

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“PROPUESTA DE REEMPLAZO DE EXPLOSIVO ANFO POR EMULSIÓN PARA
MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA PARCOY CMH 2022”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR EL BACHILLER: ISAAC VALER MUNAYLLA

ASESOR: MSc. JHONNY HENRY CCATAMAYO BARRIOS

AYACUCHO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios por guiar mi camino, a mi madre por acompañarme en esta etapa de mi vida, y por ser mi mayor fuente de inspiración para alcanzar mis objetivos y metas.

AGRADECIMIENTO

Mi mayor agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, y de manera especial a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por permitir a mi persona formarme profesionalmente dentro de sus cálidas aulas.

También deseo agradecer a todas aquellas personas de noble corazón por sus sugerencias, opiniones y comentarios, que fueron de gran ayuda para el desarrollo de esta investigación.

RESUMEN

Esta investigación denominada ***“PROPUESTA DE REEMPLAZO DE EXPLOSIVO ANFO POR EMULSIÓN PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA PARCOY CMH 2022”***. Tiene como objeto determinar de qué manera la propuesta de reemplazo de anfo por emulsión influirá en mejorar la voladura en la mina Parcoy CMH 2022. Para conseguir tal propósito esta investigación utilizara el tipo de investigación por enfoque de tipo cuantitativo y por propósito de tipo aplicada, por qué obedece a una representación de los resultados del reemplazo de explosivo anfo por emulsión para determinar la mejora en la actividad de voladura en la mina Parcoy CMH 2022. La población está constituida por los explosivos anfo y emulsiones utilizadas en las actividades de voladura de la mina Parcoy, la muestra estará conformada por 40 pruebas de cambio del explosivo Anfo por Emulsión que nos permitirá determinar la significancia de ambos resultados. Llegando a las siguientes conclusiones: en la Minera Parcoy se ha conseguido una mejora general en sus operaciones mediante el empleo de la emulsión acompañada de una reducción de sus costos y, por ende, de un incremento de la rentabilidad de la empresa, tan necesaria en esta época de crisis global, del mismo modo se es posible afirmar que existe una reducción de la sobre excavación en la voladura aplicando emulsion y esta llega a ser hasta un 18% menor a la utilización de Anfo. Además con este cambio de explosivo e reduce el costo unitario de voladura de 0.42\$/TM a 0.34 \$/TM, Debido básicamente a la reducción de la longitud de carga, por la cual se deja por probar el incremento de espaciamiento y burden.

Palabras clave: Anfo, Emulsion, Reemplazo

ABSTRACT

This research entitled *"PROPOSED REPLACEMENT OF ANFO EXPLOSIVE BY EMULSION TO IMPROVE BLASTING AT THE PARCOY CMH 2022 MINE"*. The purpose of this research is to determine how the proposed replacement of ampho by emulsion will influence in improving blasting at the Parcoy CMH 2022 mine. To achieve this purpose, this research will use a quantitative and applied type of research approach, because it obeys a representation of the results of the replacement of amphoteric explosive by emulsion to determine the improvement in the blasting activity in the Parcoy CMH 2022 mine. The population is constituted by the amphoteric explosives and emulsions used in the blasting activities of the Parcoy mine, the sample will be conformed by 40 tests of change of the amphoteric explosive by emulsion that will allow us to determine the significance of both results. Reaching the following conclusions: Minera Parcoy has achieved a general improvement in its operations through the use of emulsion accompanied by a reduction of its costs and, therefore, an increase in the company's profitability, so necessary in this time of global crisis, in the same way it is possible to affirm that there is a reduction of over-excavation in blasting by applying emulsion and this is up to 18% less than the use of Anfo. In addition, with this change of explosive, the unit cost of blasting is reduced from 0.42\$/TM to 0.34 \$/TM, basically due to the reduction of the charge length, for which the increase of spacing and burden is left to be proved.

Key words: Anfo, Emulsion, Replacement.

Índice de contenido

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	iv
Índice de contenido	vi
INTRODUCCIÓN	1

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción de la realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. <i>Problema General</i>	3
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i>	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Justificación	4
1.5. Importancia	5
1.6. Hipótesis	5
1.6.1. <i>Hipótesis General</i>	5
1.6.2. <i>Hipótesis Específico</i>	5
1.7. Variables e Indicadores	5
1.7.1. <i>Variable Dependiente</i>	5
1.7.2. <i>Variable Independiente</i>	6

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Generalidades	8
2.1.1. <i>Ubicación</i>	8
2.1.2. <i>Descripción de la mina</i>	8
2.1.3. <i>Geología</i>	9

2.2. Antecedentes de la Investigación	13
2.3. Bases Teóricas.....	17
2.3.1. Perforación y voladura.....	17
2.3.1.1. Perforación.....	18
2.3.1.1.1. Proceso de perforación.....	18
2.3.1.1.2. Operaciones de perforación	18
2.3.1.2. voladura	19
2.3.2. Métodos de ataque al macizo rocoso.....	19
2.3.3. Factores de la perforación y voladura.....	20
2.3.4. Diseño de una sección de corte.....	20
2.3.5. Avance por disparo.....	21
2.3.6. Explosivos	22
2.3.7. Explosivo en la voladura	22
2.3.8. Proceso de detonación de explosivos	23
2.3.9. Propiedades de los explosivos	25
2.3.10. Agentes de voladura	26
2.3.11. Proceso de fracturamiento de rocas	29
2.3.12. Voladura de Producción	29
2.3.13. Mecanismos de ruptura de la roca	30
2.4. Definiciones conceptuales.....	32

Capítulo III

Metodología de la Investigación

3.1. Tipo de Investigación	33
3.2. Diseño de Investigación	34
3.3. Población.....	35
3.4. Muestra.....	35
3.5. Muestreo.....	35
3.6. Metodología de trabajo.....	35
3.6.1. Recopilación de datos y planeación del trabajo de campo	36
3.6.2. Fase de campo	36
3.6.3. Fase posterior al trabajo de campo	36
3.7. Unidad de análisis	36

3.8.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.9.	Fase Previa a la aplicación de la emulsión gasificable.....	37
3.9.1.	Descripción de las acciones realizadas	40
3.9.2.	Línea Base con Anfo	40
3.9.2.1.	Pruebas en Terreno	40
3.9.3.	Cambio de explosivo con Emulsión	42
3.9.3.1.	Pruebas en Terreno	42

Capítulo IV

Recolección de datos y procedimiento experimental

4.1.	Análisis del cambio de explosivo de encartuchado vs emulsión Quantex Sub... 45	45
4.1.1.	Método de explotación	45
4.1.2.	Ciclos de Minado.....	48
4.2.	Accesorios de voladura	54
4.3.	Estándares de diseño de voladura.....	56
4.3.1.	Diseño de la malla de perforación y voladura	56
4.4.	Efecto de las características del explosivo en la sobre excavación.....	59
4.4.1.	Estudios de sobre excavación	59
4.4.1.1.	Parámetro de Voladura	59
4.4.1.2.	Parámetros geológicos.....	60

Capítulo V

Resultados

5.1.	Reemplazo de anfo por emulsión en la sobre excavación en la mina Parcoy	62
5.1.1.	Consideraciones previas	62
5.1.2.	Utilización de anfo.....	63
5.1.3.	Pruebas en Terreno	65
5.1.4.	Sobre Excavación	66
5.1.5.	Cambio de explosivo	71
5.2.	Optimización de la Malla de Perforación.....	73
5.2.1.	Diseño Final.....	75
5.2.2.	Longitud de Perforación	75
5.2.3.	Número de tiros cargados por postura.....	77
5.3.	Conocer el costo - beneficio técnico y económico del reemplazo de ANFO versus Emulsión en la mina Parcoy CMH 2022.	78

Conclusiones	79
Recomendaciones	80
Bibliografía	81

Índice de figuras

Figura 1. Plano general de la mina Parcoy.....	9
Figura 2. Sistema de explotación mecanizado TJ2716 – Nv. 1665	10
Figura 3. Operación de perforación	19
Figura 4. Desarrollo de una detonación	24
Figura 5. Clasificación de los explosivos industriales rompedores	24
Figura 6. Estructura del ANFO pesado.....	27
Figura 7. Diseño de carga con ANFO Pesado y emulsión gasificable	29
Figura 8. Diseño de Investigación.....	34
Figura 9. Emulsión.....	39
Figura 10. Diseño de malla de perforación con anfo	40
Figura 11. Diseño de malla de perforación con emulsión.....	43
Figura 12. Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente Mecanizado.	45
Figura 13. Método de Explotación Convencional.	46
Figura 14. Ciclo de Minado – Perforación mecanizada (2 horas)	48
Figura 15. Ciclo de Minado – Perforación convencional (0.8 horas)	48
Figura 16. Ciclo de Minado – Voladura en tajos mecanizados (1.2 hora de carguío).....	49
Figura 17. Ciclo de Minado – Voladura en tajos convencionales (0.5 hora de carguío). 49	49
Figura 18. Ciclo de Minado – Limpieza mecanizado (2 horas).....	50
Figura 19. Ciclo de Minado – Limpieza convencional (1.5 horas)	50
Figura 20. Ciclo de Minado – Sostenimiento mecanizado (1 hora).....	51
Figura 21. Ciclo de Minado - Sostenimiento convencional (3 horas)	52
Figura 22. Ciclo de Minado – Acarreo con scoop.	52
Figura 23. Ciclo de Minado – Acarreo con dumper.	53
Figura 24. Ciclo de Minado – Acarreo	53
Figura 25. Ciclo de Minado – Acarreo	54
Figura 26. Perfiles topográficos.	63
Figura 27. Diseño de perforación con Anfo.....	64
Figura 28. Malla de Perforación P&T con Emulsión	72
Figura 29. Forma de Carguío con Emulsión Subteck Charge.....	73
Figura 30. Diagrama Modificado. L	74
Figura 31. Diseño final	75

