar, fracturar y esponjar el macizo rocoso in-situ, a un tamaño de fragmentación tal, para que sea eficientemente manejado en los procesos de carga, transporte y tratamiento. Esto involucra el desprendimiento de un mineral de interés económico que se encuentra adherido a la roca, se produce a través de una combinación de compuestos químicos que al ser detonados liberan gran cantidad de energía generando una fragmentación óptima de material la cual sirve de complemento para los demás procesos de conminución, concentración y comercialización.

E. Proceso de detonación de explosivos

López C, López E y García (2003). Mencionan que: Cuando el explosivo inicia, la onda de choque transporta la energía necesaria para activar las moléculas de la masa del explosivo alrededor del foco inicial, provocando así una reacción en cadena. Es decir, durante la iniciación, esta onda transporta y libera la energía de tal manera que activa al explosivo y este al resto. Cuando se produce esta liberación se genera gran cantidad de gases a elevadas temperaturas, sin embargo, existe una presión que es secundaria la cual actúa sobre el resto de macizo rocoso sin detonar cuyo efecto aumenta al de la onda de presión primaria, en lo que convierte un proceso de deflagración a uno de detonación.

F. Agente de Voladura de Rocas

Los agentes de voladura son explosivos cuya característica es que desarrollan un trabajo enfocado en el arranque y la fragmentación de la roca porque es de gran utilidad en la minería superficial ya que se aprovecha su poder rompedor y el bajo costo que tiene.

a) Anfo

Es un agente de voladura es muy utilizado en la minería ya que presenta un precio económico y es fácil de conseguir en el mercado. Se puede entender de que necesita de otras cantidades de combustibles para que pueda reaccionar cuyas características principales con su bajo costo, para ser aplicado la roca no debe tener presencia de agua ya que tiene una alta capacidad de absorción lo que produciría deficiencias en la voladura, sin embargo, también posee una buena generación de energía que generalmente es usada en rocas suaves obteniéndose buena eficiencia.

b) Emulsiones

Las emulsiones corresponden a una composición de un medio líquido cuyos componentes de esta mezcla influyen en la velocidad de detonación ya que existe una mayor reacción. Entonces se puede determinar que a menor tamaño de sus

componentes el agente de voladura reacciona mejor, es decir la velocidad de detonación aumentará.

López C, López E y García (2003). Mencionan que: El proceso de los explosivos ha llevado a una reducción gradual del tamaño de las partículas, pasando desde los sólidos a las soluciones salinas con sólidos y, por último, a las microgotas de una emulsión explosiva. Es decir que al pasar el tiempo el hombre se ha dado cuenta que, a medida que se reduce el tamaño de sus partículas se tiene una mayor velocidad de detonación y por ende un mejor explosivo, estos procesos de reducción han llevado a cabo a que se reduzca el tamaño inclusive a microgotas de una emulsión para poder tener un mayor poder rompedor para voladura de rocas muy competentes.

López C, López E y García (2003). Afirma que: La emulsión cuando se encuentra en un estado puro no corresponde a un agente de voladura ya que se necesita de otros mecanismos para poder sensibilizarla a través de la generación de burbujas de gas, en la cual al sensibilizarla mediante este proceso físico la iniciación se activa en forma de propagación de la detonación.

c) Agentes mixtos (anfós pesados)

Son mezclas de emulsión y anfo en diferentes proporciones. Es decir, al existir la mezcla de dos explosivos es dada de acuerdo al requerimiento de la voladura ya que está basada en la reducción de costos y que a la vez se pueda utilizar en presencia de agua, por ejemplo, dándole resistencia, por lo que no se puede hacer cuando se trata de anfo puro ya que su capacidad de absorción era mucho. Estas mezclas se hacen en distintos porcentajes dependiendo lo que se quiere lograr.

G. El mecanismo de fragmentación de la roca

Cuando se detona un explosivo dentro del macizo rocoso se puede apreciar dos fases de acción: Es decir, primero se produce un intenso impacto que se da por la onda de choque la cual genera gases que actúan a gran volumen y a una elevada temperatura. Estas ondas se dan por la detonación del explosivo que se encuentra cargado en los taladros cuya liberación produce efectos de compresión desde la parte interna hacia la parte externa o hacia la cara libre cuyo esfuerzo refractor es la tracción.

Bernaola et al. (2013). Afirma que: Cuando se propagan las ondas a altas velocidades entre 3000 y 5000 m/s se puede determinar que dicha onda produce un poder rompedor la cual rompe la resistencia del macizo rocoso haciendo que se fracture y a la vez los gases se expandan, esto es producido por la descomposición del explosivo produciendo un desplazamiento de la roca ya fragmentada.

H. Criterios de selección del explosivo

Un explosivo al momento de ser seleccionado se tiene que tener en cuenta ciertos criterios o parámetros técnicos en la voladura de rocas. Es decir que la elección de este constituye una parte muy importante en cuanto al diseño de una voladura y de los resultados que se pretenden obtener. Cuando se selecciona un explosivo no siempre se tiene en cuenta buscar el coste mínimo sino también se debe considerar una serie de factores que necesariamente deben ser analizados para la correcta selección como por el ejemplo, el diámetro de carga que influye en la velocidad de detonación, las características de la roca, que influye en el diseño, el precio del explosivo, el volumen de roca a volar que va a depender de la cantidad de carga explosiva a utilizar, la presencia de agua, las condiciones de seguridad, los problemas de suministro y las atmósferas explosivas.

1. Precio del Explosivo

Cuando se selecciona un explosivo es muy importante tener en cuenta al coste ya que es un criterio fundamental. Es decir, se trata de elegir al explosivo más económico el cual tenga la capacidad de realizar un trabajo determinado en el que el proceso de voladura lo requiera. Por lo tanto, se deben tener en cuenta ciertos factores internos o externos que ayudan o perjudican el proceso. Es por esto que se muestra la comparación de los precios por unidad de peso partiendo como referencia el nitrato de amonio, la cual se indica a continuación en la figura número 6, elaborada a partir de la de Wright en 1986.

EXPLOSIVOS	PRECIOS COMPARATIVOS DE EXPLOSIVOS (PRECIO DE REFERENCIA. NITRATO AMONICO. 100 - 200)			
	500	1000	1500	2000
NITRATO AMONICO	████			
ANFO ENCARTUCHADO		████████		
ANFO ENSACADO		██████		
ANFO A GRANEL	████			
HIDROGEL ENCARTUCHADO			████████	
HIDROGEL ENSACADO		████████████████		
HIDROGEL A GRANEL		████████████████		
DINANITAS			████████████████	
GELATINAS			████████████████	
EMULSIONES A GRANEL		████████████		
MEZCLA DE HIDROGEL Y ANFO			████████████	
ANFO PESADO		████████████		

Figura 6: Precios comparativos de los explosivos industriales

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas. López Jimeno p.165

2. Diámetro de carga

Al utilizar explosivos cuya velocidad de detonación cambia repentinamente según el diámetro del taladro se puede tomar algunas precauciones.

- Es económico realizar la carga con medios mecánicos las emulsiones explosivas a granel. Sin embargo, en los calibres pequeños es económico realizarlo de forma encartuchada y sensible al detonador.

3. Características de la roca

Las variables importantes corresponden a las propiedades geomecánicas del macizo rocoso que se va a volar, es decir no necesariamente porque influye directamente en los resultados de voladura, sino que está relacionada con otras variables de diseño. Para poder seleccionar el explosivo se hace de acuerdo a ciertos criterios de selección, pero se recomienda según la clasificación de la roca.

3.1. Rocas masivas resistentes

Estas rocas son de una calidad competente que representan en minería al tipo de roca I y II por la cual su dureza hace que al momento de escoger el explosivo sea aquel que presente características de alta velocidad de detonación y alta densidad. Se recomienda utilizar explosivos con densidades elevadas y que presenten mayores velocidades de detonación como los hidrogeles, explosivos gelatinosos y emulsiones.

3.2. Rocas muy fisuradas

Estas rocas generalmente son de baja competencia y representan en minería a la roca tipo III y IV que se encuentran en un estado muy fisurado o deteriorado. Se sugiere que el explosivo a utilizar tenga elevada energía en cuanto a la liberación de los gases.

3.3. Rocas conformadas en Bloques

Corresponde a aquellos macizos rocosos que presentan un espaciamiento de gran longitud entre discontinuidades que forman bloques voluminosos en el campo en el cual también se puede evidenciar la presencia de grandes bolos dentro de matrices plásticas, por lo tanto, una fragmentación en este caso está dada principalmente por la geometría de la voladura y en menor grado por las propiedades del explosivo.

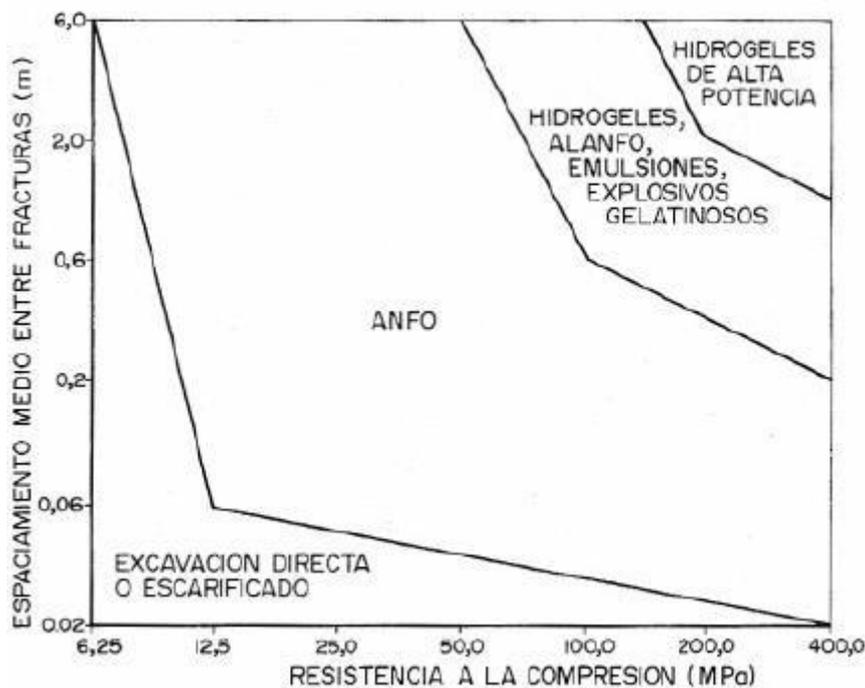


Figura 7: Selección del explosivo según sus propiedades geomecánicas de los macizos rocosos establecidos por Brandy y Brown en 1985.

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas. López Jimeno p.167

4. Volumen de roca a volar

Al realizar trabajos de voladura, el volumen determina el consumo de explosivo que se va a tener en cuenta en una operación de arranque. Si se presenta una obra de gran envergadura, entonces se utilizará mayor cantidad de explosivo, en la que, es recomendable utilizar un explosivo a granel ya que facilitan la carga en los medios de transporte y se reducen los costos que se invierten en mano de obra que está dedicada a la mencionada operación en la que aprovecha el volumen de roca perforada.

5. Condiciones Atmosféricas

La mayor influencia está dada por el nivel de temperatura del ambiente donde se va a realizar la voladura de rocas, es decir que algunos explosivos tienen la capacidad de poder resistir a temperaturas altas y bajas. Por ejemplo, a bajas temperaturas influye en las nitro glicerinas, ya que se puede congelar, sin embargo, se le puede añadir otras sustancias que hacen que su punto de congelación aumente. Por otro lado, cuando

existen temperaturas elevadas surgen inconvenientes, pero se ha creado explosivos como por ejemplo los hidrogeles que desaparecen casi por completo ese riesgo.