Figura 32. Resultado largo perforaciones	76
Figura 33. Número de tiros cargados según postura.....	77

Índice de tablas

Tabla 1. Identificación de variables dependientes e independientes	6
Tabla 2. Tamaño de partículas de explosivos.....	28
Tabla 3. Valores de K_s	31
Tabla 4. Valores de K_j	31
Tabla 5. Valores de K_l	32
Tabla 6. Sección de labores Mina Parcoy.....	41
Tabla 7. Sobre excavación ANFO	41
Tabla 8. Sobre excavación con Anfo.....	44
Tabla 9. Sectores a Analizar	65
Tabla 10. Sobre excavación con Anfo.....	66
Tabla 11. Características Disparo	70
Tabla 12. Características Disparo (continuación).....	70

INTRODUCCIÓN

Las principales operaciones unitarias en minería, son las de perforación y voladura. Estas operaciones, en promedio, representan el 25% de los costos operativos totales y deben planificarse cuidadosamente para reducir los costos y maximizar los beneficios.

El propósito básico de las voladuras es optimizar la energía liberada por los explosivos para triturar la mayor cantidad posible de la masa rocosa, mientras se minimiza la energía hacia otras partes del mismo. Para reducir el daño tanto como sea posible. Una de las complejidades de la voladura es la energía utilizada para triturar la roca. Las ondas sísmicas pueden causar daños significativos a las paredes de los taludes, afectar su estabilidad e impactar significativamente el valor del proyecto.

Un diseño inadecuado de perforación y voladura genera el problema de mayores costos en el trabajo posterior, lo que no solo afecta el costo de transporte, transporte, trituración o procesamiento, sino también una fragmentación deficiente y una voladura secundaria. Sin duda, los buenos resultados de las voladuras son generalmente fragmentaciones del tamaño requerido para la fundición, dependiendo del equipo de carga requerido. Al mejorar estos resultados, podemos optimizar el costo global de la mina y generar mejoras en todas las operaciones mineras. Por ello, esta obra puede reducir el consumo de explosivos, bajar los niveles de vibración, bajar los coeficientes de potencia, los precios unitarios de perforación y voladura, reducir los costos a nivel macro de minería, y brindar tecnología en base de lo que existe en campo.

El trabajo de investigación, para este fin desarrollara las teorías y aplicaciones antes mencionadas.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial, al hablar de minería, una de las actividades más trascendentales resulta ser la evaluación de la voladura puesto que es un indicador muy importante por la acción que ejercen los explosivos en la actividad minera, 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. En este sentido es también la voladura un problema que 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.

La minería en el Perú hoy en día tiene dificultades en las operaciones unitarias principalmente en la voladura del macizo rocoso a extraer, debido a factores como la sobre excavación, que incrementa el costo que genera esta operación unitaria por ello la buena elección del explosivo es muy importante en esta etapa ya que garantiza una buena fragmentación lo que facilita el transporte como un buen avance del frente en metros lineales y la disminución de voladuras secundarias perjudiciales en la voladura.

En la unidad minera Parcoy CMH no se tiene en cuenta parámetros que rijan conocer los diferentes elementos que constituyen la práctica de voladuras, ya que se aprecia que la utilización de anfo sugiere también daños en el contorno de las labores perforadas y voladas por ello se plantea la utilización del uso de la emulsión gasificada para reducir y simplificar la técnica, mejorando y

optimizando la extracción de los recursos mineros dejando atrás el uso excesivo de anfo. Muchas veces se trata de criterios técnicos en cuanto a las características que presenta el macizo rocoso. En la operación minera la presencia de gases nitrosos post-voladura es un tema casi diario. Por otro lado, se presenta problemas ocasionales de fragmentación deficiente y bolonería tanto en mineral como en material estéril, el control de este parámetro es un aspecto crítico. La emulsión G es capaz de cubrir estas necesidades y llenar sus expectativas con sus características técnicas que ofrece, al poder trabajar bajo cualquier condición en la que se encuentre el macizo rocoso y mejorar la fragmentación, con mínima o nula presencia de gases nitroso y bajo costos en US\$/Tm – Fragmentada.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera la propuesta de reemplazo de anfo por emulsión influirá en mejorar la voladura en la mina Parcoy CMH 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

- ❖ ¿En qué medida el reemplazo de anfo por emulsión influirá en la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022?
- ❖ ¿Cómo influye el reemplazo de anfo por emulsión en la longitud de avance en la voladura en la mina Parcoy CMH 2022?
- ❖ ¿Cuál es el costo - beneficio técnico y económico del reemplazo de ANFO versus Emulsión en la mina Parcoy CMH 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar de qué manera la propuesta de reemplazo de anfo por emulsión influirá en mejorar la voladura en la mina Parcoy CMH 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ❖ Evaluar en qué medida el reemplazo de anfo por emulsión influirá en la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022.
- ❖ Determinar cómo influye el reemplazo de anfo por emulsión en la longitud de avance en la voladura en la mina Parcoy CMH 2022.
- ❖ Conocer el costo - beneficio técnico y económico del reemplazo de ANFO versus Emulsión en la mina Parcoy CMH 2022.

1.4. Justificación

Esta investigación se justifica en los siguientes parámetros, desde el aspecto operativo, las emulsiones gasificadas son un tipo de explosivo que permite obtener mejores indicadores de maniobrabilidad y control durante el uso, y de este modo se puede reducir el uso de explosivos. Podemos. La emulsión gasificable es un producto que tiene precisión, productividad y fiabilidad de suministro, se puede cargar con diferentes energías y densidades, eso hace que se maximice la fragmentación y aumente la productividad de la mina. Por lo que se puede concluir que ofrece una carga totalmente acoplada para maximizar los resultados de voladura. En un aspecto académico – científico este proyecto se justifica toda vez que se han encontrado evidencias de que la gasificación tiene mejores propiedades y características que el proceso de voladura convencional, por lo que se vuelve más adecuado para su uso.

1.5. Importancia

La importancia de esta investigación radica en que contribuirá a dar continuidad a la explotación minera. Asimismo, servirá como fuente de referencia para otras investigaciones semejantes.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

La propuesta de reemplazo de anfo por emulsión influirá de manera significativa positiva en mejorar la voladura en la mina Parcoy CMH 2022.

1.6.2. Hipótesis Específico

- ❖ El reemplazo de anfo por emulsión influirá en gran medida y de manera positiva en la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022.
- ❖ El reemplazo de anfo por emulsión influye positivamente en la longitud de avance en la voladura en la mina Parcoy CMH 2022.
- ❖ El costo - beneficio técnico y económico del reemplazo de ANFO por Emulsión será positivo en la mina Parcoy CMH 2022.

1.7. Variables e Indicadores

1.7.1. Variable Dependiente

Mejoramiento de la Voladura

Indicadores:

- factor de potencia y carga
- Evaluación técnica y económica

1.7.2. Variable Independiente

Reemplazo De Explosivo Anfo Por Emulsión

- Sobre excavación de las labores m²
- longitud de avance ml
- costo de explosivo y calidad de la fragmentación S/

Tabla 1.