1.3.4. Marco legal

a. Normativa ambiental

D.S. 016-93-EM. Reglamento para la protección del medio ambiente en la actividad minero-metalúrgica.

Artículo 67 de la Constitución Política del Perú del año 1993 en la que dice que: “El estado debe determinar la política nacional del ambiente y promover el uso sostenible de sus recursos naturales”.

Ley N° 28611 de la Ley General del Medio Ambiente en Perú del año 2015 cuya modificación ha sido dada por las siguientes normas: El Decreto Legislativo N° 1055, Ley N° 29263, y la Ley N° 29895.

El Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, establecido por el Decreto Supremo N° 01492-EM, el cual contiene en su título décimo quinto las disposiciones sobre la protección del medio ambiente para la actividad minero-metalúrgica. Aprobada el 2 de junio de 1992.

a. Normativa de seguridad

D.S N° 024-2016-EM con su modificatoria DS N° 023-2017-EM. El reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

b. Normativa legal

D.S N° 014-92-EM del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería

c. Normativa técnica

D.S. N° 023-92-EM del “Reglamento de seguridad e higiene minera” acorde con las

modificaciones contenidas en el Decreto Legislativo N° 709 del capítulo VI.

d. Normativa de gestión y prevención de desastres

D.S N° 005-2012-TR “Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería”

Ley N° 29783 “Seguridad y Salud en el Trabajo”

1.3.5. Estado del arte

Interempresas (2017). Menciona que: Existen avances tecnológicos en la perforación subterránea mediante la predicción y evaluación (Sandvik i-Sure). Se ha mejorado en el diseño, control y ejecución de las voladuras. Es decir, existen explosivos más densos y potentes para proyectos de Mine-to-Mill con voladuras de alta energía y ultra alta energía.

1.3.6. Impacto ambiental

Banegas (2011). Afirma que: Debido a la concentración de gases y polvo el mayor impacto es hacia el hombre debido a que se encuentra en interacción en el proceso de voladura, se produce debido a la reacción que tiene el explosivo al momento de su detonación, sin embargo, no se tiene en cuenta tanto al volumen como para generar efectos de gran consideración, sin embargo, el polvo se dispersa rápidamente lo que es casi imposible evitar su emisión. Por otro lado, el aire se contamina debido a que el alto contenido de gases que se disipa afecta directamente la vegetación y aguas superficiales, así mismo el ruido es intenso por los altos decibeles que alcanza una detonación.

1.3.7. Seguridad y salud ocupacional

Seguridad Minera (2012). Menciona que: Al momento de realizar una voladura de rocas se debe tener en cuenta ciertos criterios de control para asegurar la salud y el bienestar de los trabajadores. Además, se debe evitar accidentes pues en muchos casos esto conlleva a que los trabajos y operaciones se paralicen. En este caso se debe tener en cuenta al explosivo que se va a utilizar ya que depende de su eficiencia y

características físico-químicas si es que la emulsión gasificada puede causar accidentes al momento de su detonación.

Para poder efectuar un procedimiento que involucre la seguridad este debe estar centrado en las consecuencias que pueda causar el proceso de voladura, sin embargo el personal está obligado a tener en cuenta los PETS cuyo fin es que describe aquellos procedimientos que se deberán seguir rigurosamente por parte del personal la cual debe ser de forma segura, adecuada y rigurosa evitando poner en riesgo la vida del trabajador y así mismo poner en peligro a sus compañeros de trabajo, maquinaria y equipos.

1.3.8. Gestión de riesgos y prevención de desastres

Seguridad Minera (2017). Menciona que: En las minas, las emergencias son frecuentes, esto se da porque se ausenta los sistemas que están sujetos a prevenir y controlar situaciones que generan catástrofes, o fallos en los sistemas existentes. Es decir, existen sucesos imprevistos que afectan tanto la salud como la seguridad de los trabajadores o que están expuestos durante la explotación por la cual se busca una respuesta para contrarrestar, controlar y aliviar cualquier situación que involucre un riesgo o desastre.

1.3.9. Definición de términos

Explosivo: Es un producto químico que presenta un potencial elevado de energía, que tienen una reacción instantánea con gran violencia, debido a que acciona un fulminante o está dado por otro estímulo externo.

Sustancia explosiva: Son aquellas sustancias químicas que están propensas a reaccionar violentamente en la cual las moléculas se disocian y posteriormente se reagrupan en una forma más estable por la cual tiene categorías según su magnitud en cuanto al impulso energético que es necesario para iniciar la detonación.

Emulsiones explosivas: Es una solución altamente concentrada de nitratos, dispersa en una fase continua de aceite. Generalmente no contiene ingredientes explosivos, tiene elevada resistencia al agua y que se inicia adecuadamente, explotan con una alta velocidad de detonación.

Dinamita: Es un explosivo cuya consistencia es consistencia gelatinosa y se obtiene al mezclar nitroglicerina/nitroglicol (NG) con nitrocelulosa. Esta mezcla es aún más energética que el propio NG. Lleva en su composición, como elemento predominante, el nitrato amónico, además de combustibles y otros aditivos minoritarios.

Anfo: Es un explosivo tipo agente de voladura conformado por una mezcla de nitrato de amonio, biodiesel o mezclas de hidrocarburos, sensible a la iniciación por un multiplicador – Pentofex, con poca resistencia a la humedad e inadecuado para operaciones subterráneas. Es decir, es un explosivo muy seguro en cuanto al uso y manipulación que se le da ya que se puede cargar de manera neumática o manual en los barrenos. Generalmente se emplea en voladura a tajo abierto en rocas no muy competentes y su empleo es como un explosivo carga de columna.

Detonación: La detonación es una combustión supersónica que se caracteriza porque genera una onda de choque. En ese frente de onda se generan altos gradientes de presión y temperatura, ya que la reacción química se produce instantáneamente.

Sistemas de iniciación: Son conocidos como detonadores, ya que pueden emplearse en voladura superficial o subterránea con la finalidad de iniciar los explosivos que se encuentran dentro de los barrenos, o bien el cartucho cebo o multiplicador que desencadene la detonación en el interior.

Resistencia al agua: Es la capacidad que tiene un explosivo para resistir al agua que involucra el deterioro de este o la pérdida en cuanto a su sensibilidad, es decir el tiempo en el que un explosivo puede estar en contacto directo con el agua y aun así poder ser detonado.

Densidad explosiva: Es aquel que está indicada como gravedad específica que representa si un explosivo es más denso que otro, es decir va a ser un parámetro la cual

va a generar mayores o menores velocidades de detonación y de presión según lo que se quiera lograr.

1.4. Formulación del problema

¿Cómo se podría optimizar el proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7- Chongoyape?

1.5. Justificación

Actualmente la pequeña industria minera aún conserva algunas deficiencias que se puede evidenciar en sus operaciones unitarias de años anteriores en cuanto a perforación y voladura de rocas. Por esta razón la realización del presente estudio permitirá optimizar la producción con la captación de una evaluación técnica y económica de los explosivos. Es decir, se tiene que realizar una buena voladura, causando el menor daño a la roca, con el fin de optimizar los niveles de producción de la mina.

La investigación tiene un carácter práctico en la que su finalidad es en obtener buenos resultados que generen la mejor elección del explosivo y que además es de importancia metodológica ya que se puede poner en práctica la investigación utilizando procedimientos y técnicas que puedan guiar el trabajo para llegar a conclusiones que puedan ser válida y confiables.

a) En lo social

Santa Clotilde 7 es una empresa minera cuyas operaciones han estado paralizadas. En la actualidad sus recursos naturales están siendo explotados de manera convencional, la cual poco a poco se está implementando con el objetivo de buscar un crecimiento social considerable para ayudar a beneficiar a los pobladores de las comunidades cercanas, es decir, generando más ofertas de trabajo que incluyan algunos programas de inclusión social con el fin de lograr un desarrollo sostenible en conjunto con las comunidades cercas, para poder evitar conflictos que puedan perjudicar el trabajo de la mina.

b) En lo económico

Se justifica económicamente, porque se pretende reducir los costos y aumentar la rentabilidad, es decir, a consecuencia de una buena voladura y la utilización correcta del explosivo tendrá impacto en una buena fragmentación y por consiguiente en los siguientes procesos.

c) En lo tecnológico

Se busca aplicar la tecnología en explosivos como es el uso de la emulsión gasificada debido a que presenta propiedades y características superiores al utilizado actualmente.

d) En lo ambiental

Cuando se generan gases tóxicos en una voladura se puede traer como consecuencia contaminación que es propagada hacia el aire, zonas de cultivo, aguas y al ser humano, el cual influye en el compromiso que se plantea esta compañía minera que tiene estándares que buscan controlar la contaminación que se pueda presentar en la mina y pueda afectar a las comunidades vecinas. Por lo tanto, la utilización de la emulsión gasificada reducirá considerablemente la emisión de gases y polvos para disminuir el impacto ambiental que se tiene mediante el uso de explosivos en minería subterránea.

1.6. Hipótesis

Si se realiza la evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada, se optimizará el proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape.

1.7. Objetivos

1.7.1. General

- Realizar la evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada para la optimización del proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape.

1.7.2. Específicos

- Seleccionar la emulsión gasificada adecuada que optimice el proceso de voladura de rocas.
- Realizar las pruebas de voladura de rocas teniendo en cuenta los criterios técnicos.
- Comparar los costos de voladura de la emulsión gasificada con respecto al explosivo que se usa en la mina Santa Clotilde 7.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

Según la naturaleza de investigación, los objetivos formulados y la hipótesis planteada, el tipo de investigación es cuantitativa con el diseño no experimental descriptivo transversal. Según Hernández, Fernández y Batista (2014). El diseño de investigación transversal es aquel que recolecta datos en un único tiempo cuyo fin es describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es decir, el estudio solamente recolectará y analizará datos orientados a medir o evaluar diversos aspectos, dimensiones o componentes de un fenómeno a investigar en un periodo de tiempo específico.

2.2. Operacionalización de variables

2.2.1. Variable independiente

Evaluación técnica y económica

La evaluación técnica comprende el análisis de las diferentes tecnologías con el objeto de producir bienes o servicios, el cual verifica la factibilidad técnica de cada una de ellas. Por otro lado, es necesario que se realice una evaluación económica, para ver cómo se comportan los costos y los beneficios que se esperan obtener, teniendo en cuenta la relación que tiene el proyecto con su entorno considerando la evaluación de los impactos ambientales, incluido los efectos sobre los recursos naturales y la sociedad.

2.2.2. Variable dependiente

Voladura de rocas

Es cuando se fractura o se fragmenta la roca y producto de este proceso se desprende algún elemento metálico a través de la utilización de los explosivos cuya voladura puede ser controlada o no y se dan de manera subterránea o superficial.

Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA	EVALUACIÓN TÉCNICA	PROPIEDADES FÍSICAS	VELOCIDAD DE DETONACIÓN	m/s	OBSERVACIÓN	GUÍA DE OBSERVACIÓN	REGISTRADOR DE VOD
			POTENCIA DEL EXPLOSIVO	KJ/Kg			BLOQUE DE PLOMO TRAUZ
			DENSIDAD	g/cm ³			PICNÓMETRO
			PRESIÓN DE DETONACIÓN	Kbar			LEY DE LOS GASES PERFECTOS
		PROPIEDADES QUÍMICAS	CALIDAD DE LOS HUMOS	litros/kg.			FICHA TÉCNICA
		CONDICIONES DE CARGA	DIÁMETRO DEL TALADRO	pulgada			CALIBRADOR
	DENSIDAD DE CARGA		Kg/m				
	EVALUACIÓN ECONÓMICA	RENTABILIDAD	COMPARACIÓN DE COSTOS	\$			
PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS	PARÁMETROS DE LA ROCA	PROPIEDADES DINÁMICAS	RESISTENCIA MECÁNICA	N/m ²	OBSERVACIÓN ANÁLISIS DOCUMENTAL	GUÍA DE OBSERVACIÓN GUÍA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL	MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE

2.3. Población, muestra y muestreo

2.3.1. Población

La población del estudio estuvo conformada por la mina Santa Clotilde 7 y todos los explosivos que se utilizan en la voladura de rocas.