Tabla 2. Identificación de variables dependientes e independientes

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	UNIDAD	ESCALA DE MEDICION
Independiente	Mejoramiento de la voladura	La voladura controlada es un método especial que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo que evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente o adyacente, mejorando su estabilidad.	➤ Factor de Potencia y carga	➤ (kg/ton)	Razon
			➤ Evaluación técnica económica	➤ S/	Intervalo
Dependiente	Reemplazo De Explosivo Anfo Por Emulsión	Los explosivos son una mezcla de sustancias: Una combustible y otra oxidante, que al ser Se realizara el cambio del Anfo por emulsion para ver cual es el grado de	➤ Sobre excavación	➤ m ²	Razon
			➤ Longitud de avance	➤ ml	Razon

n d i e n t e		iniciadas se descomponen violentamente liberando una gran cantidad de energía que llega a ser útil para quebrar la roca.	mejora en las actividades de voladura.	➤ Costo de explosivo y calidad de Fragmentación	➤ S/	Intervalo
---------------------------------	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------	-------------------------------------------------	------	------------------

*Nota: Matriz de operacionalización de las variables e indicadores que participan en esta investigación. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Generalidades

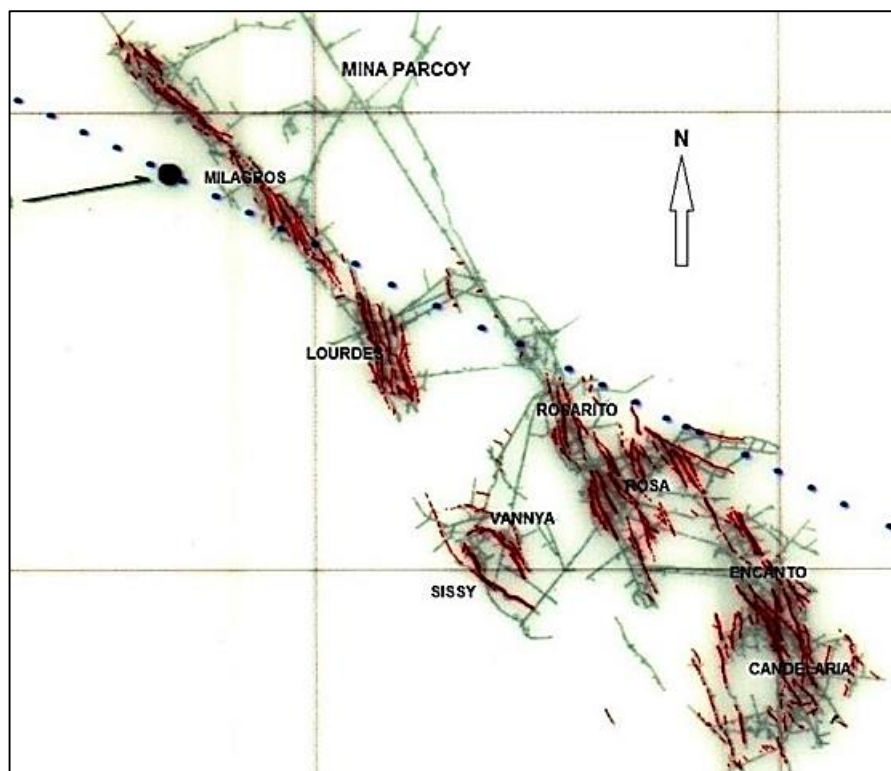
2.1.1. Ubicación

La unidad minera acumulación Parcoy del Consorcio Minero Horizonte S.A se ubica en el lugar denominado Retamas cerca de la localidad de Parcoy capital del distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad. Las coordenadas geográficas de este lugar son: 77° 27' 30" longitud Oeste y 08° 02' 30" latitud Sur. Se encuentra a una altitud promedio de 2,750 msnm, en la subcuenca del río Parcoy tributario el río Marañón, emplazada entre la cadena montañosa de la cordillera central

2.1.2. Descripción de la mina

La unidad de producción Parcoy operado bajo el sistema de mina subterránea con el método de corte y relleno ascendente con el sistema mecanizado y convencional, está compuesta de dos zonas de producción de las estructuras mineralizadas, la zona Norte (Fortunata y Lourdes) que se trabajan desde el Nv. 2000 al Nv. 1665 respectivamente. La zona Norte están compuesta por las vetas Milagros, Lourdes, Rosa, Micaela, Fortunata y Rosarito.

Figura 1. Plano general de la mina Parcoy



Fuente: CMH

2.1.3. Geología

La masa rocosa varía de una zona a otra, como también de área en área dentro de una misma zona. Con el paso del tiempo crecen las labores mineras y el minado se realiza a mayores profundidades, desarrollándose así diferentes problemas de inestabilidad en la roca por los esfuerzos residuales. Conocer la calidad de la roca en la mina permitirá tomar decisiones correctas sobre diferentes aspectos relacionados con las labores mineras, entre otras, se podrá establecer la dirección en la cual se deben avanzar las excavaciones, el tamaño de las mismas, el tiempo de exposición abierta de la excavación, el tipo de sostenimiento a utilizar y el momento en que éste debe ser instalado. El macizo rocoso de la mina es de tipo discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformada por un conjunto de bloques y fragmentos de roca con discontinuidades de diverso

tamaño. Prácticamente pueden considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula y baja cohesión.

Figura 2. Sistema de explotación mecanizado TJ2716 – Nv. 1665



Fuente: CMH

Geología regional

Geomorfología

Fisiográficamente el yacimiento se encuentra en el flanco occidental de la Cordillera Central, en la unidad de valles interandinos, según Wilson (1,964), se observan valles agudos y quebradas profundas que se han formado por la erosión glaciaria y fluvial, las que están en procesos de estabilización. El drenaje principal está conformado por el río Parcoy, que drena hacia el Noreste, pasando por la Laguna Pías, para luego desembocar al río Maraón, el que finalmente llega al río Amazonas. El clima de la zona es cálido a templado, hasta los 3000 m.s.n.m., por

encima de esta altitud el clima se torna frío. Es seco en verano (abril a octubre) y lluvioso en invierno (noviembre a marzo).

Litología

Regionalmente la geología del distrito está dominada por tres franjas (fajas): El basamento Precambriano del Complejo Marañón al Este, el Batolito de Pataz del Carbonífero, y los estratos deformados del Pérmico - Cenozoico al Oeste. El complejo basal de Marañón consiste de meta sedimentos pizarrosos a esquistosos y rocas meta volcánicas y exhibe plegamiento complejo y formación de clivajes. Los estratos del Pérmico al Cenozoico están plegados en pliegues parados hasta volcados convergiendo hacia el oeste cerca del contacto con el batolito, pero más al oeste son homoclinales. La Historia Geológica de la región consta de eventos sedimentarios que van del Precámbrico hasta el reciente, afectados por intrusiones de diversos tipos, composiciones, así como de edades.

Estratigrafía

La Geología de la zona está vinculada a la evolución estratigráfica y estructural de la cordillera Andina del Norte del Perú, la cual está formada por la superposición de tres ciclos orogénicos, el Precámbrico, el Hercínico y el Andino. El Precambriano corresponde a las rocas del Complejo Marañón y está formado por fillitas, mica esquistos y meta volcánicos. El Hercínico está formado por las pizarras de la Formación Contaya. El plegamiento Eohercínico sucede en un periodo de distensión con la formación de una cuenca intramontañosa que es rellenada por rocas del Grupo Ambo, en el Permiano superior tenemos una acumulación volcánica andesítica conocida como Volcánico Lavasén, que tiene una amplia distribución en las partes altas de Parcoy principalmente al Este, margen derecha del río Parcoy. Una fase Epirogenética genera una

emersión y la acumulación de las rocas ferruginosas del Grupo Mitu. La sedimentación del ciclo Andino que es más notoria en la Cordillera Occidental, comienza con las calizas del Grupo Pucará, cubiertas posteriormente por areniscas del Grupo Goyllarisquizga, calizas de la Formación Crisnejas y por las capas rojas de la Formación Chota. Finalmente se encuentran depósitos aluviales, coluviales y fluviales del Cuaternario Reciente (ver Columna Estratigráfica).

Geología estructural

El distrito minero ha sido afectado por los diferentes eventos tectónicos acaecidos en los últimos 300 M.a. dando como resultado una complejidad estructural muy marcada. No presenta fuerte foliación, por lo que se supone intruyó la corteza superior en una zona extensional. Dicha zona extensional se habría reactivado subsecuentemente como consecuencia de un sistema de fallas inversas oblicuas durante la mineralización y de nuevo por fallamiento post mineralización. Las fallas producto de los eventos tectónicos Regionales, deben haber tenido un efecto en la distribución de zonas mineralizadas en el distrito de Parcoy, que incluyen fallamiento y plegamiento pre-mineral, sin-mineral y postmineral. Los eventos pre-mineral incluyen deformación y metamorfismo en el Complejo Marañón Proterozoico (la orientación estructural o direcciones de compresión no son muy reconocidas), débil acortamiento NW-SE en el Ordoviciano, acortamiento NE-SW en el Devoniano tardío, y extensión NWSE durante la intrusión del Batolito de Pataz en el Mississippiano (Haeberlin y Fontboté, 2002). El contacto Occidental del Batolito es una falla Cenozoica (?) tipo “strikeslip” (salto sobre su rumbo) orientada $350^{\circ}/85^{\circ}$, como lo indican las estriaciones de falla horizontal (“slickenlines”) observadas en la Quebrada Balcón. Esta falla es casi paralela a todas las vetas occidentales y probablemente sea una reactivación de una falla de primer orden sin-mineral (E.Nelson -2003). Como en todos los sistemas de vetas, los controles estructurales de las vetas y clavos en el distrito de Parcoy son