2.3.2. Muestra

La muestra de estudio estuvo conformada por la galería 322 y la utilización de 3 tipos de emulsiones diferentes en la voladura de rocas pertenecientes a la mina Santa Clotilde 7 ubicada en Chongoyape.

2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnica de recolección de datos

a. Observación

Hernández (2010). Definen a la observación como una técnica antigua, de los cuales se hace el uso de los sentidos en la cual el hombre capta la realidad para luego organizarla intelectualmente. Es decir, buscamos los datos que necesitamos para poder resolver un problema de investigación haciendo el uso sistemático de nuestros sentidos el cual implique adentrarnos en distintas situaciones, detalles sucesos, eventos e interacciones.

b. Análisis documental

Cruz (2008). Afirma que: El análisis documental es un documento por el cual se ha aplicado un proceso intelectual de derivar un documento el conjunto de símbolos y palabras que sirvan de representación. Es decir, este análisis comprende la descripción física del documento por medio de sus elementos formales de los cuales se tendrá en cuenta el autor, título, nombre de revista, editorial, año de publicación, etc., así mismo, describe conceptualmente la temática o contenido a través de palabras claves.

2.4.2. Instrumento de recolección de datos

a) Guía de observación

–Se utilizó un formato que permitió describir las propiedades de los explosivos teniendo en cuenta el manual de explosivos Exsa y Famesa. Ver Anexo 3

–Se utilizó un formato que permitió determinar los parámetros de la roca teniendo en cuenta sus propiedades dinámicas. Ver Anexo 3

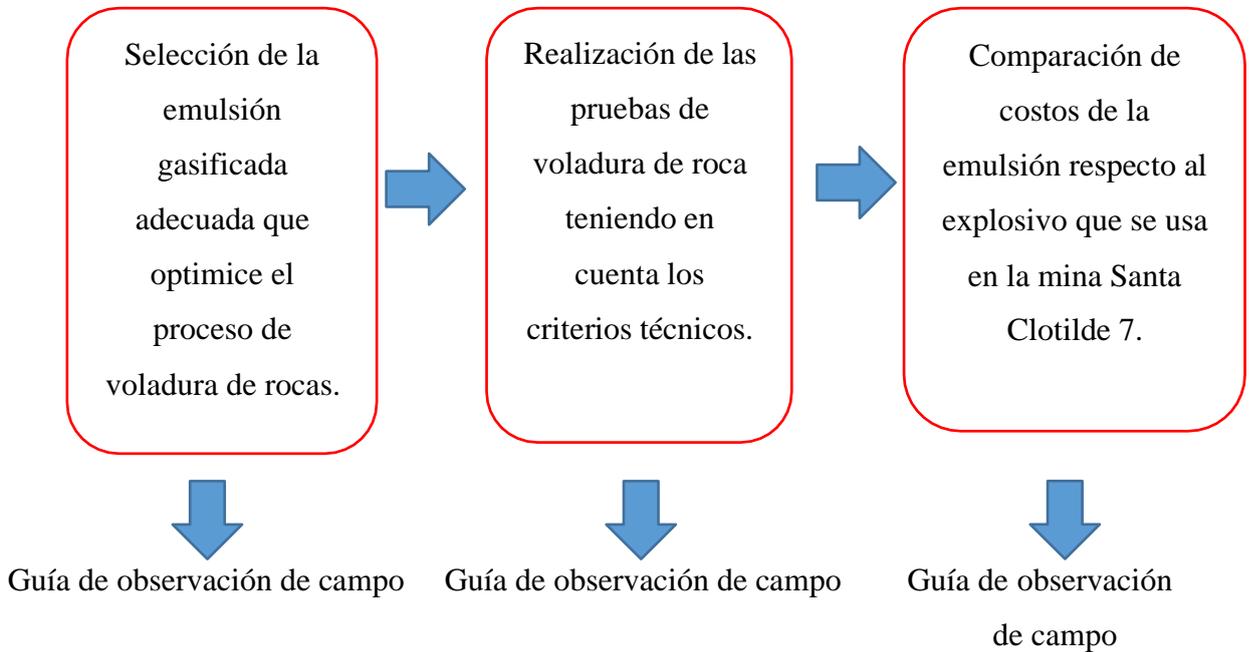
–Se utilizó un formato que permitió comparar los costos de voladura de las emulsiones respecto al explosivo que se utiliza en la mina Santa Clotilde 7. Ver Anexo 3

2.4.3. Validez y Confiabilidad

Para poder determinar estos indicadores se redactó un documento cuyo fin fue validar los instrumentos de recolección de datos y darle un grado de confiabilidad debido a que se redactó un documento en la cual especialistas conformados por un metodólogo en investigación, un estadístico y un ingeniero especializado en perforación y voladura de rocas evaluaron y firmaron afirmando que es válido y confiable.

2.5. Procedimiento

2.5.1. Diagrama de procesos



2.5.2. Descripción de los procesos

1. Selección de la emulsión gasificada adecuada que optimice el proceso de voladura.

Dentro de las emulsiones existe una serie de explosivos que presentan las mismas sustancias, pero en distintas densidades y concentraciones la cual se tiene en cuenta para seleccionar un explosivo, además que el costo se considera como un criterio de elección muy importante. Sin embargo, se debe tener en cuenta una serie de factores que son necesarios para una correcta selección en la cual este objetivo de selección se basa en criterios de diámetro de carga, características de la roca, la presencia de agua, condiciones de seguridad, atmósferas explosivas y problemas de suministro que tienen unas emulsiones con respecto a otras.

2. Pruebas de voladura de rocas teniendo en cuenta los criterios técnicos.

Este objetivo tiene como finalidad realizar las pruebas de voladura de rocas en campo, es decir se utilizará emulsiones distintas, por ejemplo: el Emulnor, Emulex y la Detonita de las cuales se evaluará sus características técnicas. Para la realización de las pruebas de voladura se necesitarán una serie de accesorios, sistema de iniciación y cebado; teniendo en cuenta el cuadro de los criterios técnicos de las emulsiones y la roca como son: la densidad, la velocidad de detonación, la presión de detonación, energía, la categoría de los humos, diámetro y profundidad de taladro, como también las propiedades geomecánicas de la roca en este caso la resistencia a la compresión simple.

En la presente investigación se realizará el siguiente ensayo.

Ensayo de voladura de rocas.

1) Principio

- Las densidades son variables. La densidad relativa de los explosivos está comprendida normalmente entre 0,8 y 1,6 g/cm³.
- La potencia explosiva depende de la composición del explosivo.
- El explosivo resiste al agua de acuerdo con el estado de agregación o composición que este pueda tener.

2) Objetivo

El objetivo del ensayo es probar el resultado de 3 voladuras con diferentes explosivos de acuerdo a sus características técnicas para determinar cuál de ellos optimiza mejor el proceso de voladura de rocas y que a la vez resulte más económico.

3) Materiales e insumos

- Explosivo
- Cordones detonantes
- Detonadores

- Conectores

4) Equipos e instrumentos

- Explosores no eléctricos.

5) Procedimiento

- Se procede a la perforación de la roca.
- Se carga con explosivo los barrenos
- Se prepara el cartucho cebo
- Se usa los detonadores
- Se hace la línea de tiro
- Se procede al disparo de la voladura de rocas
- Se inicia a través de los explosores
- Se verifica los barrenos fallidos o tiros soplados
- Finalmente, se hace todas las comprobaciones necesarias

6) Normativa

Tabla 4: Normativa técnica para el uso de explosivos

BASE LEGAL	DESCRIPCIÓN
DIRECTIVA 03-08-99 DGPNP/EMG-OFEES.	Establece normas y procedimientos administrativos para el almacenaje, transporte, seguridad y control del material explosivo que utilizan las unidades mineras a nivel nacional garantizando el adecuado cumplimiento de las disposiciones legales en vigencia.

Fuente: Elaboración propia (Dicscamec)

7) Valores permitidos

- Las distancias máximas hasta las que se produce la detonación por simpatía están entre 2 y 8 veces su diámetro.
- Se tendrá en cuenta si los explosivos son sensibles o no al detonador número 8.
- La densidad del explosivo tiene que estar comprendida entre 0,8 y 1,6 g/cm³.

8) Precios

El precio del ensayo es aproximadamente de \$100 por cada voladura de rocas en 1.20m de avance.

3. Análisis de la gestión de costos de voladura de la emulsión gasificada con respecto al explosivo que se usa en la mina Santa Clotilde 7

Una vez realizadas todas las pruebas de voladura de rocas se determinará el explosivo a utilizar de forma general de tal manera que sea el de menor coste, es decir aquel que haya dado la mejor potencia requerida al menor coste por unidad de longitud de barreno cargado. Así que, se entiende desde una perspectiva económica que el mejor explosivo no es el más barato sino el que alcanza el menor costo de voladura. Se realizará a través de la comparación de los costos. Actualmente se realizan voladuras de rocas con dinamita semexa de 7/8, fulminante y mecha de seguridad cuyos costes semestrales de acuerdo al plan de minado son \$ 18,964.30 aproximadamente. Al costear económicamente es que se analizará la rentabilidad que tiene una emulsión gasificada

2.5.3. Normativa

- D.S 023-2017-EM
- 024-2016
- NORMA ASTM
- DIRECTIVA N 03-08-99 DGPNP/EMG-OFEES.

2.6. Método de análisis de datos

a. Método Analítico.

Según García y Ortiz (2005). Afirman que: Este método es aquel en el que se puede observar aquellas causas, naturaleza y efecto de un todo. Es decir, su análisis es dado mediante la observación y su respectivo examen de algo que ocurre particularmente, por lo tanto, se entiende que es necesario poder conocer y comprender su naturaleza y objeto del fenómeno. A través de este método se podrá conocer más detalles del objeto de estudio, para poder explicar, hacer relaciones, comprender su comportamiento para finalmente establecer nuevas teorías.

b. Método Sistémico

Según Maya (2014). Afirma que: Es aquel método que permite establecer un orden basado en reglas y normas que la misma investigación ofrece la cual nos hará tener una comprensión de una situación dada tanto en su organización como en su estructura. En el análisis de datos se realiza la verificación de la hipótesis y las técnicas estadísticas aplicadas, para ordenar información, desarrollar gráficos e interpretar información referente al marco teórico.

2.7. Aspectos Éticos

Según los principios que establece la universidad y que da lugar a que se desarrolle la investigación los aspectos que se consideran son los siguientes: el manejo de fuentes de consulta, la claridad en los objetivos de la investigación, la transparencia en los datos que se obtienen y la confidencialidad y profundidad en el desarrollo de la investigación

El manejo de fuentes de consulta: Representa a las referencias bibliográficas con datos completos. Un archivo con todas las fuentes consultadas que se refiere a las citas textuales y las no textuales en caso se tratase de imágenes donde se diferencia las aportaciones de otras personas y las propias al momento de interpretar los textos.

La claridad en los objetivos de investigación: Se plasma los objetivos desde un principio sin cambiarlos ni manipularlos a conveniencia personal

La transparencia de los datos obtenidos: Se registran en el informe de investigación tal y cual ocurrieron las cosas o hechos y se cuida que las interpretaciones personales no se confundan con estos. Por lo que se determinan los límites de la investigación y no se manipulan los alcances de la misma.

La confidencialidad y la profundidad en el desarrollo de la investigación: Se respeta el anonimato si es que desea el o los interesados. Se cuida que la divulgación de los datos obtenidos tenga un carácter científico, es decir, no se debe hacer comentarios de los datos a personas o instituciones ajenas a la investigación. Así mismos se tiene en cuenta las diferentes posturas en torno al tema de investigación sobre el dominio de la temática que aborda ampliamente la investigación para que finalmente se esté en continua búsqueda de fuentes de consulta actualizadas.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la aplicación de los instrumentos y considerando los objetivos de la investigación, la presentación de los resultados se hace a través de la siguiente tabla con su respectivo análisis.

3.1. Selección de la emulsión gasificada adecuada que optimice el proceso de voladura de rocas.

Se seleccionaron tres tipos de emulsiones para cada tipo de roca.

Tabla 5: Selección del Emulnor según el tipo de roca.

EMULSIÓN 1	
EMULNOR 500	Para la voladura de rocas muy suaves
EMULNOR 1000	Para la voladura de rocas suaves a intermedias
EMULNOR 3000	Para la voladura de rocas intermedias a duras
EMULNOR 5000	Para la voladura de rocas muy duras

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Características técnicas del EMULNOR según el tipo de roca

v							
TIPO	DENSIDAD (g/cm ³)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)	ENERGÍA (kcal/kg)	CATEGORÍA DE LOS HUMOS	DIÁMETRO DEL TALADRO (pulg)	PROFUNDIDAD DEL TALADRO (m)
EMULNOR® 500 1" x 7"	1,13 ± 0,15	Confinado* 4400 ± 300	44	628	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 3 500 ± 300					
EMULNOR® 1000 1" x 7"	1,13 ± 0,15	Confinado* 5800 ± 300	95	785	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4 500 ± 300					
EMULNOR® 3000 1" x 7"	1,14 ± 0,1	Confinado* 5700 ± 300	85	785	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4400 ± 300					
EMULNOR® 5000 1" x 7"	1,16 ± 0,1	Confinado* 5500 ± 300	88	1010	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4200 ± 300					

* Velocidad de detonación en tubo de 1 1/2 pulgadas de diámetro

** Velocidad de detonación como cartucho de 1 pulgada de diámetro

Fuente: Elaboración propia (Famesa Explosivos - Guía de observación aplicada)

Tabla 7: Selección del Emulex según el tipo de roca.

EMULSIÓN 2	
EMULEX 45	Para la voladura de rocas muy suaves
EMULEX 65	Para la voladura de rocas suaves a intermedias
EMULEX 80	Para la voladura de rocas semiduras a duras
EMULEX 100	Para la voladura de rocas muy duras

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Características técnicas del EMULEX según el tipo de roca

EMULSIÓN GASIFICADA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
TIPO	DENSIDAD (g/cm ³)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)	ENERGÍA (kcal/kg)	CATEGORÍA DE LOS HUMOS	DIÁMETRO DEL TALADRO (pulg)	PROFUNDIDAD DEL TALADRO (m)
EMULEX 45 1" x 7"	1,00 ± 5%	Confinado* 4700 ± 300	55	711,5	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4100 ± 300					
EMULEX 65 1" x 8"	1,13 ± 5%	Confinado* 5700 ± 300	87	809	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4 500 ± 300					
EMULEX 80 1" x 8"	1,14 ± 5%	Confinado* 5600 ± 300	89	999	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4400 ± 300					
EMULEX 100 1" x 8"	1,16 ± 5%	Confinado* 5600 ± 300	91	1057,6	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4300 ± 300					

* Velocidad de detonación en tubo de acero de 1 1/2 pulgadas de diámetro (Schedule 40)

** Velocidad de detonación como cartucho de 1 1/4 pulgadas de diámetro

** Calculado con programa TERMODET a condiciones ideales de 1 atm

Fuente: Elaboración propia (Exsa Explosivos - Guía de observación aplicada)

Tabla 9: Selección de la Detonita según el tipo de roca.

EMULSIÓN 3	
DETONITA 1000	Para la voladura de rocas suaves
DETONITA 3000	Para la voladura de rocas intermedias
DETONITA 5000	Para la voladura de rocas duras

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Características técnicas de la DETONITA según el tipo de roca

EMULSIÓN GASIFICADA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
TIPO	DENSIDAD (g/cm ³)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)	ENERGÍA (kcal/kg)	CATEGORÍA DE LOS HUMOS	DIÁMETRO DEL TALADRO (pulg)	PROFUNDIDAD DEL TALADRO (m)
DETONITA 1000 7/8" x 7"	1,11	Confinado* 5500	88	785	Primera	7/8"	1.2
		S/Confinar ** 4500					
DETONITA 3000 7/8" x 7"	1,13	Confinado* 5300	93	858	Primera	7/8"	1.2
		S/Confinar ** 4300					
DETONITA 5000 7/8" x 7"	1,15	Confinado* 5200	98	893	Primera	7/8"	1.2
		S/Confinar ** 4200					

* Velocidad de detonación como cartucho de 1 1/2 pulgada de diámetro

** Velocidad de detonación en tubo de 7/8 pulgadas de diámetro

Fuente: Elaboración propia (Famesa Explosivos - Guía de observación aplicada)

Se puede observar a través de las tablas las emulsiones que se van a utilizar para las pruebas de voladura; las cuales se han seleccionado de acuerdo a criterios técnicos. El criterio está basado en el tipo de roca que se va a volar, es decir, de acuerdo a la resistencia a la compresión y al RMR que presente la roca. Así mismo por tratarse de una minería subterránea los diámetros de los taladros siguen siendo los mismos con los que trabaja la mina para que la evaluación este centrada en la parte técnica del explosivo.

3.2. Realización de las pruebas de voladura de rocas teniendo en cuenta los criterios técnicos.

3.2.1. Características del macizo rocoso

Se realizó una evaluación del macizo rocoso teniendo en cuenta dos parámetros técnicos, es decir, se tuvo que determinar mediante ensayos de laboratorio la resistencia a la compresión simple y el RMR cuyos datos han sido procesados en el software Geotable para saber qué tipo de roca es según estos criterios.

Tabla 11: Resultado de laboratorio del ensayo de compresión simple

COMPRESIÓN SIMPLE MUESTRA N.º 1							
Testigo	Densidad (g/cm ³)	Dimensiones de la probeta			Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Promedio de la resistencia a la compresión
		Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)			
T-1	2,40	591	11,1	5,5	80,45	120,18	165,89 MPa
T-2		599	11,1	5,5	88,80	210,97	

Fuente: Elaboración propia (Guía de observación aplicada)

Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)

Resistencia de la Roca Inalterada

Indice de Carga Puntual (MPa) > 10MPa 4-10MPa 2-4MPa 1-2MPa

Resistencia a la compresión uniaxial (MPa) > 250MPa 100-250MPa 50-100MPa 25-50MPa 5-25MPa 1-5MPa < 1MPa

Rating 12

RQD (Indice de calidad de la roca)

75-90 %

Rating 17 Calcular

Espaciamiento de discontinuidades

60-200mm Ver Gráfico

Rating 8

Condición de discontinuidades

Persistencia: 1-3m Apertura: 0,1-1mm Rugosidad: Moderadamente ru

Relleno: Relleno duro >5mm Meteorización: Moderadamente alterado

Ver general Rating 16

Corrección por orientación de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje

A favor del Buzamiento °

En contra del Buzamiento °

Rumbo paralelo al eje del túnel °

Túnel o minas
 Cimentaciones
 Taludes

Rating :10 Ver gráfica

Presencia de agua

Caudal en 10m túnel (l/min): Ninguno Gw/G3 (Presión del agua/esfuerzo principal): 0

Estado: Seco Rating 15

Calcular

RMR 58 Ver reporte

Limpiar

Figura 8: Datos ingresados en el software Geotable (muestra 1 - testigo 1)

Fuente: Elaboración propia (Software Geotable)

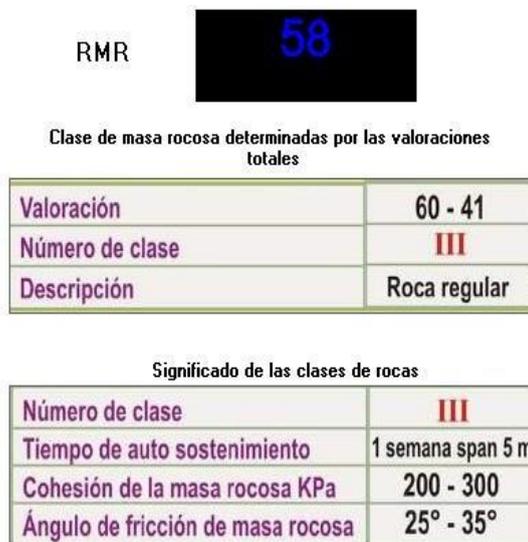


Figura 9: RMR (muestra 1 - testigo 1)

Fuente: Elaboración propia (Software Geotable)

Correlaciones y Conceptos Generales **MRMR** **GSI** **SMR**

RMR **Q de Barton** **GSI** **SMR**

Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)

Resistencia de la Roca Inalterada

Indice de Carga Puntual (MPa) > 10MPa 4-10MPa 2-4MPa 1-2MPa

Resistencia a la compresión uniaxial (MPa) > 250MPa 100-250MPa 50-100MPa 25-50MPa 5-25MPa 1-5MPa < 1MPa

Rating 12

ROD (Indice de calidad de la roca) **Espaciamiento de discontinuidades**

90-100 % **Rating** 20

60-200mm **Rating** 8

Condición de discontinuidades

Persistencia 1-3m Apertura 0.1-1mm Rugosidad Moderadamente ru

Relleno Relleno duro >5mm Meteorización Moderadamente alterado **Rating** 16

Presencia de agua

Caudal en 10m túnel (l/min) Ninguno Gw/G3 (Presión del agua/esfuerzo principal) 0

Estado Seco **Rating** 15

Corrección por orientación de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje **Rumbo paralelo al eje del túnel**

A favor del Buzamiento **Rating** -10

En contra del Buzamiento Túnel o minas Cimentaciones Taludes

RMR 61

Figura 10: Datos ingresados en el software Geotable (muestra 1 - testigo 2)

Fuente: Elaboración propia (Software Geotable)

RMR **61**

Clase de masa rocosa determinadas por las valoraciones totales

Valoración	80 - 61
Número de clase	II
Descripción	Roca buena

Significado de las clases de rocas

Número de clase	II
Tiempo de auto sostenimiento	1 año span 10 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	300 - 400
Ángulo de fricción de masa rocosa	35° - 45°

Figura 11: RMR (muestra 1 - testigo 2)

Fuente: Elaboración propia (Software Geotable)

Tabla 12: Características del macizo rocoso

Muestra	Resistencia a la compresión simple	RMR	RQD	Descripción	Tipo	Densidad
Muestra 1 Testigo 1	120 Mpa	58	80%	Roca regular	III	2.40 g/cm ³
Muestra 1 Testigo 2	210 Mpa	61	95%	Roca buena	II	2.40 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Diseño de la malla de perforación

En esta investigación no se utilizó ningún modelo matemático para determinar los parámetros de voladura, sin embargo, se usó los estándares de la mina.