varios y complejos. De primera importancia son las fallas de primer-orden (NW-SE) huéspedes del mineral y que, probablemente controlan la inclinación general hacia el Sur de los clavos mineralizados. Fuerzas tectónicas originaron fallas de cizalla, con movimiento sinistral en la mayoría de casos. Las vetas de cizalla presentan espejos de falla con estrías en varias direcciones y están por lo general limitados por capas pequeñas de panizo. A lo largo del Batolito (210Km) se conocen varias minas en operación y otras abandonadas, destacando de Sur a Norte: Bloque Huaylillas: La Estrella, Bloque Buldibuyo: Minas de Marsa, Alaska y El Gigante, Bloque Parcoy: Consorcio Minero Horizonte, Bloque Pías: Minas Culebrillas, Ariabamba, Bloque Pataz: Minas de Poderosa S.A., El Tingo, La Lima y Papagayo. Es importante destacar que los bloques Buldibuyo (Sur) y Pías, Pataz (Norte) contienen estructuras de muy bajo ángulo de buzamiento (20-40°E), mientras que en el bloque Parcoy (Central) las estructuras tienen altos ángulos de buzamiento (50-80°E) variación de Este a Oeste. Esta diferencia debida posiblemente a movimientos diferenciados de los Bloques post mineralización, que por basculamiento pudieran estar presentando actualmente un buzamiento diferente al original previo al basculamiento.

Geología local

CMHSA tiene sus labores mineras en un área de 400 Has, dicha operación se desarrolla íntegramente dentro del Batolito Pataz. Se estima más de 80,000m de labores mineras realizadas entre antiguas y modernas, tanto horizontales como verticales.

2.2. Antecedentes de la Investigación

Artículos científicos

Mertuszka, Cenian, Kramarczyk y Pytel (2018), ***“Influence of Explosive Charge Diameter on the Detonation Velocity Based on Emulinit 7L and 8L Bulk Emulsion Explosives”***.

Su propósito es describir las 7 propiedades de los explosivos es la velocidad de detonación, que se puede definir como la velocidad de propagación de la zona de reacción química de detonación. Concluimos que la velocidad explosiva depende de muchos parámetros, como el material y la densidad y el diámetro de la carcasa explosiva. Además del grado de fragmentación del cristal, el tipo de iniciación y el contenido del componente particular.

Kononenko, et al, (2021) “*Control of density and speed of emulsion explosives detonation for the breaking of minerals*” cuyo fin es el desarrollo de un nuevo procedimiento para el cálculo de la densidad de emulsión explosivos (EE), que permitirá determinar la detonación velocidad a lo largo de la longitud de carga, dependiendo de la inclinación de los pozos durante la rotura del mineral.

Se ha desarrollado un método de cálculo para la redistribución de la densidad y masa de EE en pozos con diferentes ángulos de inclinación utilizando las conocidas leyes de la hidrostática.

Medida de la detonación velocidad de EE UkrainitPP2B se llevó a cabo utilizando el método de pruebas experimentales de polígonos. La simulación numérica de cambios en la detonación velocidad de explosivos en pozos se realizó utilizando el método propuesto y las regularidades establecidas. recomendaciones. Se han desarrollado métodos de cálculo del cambio de densidad de EE a lo largo de la columna de carga bajo la acción de la presión hidrostática en diferentes ángulos de inclinación de los pozos ascendentes y descendentes. Basado en datos experimentales, regularidades de detonación tasa de cambio de densidad y carga diámetro para EE UkrainitPP2B, que varían según la ley exponencial se han establecido. La aplicación de los

resultados del cálculo de la densidad EE en diferentes ángulos de inclinación de los pozos permite determinar en el cargo secciones de columna con sus valores críticos más de 1410 kg/m³, en el que una fuerte atenuación de la detonación comienza la tasa. La consideración de este fenómeno permite prevenir la ocurrencia de fallas en la explosión de las cargas en los pozos durante la rotura del mineral.

Jomenko, et al, (2019) “*Application of emulsion explosives in tunnel construction*” Buscaron evaluar los parámetros técnicos del pasaporte existente para operaciones de perforación y voladura (DBO) en cuanto al cumplimiento de los requisitos de seguridad laboral y normas científico-técnicas. Se ha desarrollado la metodología para la construcción del pasaporte DBO, que tiene en cuenta las áreas de los grupos de barrenos y las propiedades de emulsión explosivos. Se ha analizado, modelado y aceptado para su uso el tipo de corte que se corresponde en la medida de lo posible con las condiciones de la excavación. Se han simulado las zonas de deformación y fracturamiento del macizo alrededor de las cargas de los barrenos. Llegando a la conclusión que el nivel de disminución en el índice de riesgo para el aire atmosférico se ha establecido cuando se utiliza emulsión explosivo Ukrainit-PP en lugar de TNT que contiene cargo- Amonita No.6 ZhV.

Arvind, (2018) “*Influence of gasifying agent and density on detonation velocity of bulk emulsion explosives*” La demanda de carbón de los proyectos de minería a cielo abierto está en el lado superior como nunca antes, para los cuales la voladura es la unidad básica de operación. El explosivo juega un papel importante en la voladura y también influye en la interacción explosivo-roca. El tipo de explosivo más común utilizado en las minas de superficie son los explosivos de

emulsión. Este artículo presenta el estudio sobre la velocidad de detonación de explosivos de emulsión a granel debido a la variación en el agente gasificante y la densidad. En este estudio Nitrito de Sodio (NaNO_2) se ha utilizado como aditivo generador de gas y se ha observado el comportamiento de explosivos en emulsión con diferentes concentraciones de agentes gasificantes a diferentes temperaturas. Este estudio se realizó para comprender también la variación cíclica de la temperatura en la cinética de gasificación y el rendimiento del explosivo. El efecto del enfriamiento sobre el comportamiento detonico de los explosivos de emulsión a granel también se ha estudiado y presentado en este documento.

Tesis

Hernández (2019), en su tesis ***“Estudio Comparativo de la Sobre-excavación en Desarrollos Horizontales con Anfo versus desarrollos realizados con Emulsión en la mina esmeralda, División El Teniente, Codelco”***, enfoca su investigación en una evaluación del performance de la emulsión en las labores de avance de desarrollo, para su posterior implementación. El estudio compara la Emulsión con el Anfo, con el objeto principal de reducir la sobre excavación. Se concluye que el performance de la emulsión es superior al Anfo, en el aspecto de control de sobre excavación, ya que se genera un ahorro del 18% a partir de su aplicación.

Macedo (2018), en su tesis ***“Empleo de emulsión gasificada SAN-G APU para mejorar la fragmentación en la fase 8 de La Mina Antamina año 2018”***. Tuvo como proposito volar rocas con una emulsión SANG APU gasificada para inducir la fragmentación en la empresa minera

Antamina S.A. Para optimizar, sus propiedades técnicas y mejorar la calidad y el rendimiento de los explosivos en términos de velocidad explosiva, fragmentación, maximizar la productividad del proceso y costos de operación costo US \$ / Tm - Fragmentado. Se observó una ligera mejora en la liberación de óxido nitroso después de la voladura en las áreas de tapón y mineral, con un aumento de 3,4% a 8 VOD, una mejor presión explosiva de la mezcla y una mejor fragmentación esperada.

Zabala (2017), en su tesis titulada: *“Empleo de agente de voladura gasificado para minimizar costos de voladura en la Compañía Minera Antamina S.A. - Año 2017”*. Tuvo como propósito es analizar, evaluar y demostrar que el uso de abrasivos de voladura gasificados tiene propiedades superiores a las mezclas tradicionales de HA y puede ahorrar significativamente el consumo de mezclas explosivas en las operaciones de voladura de Minera Antamina. Este ahorro tiene un efecto positivo en la carga lineal (kg/m), el factor de potencia (kg/ton), el consumo de nitrato de amonio y la reducción de la producción de humo de naranja.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Perforación y voladura

La actividad de excavación del proceso minero comienza con la excavación y voladura. A medida que avanza la etapa de extracción, es necesario mejorar los procedimientos de carga y voladura.

2.3.1.1.Perforación

Según Santana, (2014) sostiene que “es una operación de iniciación en la roca como taladros designados taladros, con contingente conveniente, a fin de colocar a los explosivos u otros fines, con el apoyo de equipos llamados perforadoras.”