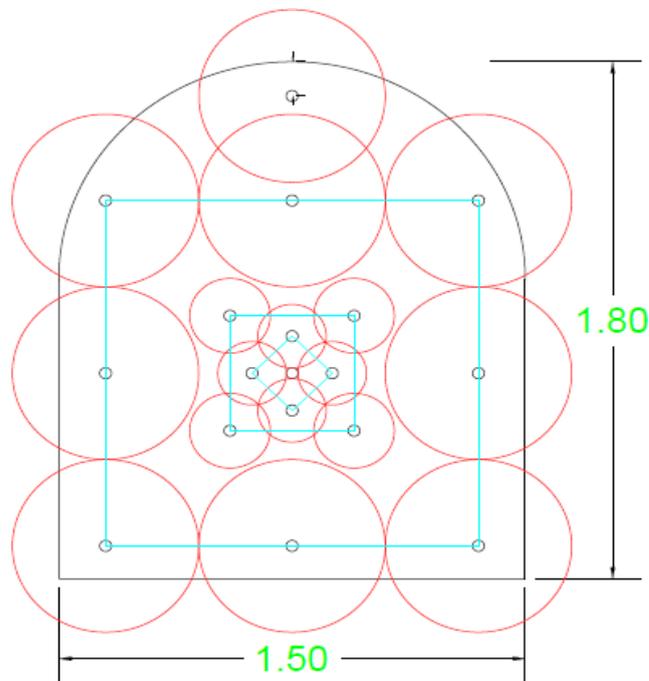


Figura 12: Malla de perforación de la mina Santa Clotilde 7

Fuente: Mina Santa Clotilde 7

3.2.3. Explosivo y accesorios de uso estándar

El explosivo estándar en esta unidad minera es la dinamita Semexsa 65 de 7/8" x 7" cuyos accesorios son el fulminante N° 8 y la mecha de seguridad.

Tabla 13: Detalles de Perforación y voladura

Longitud de taladro	1.20 m
Diámetro del taladro	22.225 mm
Diámetro del taladro de alivio	22.225 mm
N° de taladros cargados	17
N° de taladros sin carga	1
Total de cartuchos	102 unidades
Total de fulminante N° 8	17 unidades
Total de mecha lenta	23. 8 m

Fuente: Elaboración propia (datos de la mina Santa Clotilde 7)

3.2.4 Resultados de la voladura de rocas

En la investigación se muestra los resultados obtenidos en las pruebas de campo efectuadas entre el 20 y 30 de mayo del 2019 con emulsiones gasificables.

El objetivo primordial de estas pruebas es que estuvieron orientadas a evaluar si es factible usar las emulsiones, como alternativa frente al uso de dinamita examinando las ventajas técnicas que estas ofrecen.

3.2.5. Cálculos técnicos para la voladura

a) Cálculo de la cantidad de explosivo por taladro

Un aspecto que demuestra el ahorro de explosivo al utilizar es el factor de carga, es decir, se determinó la cantidad de explosivo por disparo.

Factor de carga lineal según la ecuación de Calvin Konya.

$$dc = \frac{(SG_{\text{explosivo}})(D_{\text{taladro}})^2(\pi)}{4000}$$

Dónde:

dc = Densidad de carga (Kg/m)

SG_{explosivo} = Densidad del explosivo (g/cm³)

D = Diámetro del taladro (mm)

Tabla 14: Densidad de carga explosiva de la dinamita semexsa 65

DINAMITA SEMEXA 65
$dc = \frac{(1.12 \text{ g/cm}^3)(22.225\text{mm})^2(\pi)}{4000}$
$dc = 0.43 \text{ kg/m}$
Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)
$dc = 0.43 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$
$dc = 0.34 \text{ kg/taladro}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Densidad de carga explosiva del Emulnor

EMULNOR 1000	EMULNOR 3000	EMULNOR 500
$dc = \frac{(1.13^{9} / \text{cm}^3)(25,4\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.57 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)	$dc = \frac{(1.14^{9} / \text{cm}^3)(25,4\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.58 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)	$dc = \frac{(1.16^{9} / \text{cm}^3)(25,4\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.59 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)
$dc = 0.57 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.458 \text{ kg/taladro}$	$dc = 0.58 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.462 \text{ kg/taladro}$	$dc = 0.59 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.47 \text{ kg/taladro}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Densidad de carga explosiva del Emulex

EMULEX 65	EMULEX 85	EMULEX 100
$dc = \frac{(1.12^{9} / \text{cm}^3)(25,4\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.568 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)	$dc = \frac{(1.14^{9} / \text{cm}^3)(25,4\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.578 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)	$dc = \frac{(1.16^{9} / \text{cm}^3)(25,4\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.588 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)
$dc = 0.57 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.454 \text{ kg/taladro}$	$dc = 0.58 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.462 \text{ kg/taladro}$	$dc = 0.59 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.47 \text{ kg/taladro}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Densidad de carga explosiva de la Detonita

DETONITA 1000	DETONITA 3000	DETONITA 5000
$dc = \frac{(1.11^{9} / \text{cm}^3)(22,225\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.43 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)	$dc = \frac{(1.13^{9} / \text{cm}^3)(22,225\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.438 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)	$dc = \frac{(1.15^{9} / \text{cm}^3)(25,4\text{mm})^2(\pi)}{4000}$ $c = 0.446 \text{ kg/m}$ Taco=0.4m (1/3 de la longitud del taladro)
$dc = 0.44 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.344 \text{ kg/taladro}$	$dc = 0.44 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.351 \text{ kg/taladro}$	$dc = 0.44 \text{ kg/m} \times (1.20\text{m} - 0.4\text{m})$ $dc = 0.357 \text{ kg/taladro}$

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo del volumen volado

$$Vol. volad = (\text{sección del frente})(\text{avance})(\text{eficiencia de la perforación})$$

$$Vol. volad = 5\text{m}^2 \times 1.20\text{m} \times 0.95$$

$$Vol. volad = 5.7 \text{ m}^3/\text{disparo}$$

c) Cálculo del total de movimiento de tierra

$$\text{Toneladas. total} = (\text{volumen volado})(\text{peso específico de la roca})$$

$$\text{Toneladas. total} = 5.7 \text{ m}^3 \times 2.40 \text{ T/m}^3$$

$$\text{Toneladas. total} = 13.68 \text{ T/Disparo}$$

d) Cálculo de la cantidad de cartuchos por taladro

Tabla 18: Datos de los cartuchos

DATOS	EMULNOR 3000	EMULEX 65	DETONITA 3000	SEMEXSA 65
Diámetro del cartucho	25,4 mm	25,4 mm	22.225 mm	22.225
Longitud del cartucho	177,8 mm	203,2 mm	177,8 mm	177,8 mm
Densidad del explosivo	1,14 g/cm ³	1,12 g/cm ³	1,13 g/cm ³	1,12 g/cm ³
Masa	103,4g/cartucho	116 g /cartucho	76,3 g/cartucho	75,7 g/cartucho

Fuente: Elaboración propia

$$N_{\text{Cartuchos}} = \frac{\text{densidad de carga real} \times 1000}{\text{masa}}$$

Tabla 19: Número de cartuchos por emulsión

EMULNOR 3000	EMULEX 65	DETONITA 3000
$N_c = \frac{0.462 \frac{\text{kg}}{\text{cartucho}} \times 1000}{103.4 \text{ g/cartucho}}$ $N_{\text{cartuchos}} = 4 \text{ cartuchos}$	$N_c = \frac{0.454 \frac{\text{kg}}{\text{cartucho}} \times 1000}{116 \text{ g/cartucho}}$ $N_{\text{cartuchos}} = 3.91 \approx 4 \text{ cartuchos}$	$N_c = \frac{0.357 \frac{\text{kg}}{\text{cartucho}} \times 1000}{76.3 \text{ g/cartucho}}$ $N_{\text{cartuchos}} = 4.68 \approx 5 \text{ cartuchos}$

Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Diseño de carga

Se elaboró el diseño de carga de las emulsiones y de la dinamita para poder compararlas y a partir de ello según el criterio técnico se determinó que el emulnor 3000 es el mejor explosivo idóneo para poder sustituir a la dinamita semexsa 65.

Tabla 20: Distribución de carga de las emulsiones según el tipo de roca

DISTRIBUCION DE CARGA DE LA EMULSIÓN - ROCA TIPO II							
CANTIDAD DE TALADROS		EMULNOR 3000	TOTAL EN KILOS	EMULEX 65	TOTAL EN KILOS	DETONITA 3000	TOTAL EN KILOS
		Cartuchos x Taladro		Cartuchos x Taladro		Cartuchos x Taladro	
		1" x 7"		1" x 8"		7/8" x 7"	
ARRANQUE	3	4	1.24	4	1.39	5	1.14
1RA. AYUDA	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2DA. AYUDA	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
AY. CUADRADOR	4	4	1.65	4	1.86	5	1.53
CUADRADOR	4	4	1.65	4	1.86	5	1.53
AY. CORONA	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
CORONA	1	4	0.41	4	0.46	5	0.38
ARRASTRE	3	4	1.24	4	1.39	5	1.14
CUNETA	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
TAL. RIMADOS	2	4	0.83	4	0.93	5	0.76
TAL. ALIVIOS	1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
TOTAL	18	68	7.02	68	7.89	85	6.49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Distribución de carga del explosivo estándar que se usa en la mina Santa Clotilde 7

DISTRIBUCIÓN DE CARGA DE LA DINAMITA SEMEXSA 65				
CANTIDAD DE TALADROS		SEMEXSA 65		TOTAL EN KILOS
		Cartuchos x Taladro		
		7/8" x 7"		
ARRANQUE	3	6	1.36	
1RA. AYUDA	0	0	0.00	
2DA. AYUDA	0	0	0.00	
AY. CUADRADOR	4	6	1.82	
CUADRADOR	4	6	1.82	
AY. CORONA	0	0	0.00	
CORONA	1	6	0.45	
ARRASTRE	3	6	1.36	
CUNETA	0	0	0.00	
TAL. RIMADOS	2	6	0.91	
TAL. ALIVIOS	1	0	0.00	
TOTAL	18	102	7.72	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Factor de Potencia de las emulsiones

EMULNOR 3000	EMULEX 65	DETONITA 3000
$Fp = \frac{Kg/Disparo}{Tn/Disparo}$ $Fp = \frac{7.02}{13.68}$ $Fp = 0.51 \text{ Kg}/Tn$	$Fp = \frac{Kg/Disparo}{Tn/Disparo}$ $Fp = \frac{7.89}{13.68}$ $Fp = 0.57 \text{ Kg}/Tn$	$Fp = \frac{Kg/Disparo}{Tn/Disparo}$ $Fp = \frac{6.49}{13.68}$ $Fp = 0.47 \text{ Kg}/Tn$

Fuente: Elaboración propia

3.2.7. Velocidad de detonación

Para medir la velocidad de detonación de las emulsiones se tuvo en cuenta la medición realizada en campo ya que permite comprobar la evolución de la velocidad de detonación a lo largo del barreno la cual permitió ver la relación entre el comportamiento que tiene el explosivo en condiciones reales de aplicación.

La velocidad de detonación de la emulsión gasificada ha sido medida en una roca tipo II cuyos valores obtenidos durante esta etapa son los siguientes.

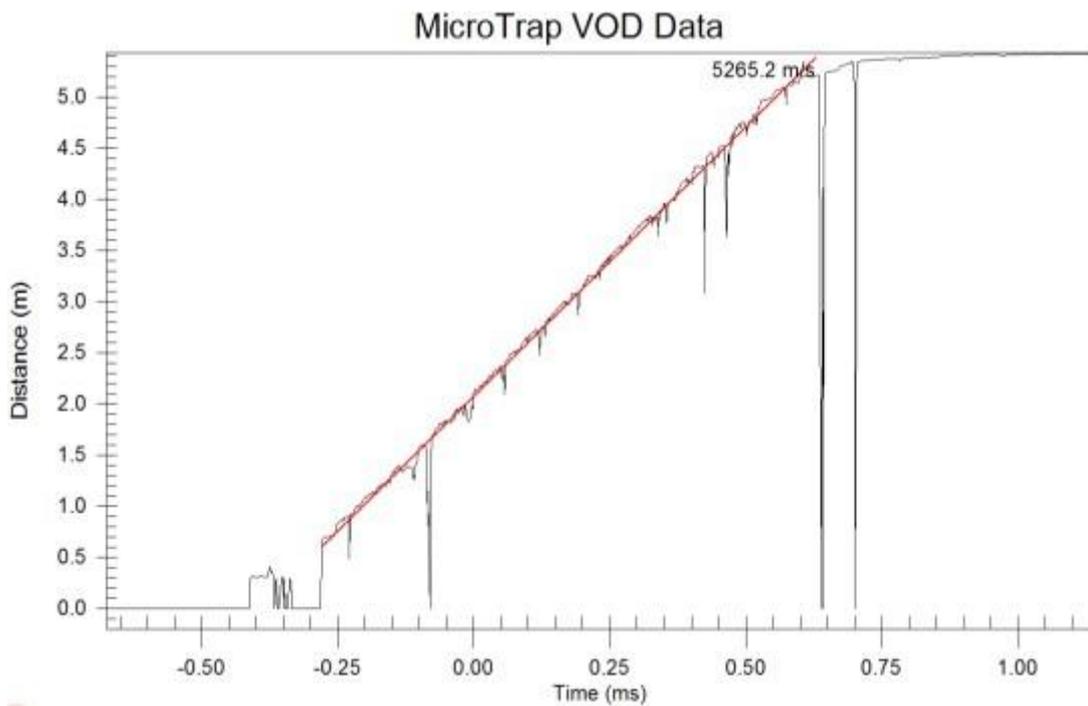


Figura 13: Registro de la velocidad de detonación del Emulnor 3000

Fuente: Elaboración propia (Software Micro Trap)

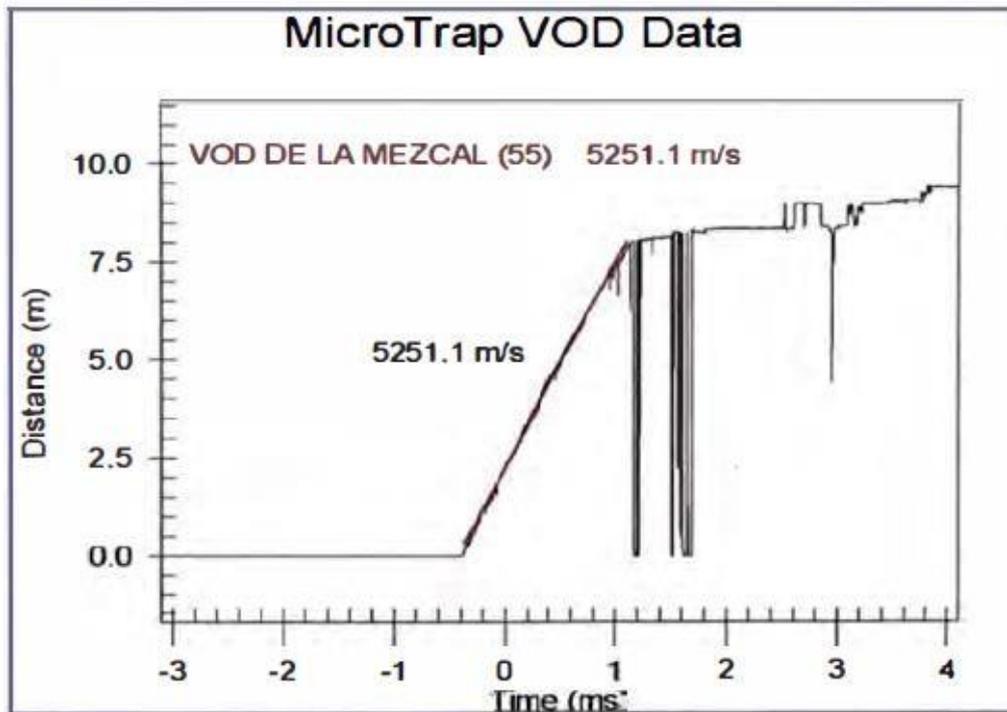


Figura 14: Registro de la velocidad de detonación del Emulex 65

Fuente: Elaboración propia (Software Micro Trap)

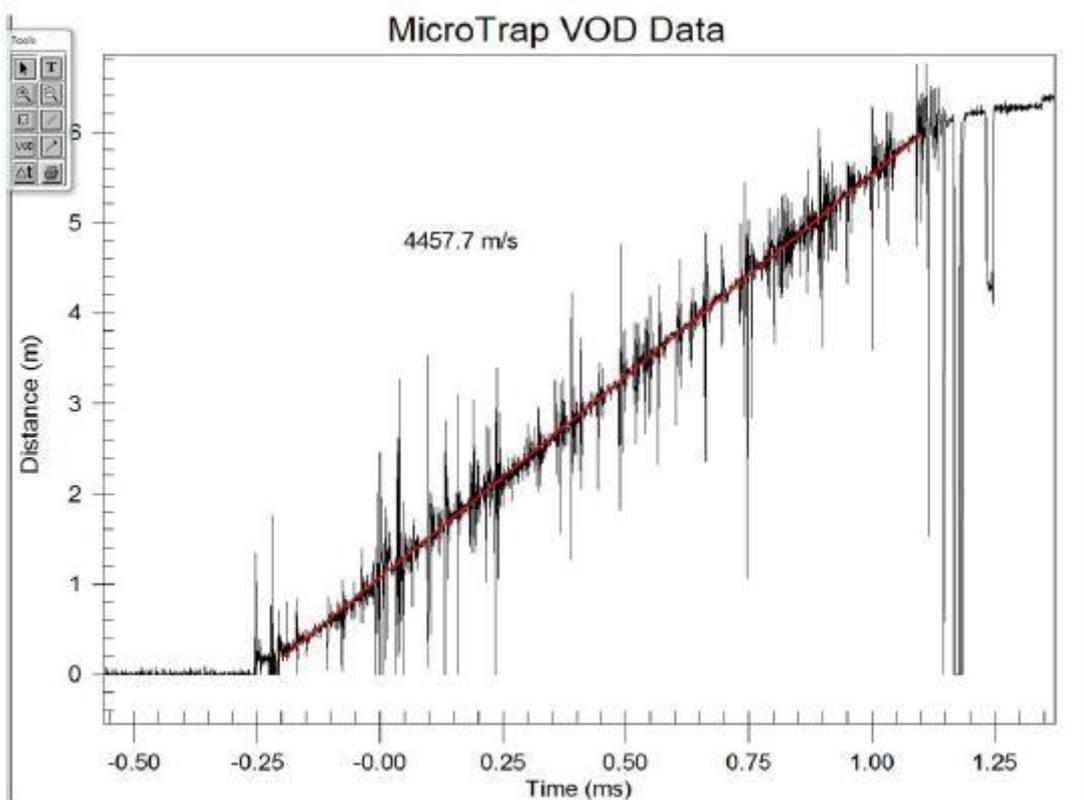


Figura 15: Registro de la velocidad de detonación de la Detonita 3000

Fuente: Elaboración propia (Software Micro Trap)

3.2.8. Presión de detonación

La presión de detonación es un parámetro del explosivo que se encuentra en función de la densidad y la velocidad de detonación del explosivo. Una vez que se obtuvo estos resultados reales en campo y laboratorio se puede determinar a través de la siguiente fórmula para cada emulsión.

$$PD = 432x 10^{-6}x \rho_e x \frac{VD^2}{1 + 0,8x\rho_e}$$

Dónde:

PD = Presión de Detonación (MPa)

ρ_3 = Densidad del explosivo (g/cm³)

VD = Velocidad de detonación (m/s)

1. Presión de detonación para el Emulnor 3000

$$PD = 432x 10^{-6}x 1.14x \frac{5265,2^2}{1 + 0,8x1.14}$$

$$PD = 7140 MPa \approx 71,4 Kbar$$

2. Presión de detonación para el Emulex 65

$$PD = 432x 10^{-6}x 1.12x \frac{5251,1^2}{1 + 0,8x1.12}$$

$$PD = 7036 MPa \approx 70,36 Kbar$$

3. Presión de detonación para la Detonita 3000

$$PD = 432x 10^{-6}x 1.13x \frac{4457,7^2}{1 + 0,8x1.13}$$

$$PD = 5095 MPa \approx 51 Kbar$$

3.3. Comparación de los costos de voladura de la emulsión gasificada con respecto al explosivo que se usa en la mina Santa Clotilde 7.

Tabla 23: Cuadro económico comparativo del Emulex y la Dinamita

SECCIÓN 1.50 m x 1.80 m						
ACTIVIDADES	VOLADURA DE ROCAS					
	EMULSIÓN ENCARTUCHADA			DINAMITA		
ACCESORIOS DE VOLADURA	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
FULMINTE N° 8 (Pza)	17	0.19	3.23	17	0.19	3.23
MECHA DE SEGURIDAD (Mts)	31.11	0.19	5.91	31.11	0.19	5.91
SUB TOTAL			9.14			9.14
EXPLOSIVO	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
EMULEX 65 1" x 8" (Kg)	7.89	2.19	17.28	7.72	3.40	26.25
COSTO MANO DE OBRA	Horas_Utili.	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
MAESTRO	1	5.00	5.00	1	5.00	5.00
AYUDANTE	1	4.50	4.50	1	4.50	4.50
SUB TOTAL			9.50			9.50
COSTO TOTAL US \$			35.92			44.89
RESULTADOS						
AVANCE PROMEDIO (m)	1.20		1.20			
AVANCE PROMEDIO (Tn/Disp.)	13.68		13.68			
COSTO (metro de avance) \$	29.9		37.4			
COSTO (Voladura) \$	35.92		44.89			
COSTO(\$/Tn)	2.63		3.28			
AHORRO A FAVOR DEL EMULEX 65 1" x 8"						\$ 7.5 x m
AHORRO A FAVOR DEL EMULEX 65 1" x 8"						\$ 8.97 x voladura

Fuente: Elaboración propia (Guía de Observación)

Tabla 24: Cuadro económico comparativo del Emulnor y la Dinamita

SECCIÓN 1.50 m x 1.80 m						
ACTIVIDADES	VOLADURA DE ROCAS					
	EMULSIÓN ENCARTUCHADA			DINAMITA		
ACCESORIOS DE VOLADURA	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
FULMINTE N° 8 (Pza)	17	0.19	3.23	17	0.19	3.23
MECHA DE SEGURIDAD (Mts)	31.11	0.19	5.91	31.11	0.19	5.91
SUB TOTAL			9.14			9.14
EXPLOSIVO	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
EMULNOR 1" x 7" (Kg)	7.02	2.35	16.50	7.72	3.40	26.25
COSTO MANO DE OBRA	Horas_Utili.	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
MAESTRO	1	5.00	5.00	1	5.00	5.00
AYUDANTE	1	4.50	4.50	1	4.50	4.50
SUB TOTAL			9.50			9.50
COSTO TOTAL US \$			35.14			44.89
RESULTADOS						
AVANCE PROMEDIO (m)		1.20			1.20	
AVANCE PROMEDIO (Tn/Disp.)		13.68			13.68	
COSTO (metro de avance) \$		29.3			37.4	
COSTO (Voladura) \$		35.14			44.89	
COSTO (\$/Tn)		2.57			3.28	
AHORRO A FAVOR DEL EMULNOR 3000 1" x 7"						\$ 8.1 x m
AHORRO A FAVOR DEL EMULNOR 3000 1" x 7"						\$ 9.75 x voladura

Fuente: Elaboración propia (Guía de Observación)