2.3.1.1.1. Proceso de perforación

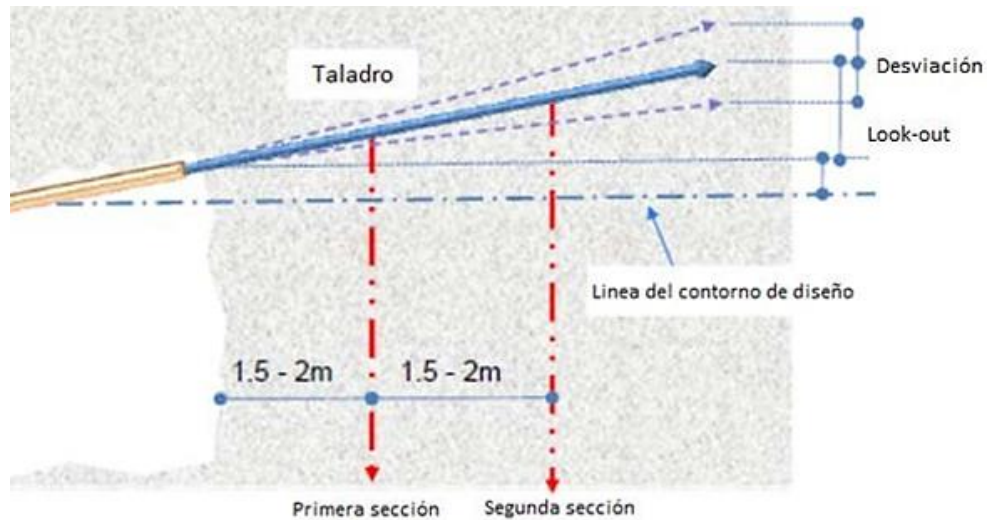
Lopez y Garcia (2003), la apertura de la perforación es consumir la dureza de la roca con golpes incesantes en dos extremos, el primero es golpear con filos cortantes y el otro lado es sacudido y girado de forma constante, de tal forma que cada golpe provoca un corte local en diversas direcciones, conllevando al proceso de perforación de los taladros con un diámetro equivalente al diámetro del filo cortante utilizado.

2.3.1.1.2. Operaciones de perforación

Es muy importante controlar la perforación en todas las zonas de barrenos, especialmente en los del contorno, que son los que van a producir directamente la sobre-excavación en el túnel.

En la Figura 3 se pueden ver las diferentes desviaciones que sufre la sarta de perforación de los barrenos y que dará lugar posteriormente a la sobre-excavación en el contorno del túnel.

Figura 3. Operación de perforación



Fuente: Hook & Brown

2.3.1.2. voladura

De acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

2.3.2. Métodos de ataque al macizo rocoso

En la minería a cielo abierto, el propósito de varios métodos de perforación es perforar pozos en el macizo con la distribución y forma adecuadas para absorber la carga y activar los explosivos. Los macizos rocosos se ven inicialmente afectados por dos grandes acciones o ataques. Mecánica (excavación) y física química (voladura explosiva).

Ataque Mecánico: Ataque que ejerce el taladro cuando entra en contacto con una roca. El sistema de excavación viene definido por el método, el tipo de trabajo y la máquina. La perforación rotatoria es popular en las minas y es un método muy versátil para penetrar muchas rocas, desde

blandas hasta muy duras, y el impacto ejercido sobre el taladro facilita la trituración. (Figueroa s.f., pag 4)

Ataque Físico-Químico: “Dado por acción de las transformaciones físico-químicas que experimentan las sustancias explosivas, convirtiéndose en energía que se libera provocando la fragmentación y rotura del macizo”. (Figueroa s.f., pag 4)

2.3.3. Factores de la perforación y voladura

Los elementos más importantes son: (Geología, mineralización y alteración de las rocas)

“Variables internas de perforación (empuje que ejerce la perforadora en la roca, velocidades de penetración, desgaste de los elementos y accesorios de perforación, rendimiento y utilización de la maquinaria)”

“Diseño de malla (distancias de separación de las perforaciones, burden, ubicación e inclinación de las perforaciones)”

“Diseño de Voladura (Cargado de explosivos a lo largo de la perforación, retacado superior, modo de iniciación, tipo de encendido)”

“Control de las voladuras anteriores, y proyección adecuada a los bancos inferiores”

2.3.4. Diseño de una sección de corte

El éxito o fracaso de la voladura de rocas en tunelería está en función directa de la reacción de las caras libres; esto significa: que el arranque o corte (sección A) debe ser cuidadosamente diseñado. La disposición y secuencia de retardos en el corte deben ser tal que permitan hacer una abertura con un incremento gradual en su tamaño hasta que los taladros de ayuda puedan tener

caras libres apropiadas. El tipo de corte será elegido de acuerdo al equipo de perforación disponible, en ancho del túnel y el avance deseado. En el corte en V, el avance está limitado por el ancho del túnel; cosa que no sucede con los taladros en paralelo.

2.3.5. Avance por disparo

El avance está restringido por el diámetro del taladro vacío y por la desviación de los taladros. El avance que se espera obtener por disparo debe ser mayor del 95% de la profundidad del taladro. El avance por disparo (H) expresado como una función del taladro vacío puede ser expresado por la siguiente relación:

$$H = (0.15 + 34.1)\phi - (39.40) \phi^2$$

Dónde:

H = Profundidad del taladro (m)

ϕ = Diámetro del taladro al vacío (m)

El avance será 95xH.

$$l=0.95 H$$

Las relaciones anteriores son válidas solamente para condiciones en que la desviación de la perforación no sea mayor de 2%.

En la mayoría de casos de perforación en túneles, no se dispone de máquinas que perforen a la vez los taladros de producción y el taladro vacío; por eso el l del taladro vacío equivalente se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$\phi = \sqrt{nd_0}$$

Donde: d_o = Diámetro de los taladros vacíos en el corte

n = Numero de taladros vacíos en el corte

\emptyset = Diámetro del taladro vacío equivalente

2.3.6. Explosivos

Son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido. Líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido - reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, el orden de una fracción de microsegundo, en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones. Un explosivo puede quemar o detonar de acuerdo al método de iniciación o la cantidad de material involucrado, según Taylor si la masa de explosivo es pequeña, la iniciación térmica usualmente se quema. Pero si la masa excede un valor crítico es posible que el quemado alcance a ser tan rápido que la onda de choque se propaga. Combustión o quemado: Puede definirse como tal a toda reacción química capaz de desprender calor pudiendo o no, ser percibida por nuestros sentidos y que presenta un tiempo de reacción bastante lento. Explosión: La explosión, por su parte, es un fenómeno de naturaleza física, resultado de una liberación de energía tan rápida que se considera instantánea.

2.3.7. Explosivo en la voladura

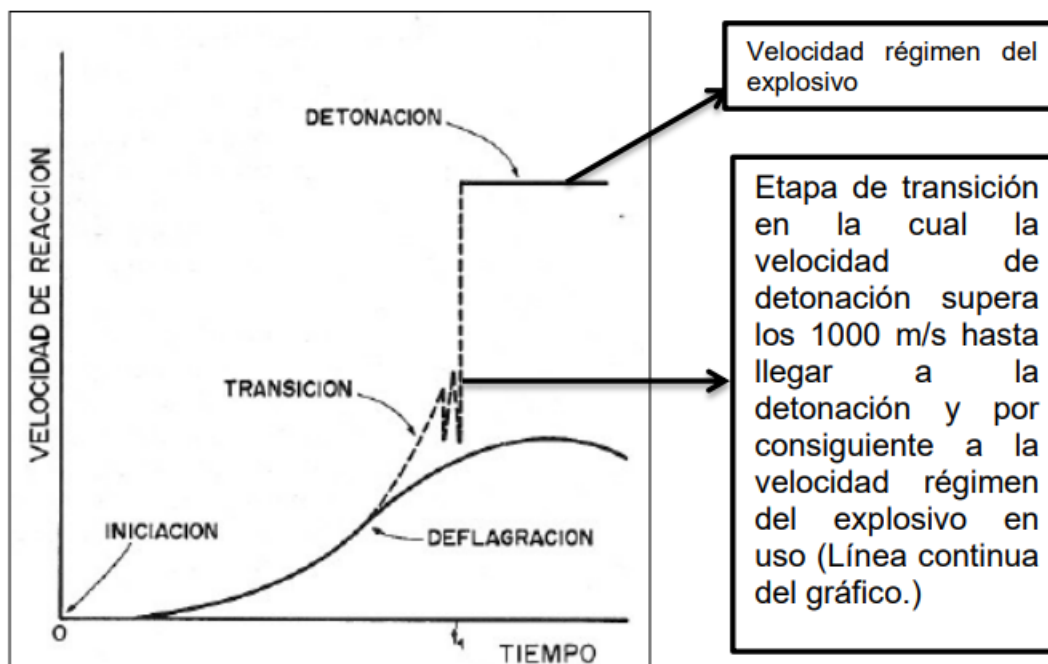
López, López, y García (2003) indican que el objetivo de la voladura es destruir, triturar y aflojar el lecho rocoso sobre la marcha a un tamaño fragmentado que pueda procesarse de manera eficiente en los procesos de carga, transporte y procesamiento. Indican que los explosivos no son más que una mezcla de productos químicos, algunos combustibles y otros oxidantes, y cuando se

inician correctamente, provocan una reacción exotérmica muy rápida, una secuencia químicamente estable a alta temperatura y que ocupan un volumen más grande. Señalan que la remoción de piedras por medio de explosivos radica en tener una cantidad suficiente de energía químicamente concentrada en el lugar adecuado. Por lo tanto, cuando se libera de manera controlada, se puede provocar la fragmentación mas adecuada del material rocoso.

2.3.8. Proceso de detonación de explosivos

Según López (2003), indica que “en cuanto inicia el explosivo, la onda de choque transporta la energía para activar las moléculas de la masa del explosivo alrededor del foco inicial, provocando así una reacción en cadena. A la vez que se produce esta onda, la masa de explosivo que ha reaccionado produce una gran cantidad de gases a una elevada temperatura. La presión secundaria actúa sobre el resto de la masa sin detonar y su efecto se suma al de la onda de presión primaria, pasando de un proceso de deflagración a otro de detonación”.

Figura 4. Desarrollo de una detonación



*Fuente: López, (2003)

Figura 5. Clasificación de los explosivos industriales rompedores



*Fuente: Manual de voladura, EXSA

2.3.9. Propiedades de los explosivos

Los explosivos poseen propiedades que los definen y clasifican:

Detonación: Es el proceso de propagación de una onda de choque a través de una columna explosiva, el cual está acompañado por una reacción química que provee energía para mantener la propagación de la onda de choque de una manera estable

Deflagración: Es un proceso en el cual el explosivo combustiona extremadamente rápido pero sin explosionar, la deflagración es sinónimo de una combustión rápida.

Presión de detonación: Es la presión que existe en el plano "CH", detrás del frente de detonación, en el recorrido de la onda de detonación. Es función de la densidad y del cuadrado de velocidad y su valor se expresa en Kilo bares (Kbar), o en Mega pascales (Mpa). Así, en los explosivos comerciales varía entre 500- 1500 Mpa.

Presión de taladro o trabajo: Es la presión que ejercen los gases sobre las paredes de taladro antes de iniciarse la deformación de la roca. Está en función de su confinamiento, cantidad y temperatura de los gases de la detonación. Esta presión ejercida es el 50% de la detonación. f.-

Energía de los explosivos: Es la cantidad de energía liberada cuando el explosivo estalla en la expansión y el calor es convertido en trabajo mecánico.

Potencia: Es la energía que tiene el explosivo.

Densidad: La energía y la densidad están correlacionados en explosivos granulares ya que la energía aumenta con la densidad. Pero los explosivos basados en agua no están correlacionados.

Sensibilidad: Es la susceptibilidad de un explosivo a ser iniciado. Esto varía de acuerdo a los ingrediente, tamaño de partícula, densidad, diámetro de taladro, agua, etc.

Diámetro crítico: Es el diámetro mínimo en el cual se propagara la onda confiablemente, la velocidad de detonación y la capacidad de rotura de la roca se reduce tanto como se aproxima al diámetro crítico.

Sensitividad: Es la capacidad de un explosivo a propagar la detonación a través de la columna explosiva; está relacionada al diámetro crítico.

Brisance o poder rompedor: Es la capacidad rompedora de los explosivos debido a la propagación instantánea de gases producidos durante la detonación. Esto significa fracturar y es efecto destructivo para fragmentar una roca, esto depende de la densidad, velocidad de onda de detonación y la presión en la zona de reacción.

Velocidad de detonación: La velocidad de detonación de una mezcla explosiva confinada, es una medida en la cual las ondas de detonación viajan a través de la columna explosiva de un taladro o cualquier espacio confinado. Se puede incrementar la VOD de las siguientes maneras: • Haciendo un buen confinado en el taladro • Disminuyendo el tamaño de partícula • Incrementando la densidad • Usando un mayor diámetro de carga • Alta relación de acoplamiento • Usando un iniciador más energético.

2.3.10. Agentes de voladura

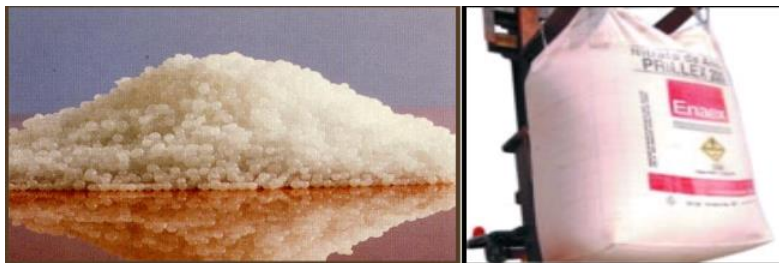
Los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N° 8, por lo tanto, requieren un señuelo potenciado o un refuerzo de cebador para iniciar la explosión. Estos explosivos se distinguen por desarrollar trabajos más útiles en el sentido estricto de despedregado y triturado, a diferencia de los explosivos primarios de alta energía y sensibilidad.

- a) ANFO** Es un agente explosivo de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y no es un explosivo en sí mismo ya que adquiere tales propiedades solo cuando se mezcla con una pequeña

cantidad de combustible (6% del peso total), ya sea gasóleo o aceite reciclado. El nitrato de amonio está compuesto de partículas esféricas o gránulos porosos de menos de 1 mm de diámetro que absorben y retienen el combustible.

- b) ANFO PESADO** “Es la mezcla de dos agentes explosivos, el ANFO y la emulsión matriz en diferentes proporciones, donde la emulsión envuelve los prills de ANFO (Ver figura 04), formando una matriz energética con propiedades específicas”.

Figura 6. Estructura del ANFO pesado



*Fuente: Manual Enaex ,2000

- c) Emulsiones** Agentes de voladura son los llamados abrasivos del tipo "agua en aceite", la fase acuosa está compuesta por óxidos inorgánicos disueltos en agua y la fase oleosa está compuesta por combustibles líquidos de tipo hidrocarburo que son inmiscibles con agua, generalmente diesel 2.

El tamaño de los componentes de esta mezcla (oxidante y combustible) afecta directamente la velocidad de detonación y generalmente afecta el desempeño del explosivo. Esto se puede apreciar en la Tabla 2.

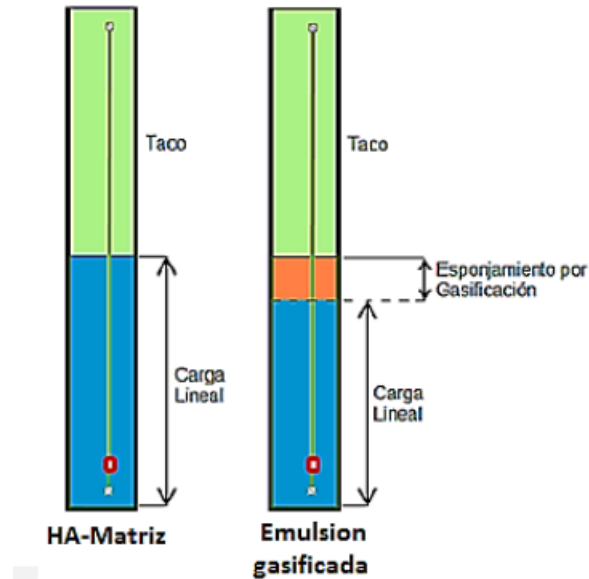
Tabla 3. Tamaño de partículas de explosivos.

Explosivo	Tamaño (nm)	Estado	VOD (km/s)
ANFO	2,0	Sólido	3,2
Dinamita	0,2	Sólido	4,0
Hidrogel	0,2	Sólido / líquido	3,3
Emulsión	0,001	líquido	5,0 – 6,0

Fuente: Bampfield & Morrey, 1984.

d) Emulsion gasificable Explosivos a base de emulsiones sensibilizados por aditivos químicos (carburadores). Alcance la sensibilidad en el barrenado. Químicamente, está formulado para reaccionar con el agente gasificante nitrito de sodio. El producto de la sensibilización es una mezcla explosiva de densidades menores y variables, con adiciones más o menos grandes de carburadores. El hinchamiento del pozo logrado por el efecto sensibilizador significa que se requiere menos carga explosiva en el pozo y se obtiene la misma altura de carga de diseño. La imagen 05 muestra la gasificación que ocurre en un taladro con emulsión gasificable y otro taladro con ANFO a base de emulsión de matriz pesada que tiene una densidad constante y no cambia la carga lineal.

Figura 7. Diseño de carga con ANFO Pesado y emulsión gasificable



*Fuente: Wilson Vilela, 2014

2.3.11. Proceso de fracturamiento de rocas

Hay básicamente cuatro etapas, en el que el fracturamiento y desplazamiento del material ocurre durante y después de la detonación completa de una carga confinada.

T -1 Detonación

T-2 Propagación de la onda de choque

T -3 Expansión del gas bajo presión

T-4 Movimiento de la masa

2.3.12. Voladura de Producción

Las voladuras que separan la roca del lecho rocoso definen una red de perforación utilizada para cargar explosivos en esta área inmediatamente después de una perforación previa y después

del impacto de una explosión por las olas circundantes. .. El resultado de la voladura juega un papel trascendental en su diseño.

La ubicación del pozo de voladura está técnicamente hecha y el diseño ayuda a determinar la carga, la separación del pozo, el cálculo de la columna de voladura y la evaluación del desplazamiento de rocas.

2.3.13. Mecanismos de ruptura de la roca

Perforación

En el ciclo de desarrollo minero, esta es la primera actividad a realizar. Consiste en la perforación de agujeros en la superficie para contener los explosivos utilizados para realizar la voladura. Se debe disponer de varios equipos de perforación para llevar a cabo esta actividad. Ejemplo: Máquina perforadora y máquina perforadora.

Voladura

Actividad que involucra la reacción de explosivos contenidos en un taladro para triturar el material para que pueda ser cargado, transportado y procesado. Los explosivos son enviados por la empresa que compró los explosivos y los materiales asociados con el desmantelamiento.

Diseño de parámetros para la voladura

- Burden (B) $B = D \times 0.0254 \times Kb$

Donde: B = Expresado en metros.

Kb = Varía entre los valores de 20 a 40, depende de la clase de roca y del tipo de explosivo empleado.

D = Diámetro del en pulgadas (es igual al diámetro de la broca debido al explosivo a granel).

- Esparcimiento (S) $S = Ks \times B$

Tabla 4. Valores de Ks

Tipo de roca	Valor Ks
Roca suave	1.35
Roca media	1.20
Roca dura	1.15

- Sobre perforación (J) $J = Kj \times B$

Tabla 5. Valores de Kj

Tipo de roca	Valor Kj
Roca suave	0.20
Roca media	0.25
Roca dura	0.30

- Tamaño óptimo de material del taco (μ)

$$\mu = \left(\frac{1}{10} a \frac{1}{15} \right) * D_t$$

Donde: D_t = Diámetro del taladro

- Taco (T) $T = Kt \times B$
- Longitud de perforación (L) $L = Kl \times B$

Tabla 6. Valores de KI

Rangos L	Valor KI
Longitud mínima	1.50
Longitud promedio	2.75
Longitud máxima	4.00

2.4. Definiciones conceptuales

Anfo: Acrónimo de (ammoniumnitrate and fuel oil) nitrato de amonio y óleo combustible, mezcla utilizada en muchas minas como agente detonador.

Perforación: El acto u operación de perforar un agujero circular utilizando un taladro manual o mecánico (eléctrico o hidráulico).

Detonación: La detonación es una combustión supersónica caracterizada por la generación de ondas de choque. En este frente de onda se producen altos gradientes de presión y temperatura, ya que la reacción química tiene lugar sin demora.

Cara libre: Se llama cara libre de labor a una zona o roca que se quiere volar, a cada uno de los lados que están en contacto con el aire, según un cubo imaginario tomado para comparación

Cordón Detonante: Es un cordón flexible que contiene un alma sólida de alto poder explosivo y resistencia a la tensión.

Detonador: Es todo dispositivo que contiene una carga detonante para iniciar un explosivo, al que normalmente se le conoce con el nombre de fulminante. Pueden ser eléctricos o no, instantáneos o con retardo. El término detonador no incluye al cordón detonante.

Diámetro del taladro: Es el diámetro del agujero que se va a perforar, y que tiene forma de cilindro alargado.

Capítulo III

Metodología de la Investigación

3.1. Tipo de Investigación

Oseda, (2008), indica que la investigación es de tipo:

Por enfoque: Cuantitativo ya que las variables de investigación, buscan cuantificar resultados a través del análisis, así también el tipo de trabajo de investigación describe la realidad circunstancial para entender los sucesos y el desarrollo de teorías.

Por propósito: Es aplicada debido a que se quiere conocer las variables del proceso con respecto y por su índole de investigación.

En este sentido, la investigación corresponde por enfoque de tipo cuantitativo y por propósito de tipo aplicada, por qué obedece a una representación de los resultados del reemplazo de explosivo anfo por emulsión para determinar la mejora en la actividad de voladura en la mina Parcoy CMH 2022

“Este estadio se lleva a cabo cuando el investigador va a diseñar el programa para luego evaluarlo, o también como pretest cuando va a evaluar un programa ya elaborado, que no ha sido aplicado en un contexto particular” (Hurtado, 2010).

Nivel de Investigación

Según Carrasco S, (2019) los niveles que existen en la investigación son: Nivel explicativo. Son aquellas investigaciones que no tienen mucha información con respecto al tema de investigación; Nivel descriptivo. Pretenden describir los conceptos o variables a las que se refieren; Nivel correlacional. Se refiere a la relación entre dos o más categorías o variables en un contexto

en particular; Nivel explicativo. Se centra en explicar porque ocurre un fenómeno y porque se relacionan dos o más variables.

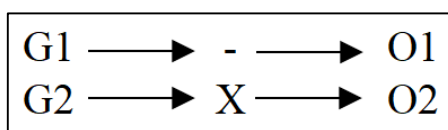
Bajo estos conceptos, esta investigación tiene un nivel *explicativo*, ya que su objetivo, considerando que en esta investigación se manipulara la variable independiente que es reemplazo De Explosivo Anfo Por Emulsión para ver los efectos que producen en voladura de la mina Parcoy, que viene a ser la variable dependiente. Basado en ello sería una investigación de nivel explicativo.

3.2. Diseño de Investigación

“Por su finalidad de estudio, la presente investigación de acuerdo a las variables planteadas, el objetivo general y objetivos específicos de la investigación es de diseño experimental de tipo cuasi experimental”. (Hurtado, 2010).

En este diseño se utilizan dos grupos, de los cuales el investigador no tiene certeza de que sean equivalentes, pues sus integrantes no fueron seleccionados ni asignados al azar, y tampoco mediante un estricto control de variables. Uno de ellos es sometido a los efectos de la variable independiente y el otro no (o ambos son sometidos a niveles diferentes de la variable independiente. (Hurtado, 2010)

Figura 8. Diseño de Investigación



*Nota: (Carrasco, 2006)

3.3.Población

Según Gonzales, (2014) la población representa al conjunto de elementos que comparten por lo menos una característica.

La población está constituida por los explosivos anfo y emulsiones utilizadas en las actividades de voladura de la mina Parcoy

3.4.Muestra

Según Gonzales, (2014). Es parte representante de la población, de tal manera que los resultados que se obtienen en la muestra logren generalizar en absoluto los elementos que conforman dicha población.

En esta investigación, la muestra estará conformada por 40 pruebas de cambio del explosivo Anfo por Emulsión que nos permitirá determinar la significancia de ambos resultados.

3.5.Muestreo

El muestreo es “el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población” (López, 2004, p. 69). Es así, que el muestreo que se empleará en esta investigación es no probabilístico de tipo intencional, que “permite seleccionar casos característicos de una población limitando la muestra sólo a estos casos” (Otzen y Manterola, 2017, p. 230).

3.6. Metodología de trabajo

Este trabajo de investigación se llevó a cabo a través de tres fases: recopilación de datos y planeación del trabajo de campo; fase de campo y fase posterior al trabajo de campo.

3.6.1. Recopilación de datos y planeación del trabajo de campo

Inicialmente, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de la información necesaria para obtener las bases de lo que buscamos investigar, por ello se recurrieron a motores o bases de datos que nos brindaron artículos, tesis, libros, papers, etc. Con ello fue posible elaborar nuestro marco teórico siendo la base conceptual de la presente tesis.

3.6.2. Fase de campo

Para llevar a cabo el estudio, se han analizado tanto aspectos sobre la geología del terreno donde se realizó la investigación como análisis al macizo rocoso presente en el área de influencia. Todos estos datos se han recogido de acuerdo a la importancia que significan estos factores en el análisis mecánico del macizo rocoso circundante en las labores analizadas.

3.6.3. Fase posterior al trabajo de campo

En esta fase se realizó la evaluación de los datos obtenidos en el trabajo de campo. Es así, que en esta etapa se evaluaron los resultados de la propuesta de cambio de explosivo, a partir de los resultados se construyó las conclusiones del trabajo de investigación.

3.7. Unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación es el tipo de explosivo utilizado en el proceso de voladura en la unidad minera Parcoy.

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- a) **Observación:** Esta técnica se empleó para describir los procesos operativos de la mina Parcoy, características geomecánicas tomando como punto de partida los indicadores establecidos. Para ello se empleó como instrumentos, el cuaderno de campo y laptop personal.
- b) **Registro de datos de campo:** Al tener la muestra seleccionada se toman datos de campo usando fichas de bases de datos.

Análisis de datos: En este trabajo de investigación, se utilizará un estadístico descriptivo, porque los resultados de nuestras dimensiones nos indican que responden a una escala de intervalo y de razón.

Se presentarán los datos del análisis del cambio de explosivo anfo vs la emulsion , según los parámetros establecidos en la normativa. Verificando si se cumple con estar dentro del rango. Asimismo, los otros ensayos realizados en laboratorio, se analizarán los datos obtenidos para realizar la contrastación de las hipótesis específicas.

3.9. Fase Previa a la aplicación de la emulsión gasificable Voladura

Es la Fragmentación de la roca mediante explosivos confinados en las cavidades generadas en la perforación. De acuerdo con los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de los taladros perforados en roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos; fragmentación y desplazamiento. (Exsa, 2003, p. 73)

Explosivos

Los explosivos son sustancias químicas que en condiciones normales de temperatura y presión son inocuas, pero que por medio de un iniciador pasan violentamente al estado gaseoso, produciendo un gran aumento de volumen, alta temperatura y presión; se pueden clasificar en primario o secundario según la función que cumplan, los primeros son los responsables de iniciar la detonación de una masa explosiva y los segundos son los encargados de ejercer el efecto rompedor del disparo.

Carga de columna

Se entiende como carga de columna a los explosivos que son los encargados de quebrar la roca y que necesitan de un explosivo con mayor potencia para poder iniciar en la mayoría de los casos. Existe una gran variedad de cargas que se pueden utilizar para cumplir esta función.

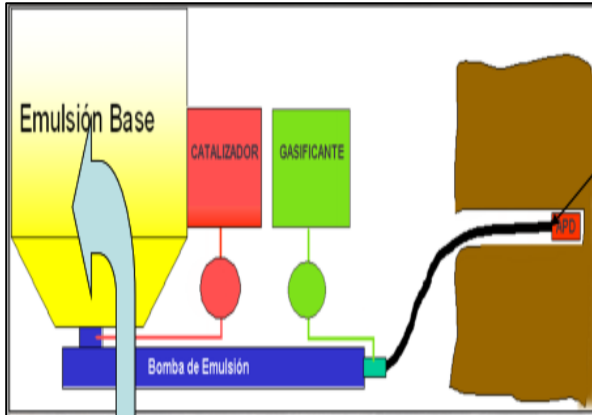
Anfo

El Anfo es una mezcla de Nitrato de amonio y un combustible. El nitrato de Amonio (NH_4NO_3) es una sal inorgánica blanca. Ésta por sí sola no es un explosivo, sólo adquiere esta capacidad al ser mezclado con pequeñas cantidades de un combustible. En la fabricación de explosivos se emplea aquel que tiene forma de partículas esféricas, ya que es el que tiene mejores características para retener a los combustibles líquidos. Cualquier sustancia combustible puede utilizarse con el nitrato de amonio para generar y fabricar un agente explosivo. Antes se empleaba polvos de carbón hasta llegar a ser sustituido por los combustibles líquidos principalmente porque lograban mezclas más homogéneas con el Nitrato de Amonio. El producto más utilizado es el gas-oíl ya que, frente a otros líquidos, presenta la ventaja de no tener un punto de volatilidad tan bajo, en comparación con las gasolinas y el keroseno, teniendo un menor riesgo de explosiones de vapor.

Emulsiones

Dentro de los explosivos, la emulsión es el más reciente en el mercado, teniendo como principales características el mejoramiento de la potencia y la resistencia al agua. Tiene un sistema bifásico compuesto por la mezcla de un fluido inmiscible en otro. Las emulsiones explosivas son denominadas agua aceite en donde la fase acuosa está compuesta por sales orgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible hidrocarbonado inmiscible en agua. (Ver Figura 7)

Figura 9. Emulsión.



Fuente: Orica (2018).

La incorporación de emulsión promete ciertos beneficios claves:

- ❖ La densidad final del producto puede ser modificada para ajustarse a los requerimientos deseados
- ❖ La emulsión bombeable reduce derrame y junto a la resistencia al agua, minimiza el percolamiento de nitrato y el resultante impacto medio ambiental
- ❖ Proporciona una carga explosiva totalmente acoplada para maximizar los resultados de la tronadura
- ❖ La gran velocidad de carga y los reducidos gases post tronadura, mejoran dramáticamente el tiempo de retorno
- ❖ Reduce potenciales explosiones de polvo sulfatado
- ❖ Se elimina la preocupación relacionada con la salud ocupacional por manipulación y almacenamiento de explosivos.

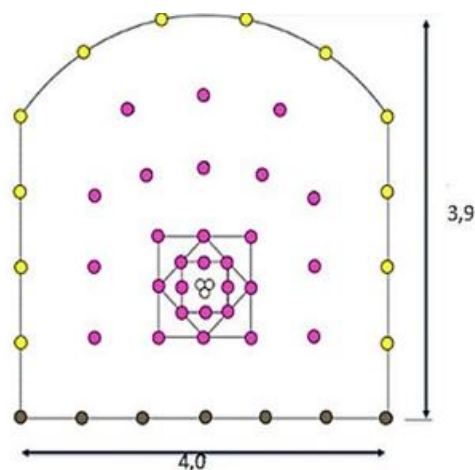
3.9.1. Descripción de las acciones realizadas

En la mina Parcoy, se identificaron los siguientes motivos que sustentan la propuesta de aplicación de emulsión: existe sobre excavación de las labores, acumulación de desmontes, insuficiente disponibilidad de piques (labores verticales). Afectando directamente las horas de trabajo disponibles por turno.

3.9.2. Línea Base con Anfo

Se realiza la línea base de tronadura con el explosivo tipo ANFO, que es el utilizado tradicionalmente en la Mina Parcoy, para lo cual se presenta el diagrama que se muestra en la figura.

Figura 10. Diseño de malla de perforación con anfo



Fuente: CMH Parcoy

3.9.2.1. Pruebas en Terreno

Para poder realizar el análisis, se consideró la toma de información en terreno de 9 frentes a analizar en Mina Requillas, las cuales actualmente se cargaban con ANFO, con el fin de obtener un detalle más acabado de las variables a considerar. Definido lo anterior, las mediciones obtenidas por fecha, ubicación y tipo de sección se entregan en la Tabla siguiente:

Tabla 7. Sección de labores Mina Parcoy

Labor	C43 S Acceso5	C29 S XC5	Rampa Nº2 FW	C43 S Z40	C47 S Z49	C51 S Z44	Z41 HW C45	XC Acc6 HW C31
Nivel	UCL	UCL	UCL	NP	NP	NP	NP	UCL
Sección	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9
Fecha Tronadura	22.02.22	15.02.22	20.02.22	27.02.22	01.03.22	01.03.22	06.03.22	08.03.22
DTM	Material deshecho	12449	Rotura	12976	12978	Error topo.	13027	Material deshecho

Fuente: Elaboración propia en base a registros en terreno, 2022

Tabla 8. Sobre excavación ANFO

Nivel	Perfil	Metro	Área real Excavada [m ²]	Área sección proyectada Teórico [m ²]	Sección Proyectada [%]	Dif. Real Excavada [m ²]	Sobre Excavación [%]
UCL	P1	0,5	19,6	15,6	100	4,0	25,64
	P2	1,0	20,8	15,6	100	5,2	33,33
	P3	1,5	22,4	15,6	100	6,8	43,59
	P4	2,0	19,3	15,6	100	3,7	23,72
	P5	2,5	19,5	15,6	100	3,9	25,00
	P6	3,0	17,4	15,6	100	1,8	11,54
UCL	P1	0,5	20,4	15,6	100	4,8	30,77
	P2	1,0	19,6	15,6	100	4,0	25,64
	P3	1,5	20,4	15,6	100	4,8	30,77
	P4	2,0	19,7	15,6	100	4,1	26,28
	P5	2,5	23,5	15,6	100	7,9	50,64
	P6	3,0	19,5	15,6	100	3,9	25,00
	P1	0,5	22,1	15,6	100	6,5	41,67

NP	P2	1,0	21,5	15,6	100	5,9	37,82
	P3	1,5	19,7	15,6	100	4,1	26,28
	P4	2,0	19,3	15,6	100	3,7	23,72
	P5	2,5	21,1	15,6	100	5,5	35,26
	P6	3,0	20,4	15,6	100	4,8	30,77
NP	P1	0,5	21,7	15,6	100	6,1	39,10
	P2	1,0	20,4	15,6	100	4,8	30,77
	P3	1,5	20,6	15,6	100	5,0	32,05
	P4	2,0	17,9	15,6	100	2,3	14,74
	P5	2,5	22,5	15,6	100	6,9	44,23
	P6	3,0	18,8	15,6	100	3,2	20,51

Fuente: Elaboración propia en base a registros en terreno, 2022

3.9.3. Cambio de explosivo con Emulsión

Actualmente y como se ha mencionado con anterioridad, el problema latente crítico, se encuentra en la sobreexcavación, ya que, al presentar valores considerables, implica tener mayor costos en todas las actividades del ciclo minero.