Tabla 25: Cuadro económico comparativo de la Detonita y la Dinamita

SECCIÓN 1.50 m x 1.80 m						
ACTIVIDADES	VOLADURA DE ROCAS					
	EMULSIÓN ENCARTUCHADA			DINAMITA		
ACCESORIOS DE VOLADURA	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
FULMINTE N° 8 (Pza)	17	0.19	3.23	17	0.19	3.23
MECHA DE SEGURIDAD (Mts)	31.11	0.19	5.91	31.11	0.19	5.91
SUB TOTAL			9.14			9.14
EXPLOSIVO	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
DETONITA 1" x 7" (Kg)	6.49	2.75	17.85	7.72	3.40	26.25
COSTO MANO DE OBRA	Horas_Utili.	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
MAESTRO	1	5.00	5.00	1	5.00	5.00
AYUDANTE	1	4.50	4.50	1	4.50	4.50
SUB TOTAL			9.50			9.50
COSTO TOTAL US \$			36.49			44.89
RESULTADOS						
AVANCE PROMEDIO (m)		1.20			1.20	
AVANCE PROMEDIO (Tn/Disp.)		13.68			13.68	
COSTO (metro de avance) \$		30.4			37.4	
COSTO (Voladura) \$		36.49			44.89	
COSTO (\$/Tn)		2.67			3.28	
AHORRO A FAVOR DEL EMULEX 80 1" x 8"						\$ 7 x m
AHORRO A FAVOR DEL EMULEX 80 1" x 8"						\$ 8.4 x voladura

Fuente: Elaboración propia (Guía de Observación)

Tabla 26: Diferencia del total de costos de voladura por periodos

Explosivo	Costo de voladura (\$)	Número de Voladuras diarias (\$)	Total del costo de voladura diaria (\$)	Total del costo de voladura mensual (\$)	Total del costo de voladura semestral (\$)
Dinamita Semexsa 65	\$ 44.89	3	\$ 134.67	\$ 4,040.10	\$ 24,240.60
Emulnor 3000	\$ 35.14	3	\$ 105.42	\$ 3,162.60	\$ 18,975.60
Diferencia a favor del Emulnor	\$ 9.75		\$ 29.25	\$ 877.50	\$ 5,265.00

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

El resultado con respecto a la evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada confirma la hipótesis planteada cuyo fin es la optimización de la voladura de rocas como así mismo lo indica Guerra (2013). El cual señala que usar emulsión gasificada para reducir los costos de voladura en minería subterránea es una alternativa factible para el reemplazo de las dinamitas, es decir, se puede apreciar en la tabla 24 la evidencia de reducción de costos de voladura del emulnor respecto a la dinamita ya que tiene una mayor influencia el mercado de explosivos cuyo coste varía en el tiempo.

Así mismo se seleccionó distintas emulsiones cuyas características técnicas son variables y superiores a comparación del explosivo de uso estándar, se puede evidenciar en la tabla 5 y 6 que su efecto está relacionado con la eficiencia del explosivo expuesto a distintas condiciones. López (2013). Indica que, para realizar una buena selección se debe tener en cuenta el volumen de roca a volar, el precio del explosivo y las propiedades de la roca. Esto corrobora en la investigación dado que se ha tenido en cuenta dichos criterios cuyos resultados son semejantes; evidenciados en la tabla 12, en la cotización y los cálculos técnicos ya que se ha podido contrastar que el mejor explosivo es aquel que tiene el menor costo y que a la vez proporciona la mayor potencia al menor costo por unidad de longitud de taladro cargado.

Para realizar las pruebas de voladura de rocas se ha tenido en cuenta principalmente el monitoreo de la velocidad de detonación que se puede apreciar en la figura 13 la cual representa el valor real medido en campo. Muchas investigaciones trabajan con los valores estandarizados sin tener en cuenta que ha sido aplicada en otra realidad cuyo comportamiento del explosivo es distinto. Por lo tanto, se concuerda con Medina (2014). Quien afirma que, determinar la velocidad de detonación en campo es muy importante ya que el mayor efecto será reflejado en la fragmentación de la roca, gracias a que se tuvo en cuenta este criterio se pudo corroborar que los efectos fueron positivos ya que estas emulsiones actúan de manera eficiente frente a cualquier condición y se puede evidenciar a través de la fotografía 4.

Así mismo Sune (2013). Contrasta los resultados y costos de la voladura de rocas con emulsión gasificada emulnor 3000 respecto a la dinamita en el cual demuestra que la optimización de la voladura está dada por el incremento de los indicadores de

productividad tales como el material volado por disparo, los metros lineales avanzados y la reducción del factor de carga y avance. Entonces, basándose en estos resultados y evidenciados en la tabla 15 ,19 y 20 en esta investigación se utilizó menos explosivo por lo que el coste de voladura fue menor; esto se logró gracias a sus favorables propiedades explosivas de la emulsión que está reemplazando el uso constante de dinamita y superando en grandes porcentajes su nivel de eficiencia técnica que repercute en una óptima voladura reduciendo principalmente los costos de tal manera que se ha podido evidenciar en ambas investigaciones ahorros potenciales en el consumo de explosivo al realizar una comparación económica cuyo resultado final es favorable y se puede apreciar en la tabla 23, 24 y 25.

Sin embargo, se compara que los resultados necesariamente no son similares debido a que Medina (2014). En su investigación encontró otro resultado ya que el costo de voladura incrementa, lo cual no concuerda con los resultados obtenidos en la tabla 23, 24 y 25 pero que a largo plazo no genera un gran impacto económico ya que produce una excelente fragmentación reduciendo el esponjamiento del material cuyo ahorro potencial se da en el proceso de la conminución. Por lo tanto, teniendo en cuenta estos resultados, afirmo que, desde un punto de vista particular; la emulsión es un explosivo que se utiliza para minería superficial y subterránea cuyos resultados pueden variar en costos aplicadas a distintas realidades pero que casi siempre producen una mejora continua bien sea en la operación unitaria de la voladura de rocas o en el proceso de conminución.

V. CONCLUSIONES

1. La evaluación técnica realizada por medio del uso de la emulsión, indica que sus propiedades explosivas optimizan el proceso de voladura de rocas cuyo efecto se encuentra reflejado en la reducción de costos y la fragmentación de la roca.
2. La selección de las emulsiones son adecuadas ya que se tuvo en cuenta los criterios de selección de un explosivo basado en el precio, diámetro y densidad de carga, características de la roca, el volumen a volar y las condiciones atmosféricas que tienen cada uno de ellos según el tipo de roca donde se realizó la voladura cuyas propiedades técnicas son variables.
3. Las pruebas de voladura de rocas realizadas evidencian que las emulsiones actúan de manera eficiente expuesta a distintas condiciones, es decir, presentaron una mayor velocidad de detonación, mayor presión, energía, mejor calidad de humos, buena fragmentación y sobre todo se redujo la carga explosiva por voladura teniendo en cuenta el tipo de roca a volar por lo que se determinó que el emulnor esel explosivo que tuvo mayor impacto técnico.
4. Se determinó que los costos de voladura con emulsión gasificada son mucho más rentables a comparación de las dinamitas cuyo precio unitario es más elevado. Además, se redujo el factor de carga explosiva por la cual el número de cartuchos fue menor al que se usa con las dinamitas obteniendo como resultado el ahorro significativo de \$ 0.71 por tonelada volada.

VI. RECOMENDACIONES

- Que la empresa, siempre esté dispuesta a innovar y reemplace la dinamita por la emulsión para tratar de optimizar su producción con la minimización de costos operacionales y la maximización de la rentabilidad con el fin de mantener una mejora continua en cada proceso de voladura de rocas introduciendo nuevas tecnologías explosivas.
- Que la universidad incorpore dentro de su malla curricular la enseñanza de softwares actualizados, en tema de voladura de rocas cuyo fin es que se formen estudiantes mejor preparados para que afronten nuevos retos de una minería cada vez más competitiva y sofisticada con mayores retos a enfrentar.
- Que los profesionales, antes de realizar una voladura de rocas deben tener en cuenta el comportamiento geomecánico y geotécnico del macizo rocoso para que se pueda tener mejores criterios en la determinación de los parámetros de voladura.
- Que los estudiantes, sigan investigando temas relacionados con la voladura de rocas aplicando una mejor metodología e introduciendo programas más actualizados cuyos resultados sean los más exactos siempre y cuando tengan en cuenta la intervención de la tecnología o los descubrimientos técnicos en cada operación para poder mejorarla.

REFERENCIAS

ADUVIRE, Hugo, ADUVIRE, Osbaldo y LÓPEZ, Carlos. Aplicación de un modelo de fragmentación de rocas en la reducción de los costos de voladura en minería [en línea]. 2^{da} ed. España: Madrid, 1994. [fecha de consulta: 24 de setiembre de 2018].

Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1216-1_22
ISBN: 9789401045339

AGUIRRE, Andrés. Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el Abra. Tesis (Ingeniero de minas). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2016.

Disponible en:
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139156/Optimizacion-de-parametros-de-tronadura-en-funcion-de-explosivos-de-alta-energia.pdf?sequence=1>

ALCÁZAR, Paulo. Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro. Tesis (Ingeniero de minas). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2017.

BERNAOLA José, CASTILLA Jorge y HERRERA Juan. Perforación y voladura de rocas en minería [en línea]. 2^{da} ed. España: Madrid, 2013. [fecha de consulta: 18 de setiembre de 2018].

Disponible en:
http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf

BRACAMONTE, Patricio. Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el Abra. Tesis (Ingeniero civil de minas) Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2016.

Disponible en:
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139156/Optimizacion-de-parametros-de-tronadura-en-funcion-de-explosivos-de-alta-energia.pdf?sequence=1>

CHUGÁ, Alex. Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú. Tesis (Ingeniero de minas). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2017.

Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10417/1/T-UCE-0012-29.pdf>

CRUZ, María (2008). El Análisis Documental: Indización y resumen en bases de datos especializadas [en línea]. Agosto de 2008. [Fecha de consulta: 29 de octubre de 2018].

Disponible en: http://eprints.rclis.org/6015/1/An%C3%A1lisis_documental_indizaci%C3%B3n_y_resumen.pdf

Decreto Supremo. N° 023-92-EM. Lima, Perú

GÀMEZ, Willian. Texto básico autoformativo de topografía general [en línea]. 2^{da} ed. Nicaragua: Managua, Inc. Managua UNA, 2015. [fecha de consulta: 10 de octubre de 2018].

Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/3179/1/NP31G192t.pdf>

ISBN: 9789992410363

GARCÍA, María y ORTIZ, Frida (2005). Metodología de la Investigación [en línea]. Agosto de 2005. [Fecha de consulta: 05 de noviembre 2018].

Disponible en: <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>

GUERRA, Ramiro. Uso de emulsión gasificable para reducir costos de perforación-voladura en minería superficial y subterránea. Tesis (Ingeniero de minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.

Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10636/1/guerra_sr.pdf

HERNANDEZ, Roberto [*et al*]. Metodología de la Investigación [en línea]. 5^{ta} ed. México: Ciudad de México, Inc. A Subsidiary of The McGraw-Hill Companies, 2010. [fecha de consulta: 19 de octubre de 2018].

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

HUANGAL, Cesar. Evaluación técnica económica del uso del SANG en mina La Arena. Tesis (Ingeniero de minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014. Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1217/3/huangal_cc.pdf

LEÓN, Yorhino. Uso del explosivo gasificable en la mejora de la calidad de una voladura en minera Yanacocha. Tesis (Ingeniero de minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.

Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10341/1/leon_rn.pdf

Ley 28973. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 11 de julio de 2014.

LÓPEZ, Jimeno [*et al*]. Manual de Perforación y Voladura de Rocas [en línea]. 2^{da} ed. España: Madrid, Inc. Compobell S.A., 2003 [fecha de consulta: jueves 12 de noviembre de 2018].

Disponible en: <https://es.scribd.com/document/317978295/MANUAL-DE-PERFORACION-LOPEZ-JIMENO-pdf> .

ISBN: 8450570077

LLACMA, Jesús. Evaluación técnico-económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone. Tesis (Ingeniero de minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.

Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2988/Millillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MAYA, Esther (2014). Métodos y Técnicas de Investigación [en línea]. 1ra ed. México: Ciudad de México, Inc. México UNA, 2014. [Fecha de consulta: 09 de noviembre de 2018].

Disponible en:
https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/metodos_y_tecnicas.pdf
ISBN: 978-97032-5432-3

MEDINA, Robert. Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone – Southern Perú. Tesis (Ingeniero de minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014.

Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1273/1/medina_cr.pdf

MENDOZA, Juan. Diseño y evaluación de voladuras. Tesis (Ingeniero de minas y metalurgista) Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.

Disponible en:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14238/Tesis.PDF.pdf?sequence=3>

MORA, Álvaro. Estudio económico del proyecto [en línea]. Agosto de 2009. [fecha de consulta: 29 de octubre 2018].

Disponible en: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AlvaroMora/11P-AnejoVIII-EstudioEconomico.pdf

MORILLO, Edgar. Plan de control de riesgos por la presencia de gases en el proceso de voladura en minería subterránea de la minera Somilor S.A. Tesis (Magister en seguridad, higiene industrial y salud ocupacional). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2015.

Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20932/1/Tesis%20Ing.%20Morillo%20Macas%20Edgar%20Leonardo.pdf>

MUSIC, Andres. Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal, mina el Teniente. Tesis (Ingeniero de minas) Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2007.

Disponible en:
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104674/music_a.pdf?sequence=3&isAllowed=y

ORICA MINING SERVICES. Protocolo de pruebas Vistan Vistis SCM El Abra [en línea]. marzo 2015.

Disponible en: <http://www.oricaminingservices.com/pe/es>

PAENZA, Adrián. Matemática para todos [en línea]. 2^{da} ed. Argentina: Buenos Aires, Inc. Printing Books S.A, 1994. [fecha de consulta: 24 de setiembre de 2018].

Disponible en:
http://cms.dm.uba.ar/material/paenza/libro7/matematica_para_todos.pdf

ISBN: 9789500740395

RIVERA Hugo. Geología General [en línea]. 2^{da} ed. Lima, 2005. [Fecha de consulta: 09 de octubre de 2018].

Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/148429055/Geologia-general-Hugo-Rivera-Mantilla>

ISBN 009822004

ROSALES, SAPAG y BACA. El estudio técnico [en línea]. Julio de 2008. [Fecha de consulta: 25 de octubre 2018].

Disponible en: http://www.ucipfg.com/Repositorio/MIA/MIA-01/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad2/lecturas/Capitulo_del_Estudio_Tecnico.pdf

SALCEDO, Edson. Evaluación técnica y económica de la emulsión gasificada en minera Yanacocha SRL. Tesis (Ingeniero de minas). Lima: Universidad de Ingeniería, 2015.

Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3177/1/salcedo_oe.pdf

SÁNCHEZ, Yadira. Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth. Tesis (Ingeniero de minas). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2012.

Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/217>

SEGURIDAD minera. Parámetros en la voladura de rocas [en línea]. 8 de enero de 2014. [fecha de consulta: 4 de noviembre 2018].

Disponible en: <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/parametros-en-la-voladura-de-rocas/>

SUNE, Elmer. Aplicación de emulsión 3000 para optimizar la perforación y voladura en la unidad San Genaro - compañía minera Castrovirreyna. Tesis (Ingeniero de minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2013.

Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3934/MIsucnea022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VEGA, José. Monitoreo y evaluación técnico-económica de los resultados de la voladura de rocas de una operación minera subterránea en Sudáfrica. Tesis (Ingeniero de Minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.

Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3946/3/vega_hj.pdf

VILELA, Wilson. Análisis de factibilidad para el uso de anfo pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha. Tesis (Ingeniero de minas). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.

Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5950/VILELA_WILSON_ANALISIS_DE_FACTIBILIDAD_PARA_EL_USO_DE_ANFO_PESADO.pdf?sequence=1

YANA, Francisco. Evaluación del agente explosivo quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en tajo de la mina Toquepala. Tesis (Ingeniero de minas). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017.

Disponible en: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Yana_Yana_Francisco%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Yana_Yana_Francisco%20(1).pdf)

ANEXOS



EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE.

ANEXO N° 1

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE.	¿CÓMO SE PODRÍA OPTIMIZAR EL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE?	REALIZAR UNA EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS.	SI SE REALIZA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA EMULSIÓN GASIFICADA, SE OPTIMIZARÁ EL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE	CUANTITATIVA NO EXPERIMENTAL DESCRIPTIVO TRANSVERSAL	OBSERVACIÓN GUÍA DE OBSERVACIÓN
		OBJETIVO ESPECÍFICO			
		-SELECCIONAR LA EMULSIÓN GASIFICADA ADECUADA QUE OPTIMICE EL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS -REALIZAR LAS PRUEBAS DE VOLADURA DE ROCAS TENIENDO EN CUENTA LOS CRITERIOS TÉCNICOS. -COMPARAR LOS COSTOS DE VOLADURA DE LA EMULSIÓN GASIFICADA CON RESPECTO AL EXPLOSIVO QUE SE USA EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7.			

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 2

Fotografías



Fotografía 1: Perforación diamantina para la extracción de testigos



Fotografía 2: Testigos extraídos de una muestra



Fotografía 3: Voladura con dinamita Semexsa 65 Galería 322



Fotografía 4: Voladura con emulsión Emulnor 3000 Galería 322



Fotografía 5: Distribución de taladros con emulsión encartuchada



Fotografía 6: Frente volado con emulsiones (Galería 322)



Fotografía 7: Pila de fragmentación de la voladura de rocas con emulsión

ANEXO N° 3
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2019

“EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7- CHONGOYAPE”

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 1



OBJETIVO: El siguiente formato tiene como finalidad mostrar las características técnicas del explosivo.

EMULSIÓN GASIFICADA - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
TIPO	DENSIDAD (g/cm ³)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)	ENERGÍA (kcal/kg)	CATEGORÍA DE LOS HUMOS	DIÁMETRO DEL TALADRO (pulg)	PROFUNDIDAD DEL TALADRO (m)
EMUL NOR® 500 1” x 7”	1,13 ± 0,15	Confinado* 4400 ± 300	44	628	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 3 500 ± 300					
EMUL NOR® 1000 1” x 7”	1,13 ± 0,15	Confinado* 5800 ± 300	95	785	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4 500 ± 300					
EMUL NOR® 3000 1” x 7”	1,14 ± 0,1	Confinado* 5700 ± 300	85	785	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4400 ± 300					
EMUL NOR® 5000 1” x 7”	1,16 ± 0,1	Confinado* 5500 ± 300	88	1010	Primera	1"	1.2
		S/Confinar ** 4200 ± 300					

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2019

“EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7- CHONGOYAPE”



GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 2

OBJETIVO: El siguiente formato permitirá presentar los resultados de las propiedades dinámicas de la roca obtenidas a través de ensayos de laboratorio.

Nota: Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938

COMPRESIÓN SIMPLE MUESTRA N.º 1							
Testigo	Densidad (g/cm ³)	Dimensiones de la probeta			Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Promedio de la resistencia a la compresión
		Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)			
T-1	2,40	591	11,1	5,5	80,45	120,18	165,89 MPa
T-2		599	11,1	5,5	88,80	210,97	

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2019

“EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7- CHONGOYAPE”



GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 3

OBJETIVO: El siguiente formato tiene como finalidad mostrar la comparación de costos de la emulsión gasificada y la dinamita.

SECCIÓN 1.50 m x 1.80 m						
ACTIVIDADES	EMULSIÓN ENCARTUCHADA			VOLADURA DE ROCAS		
				DINAMITA		
ACCESORIOS DE VOLADURA	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
FULMINTE N° 8 (Pza)	17	0.19	3.23	17	0.19	3.23
MECHA DE SEGURIDAD (Mts)	31.11	0.19	5.91	31.11	0.19	5.91
SUB TOTAL			9.14			9.14
EXPLOSIVO	Cantidad	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
EMULNOR 1" x 7" (Kg)	7.02	2.35	16.50	7.72	3.40	26.25
COSTO MANO DE OBRA	Horas_Utili.	P.U \$	Sub_Total	Cantidad	P.U \$	Sub_Total
MAESTRO	1	5.00	5.00	1	5.00	5.00
AYUDANTE	1	4.50	4.50	1	4.50	4.50
SUB TOTAL			9.50			9.50
COSTO TOTAL US \$			35.14			44.89
RESULTADOS						
AVANCE PROMEDIO (m)		1.20			1.20	
AVANCE PROMEDIO (Tn/Disp.)		13.68			13.68	
COSTO (metro de avance) \$		29.3			37.4	
COSTO (Voladura) \$		35.14			44.89	
COSTO (\$/Tn)		2.57			3.28	
AHORRO A FAVOR DEL EMULNOR 3000 1" x 7"				\$ 8.1 x m		
AHORRO A FAVOR DEL EMULNOR 3000 1" x 7"				\$ 9.75 x voladura		

ANEXO N° 4

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los docentes y especialistas que suscriben los documentos son: SALAZAR IPANAQUE, Javier Angel con DNI 02859620 de la especialidad de: Magister en Ingeniería de Minas, ALVARADO CASTILLO, Wilder ángel con DNI: 17531294 de la especialidad de: Estadístico y la docente SALAZAR CABREJOS, Rosa Eliana con DNI 41661370 con la especialidad de: Maestría en docencia universitaria, dan conformidad a los instrumentos de recolección de datos, que a continuación se presentan y que fueron sometidos a una evaluación y validación , con la finalidad de que sean aplicados por el estudiante responsable: ACARO YZQUIERDO, Tomi Yerson en la investigación titulada: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE

Dejamos, evidencia de lo evaluado firmando el presente documento para los fines que sean necesarios.

Chiclayo, 17 de abril de 2019

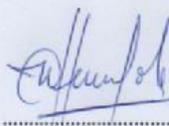
Atentamente,



SALAZAR IPANAQUE,

Javier Angel

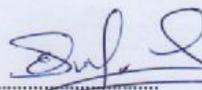
DNI: 02859620



ALVARADO CASTILLO,

Wilder Ángel

DNI: 17531294



SALAZAR CABREJOS,

Rosa Eliana

DNI: 41661370

ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, Aguinaga Vasquez Silvia Josefina, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad César Vallejo Chiclayo, revisor (a) de la tesis titulada

"Evaluación Técnica del uso de la emulsión gasificada para la optimización del proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7- Chongoyape", del estudiante Acaro Yzquierdo Tomi Yerson, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chiclayo 17 de julio del 2019



Firma

Mg. Silvia Josefina Aguinaga Vazques

DNI: 16790469

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	-----------------------	--------	---------------------------------

REPORTE TURNITIN

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7- CHONGOYAPE

INFORME DE ORIGINALIDAD

17% INDICE DE SIMILITUD	14% FUENTES DE INTERNET	0% PUBLICACIONES	11% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	3%
2	pt.scribd.com Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
5	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	oa.upm.es Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

EP DE INGENIERÍA DE MINAS

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

ACARO YZQUIERDO TOMI YERSON

INFORME TITULADO:

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE ROCAS EN LA MINA SANTA CLOTILDE 7- CHONGOYAPE

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO DE MINAS

SUSTENTADO EN FECHA: 27 de febrero del 2020

NOTA O MENCIÓN: APROBADO POR UNANIMIDAD



FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN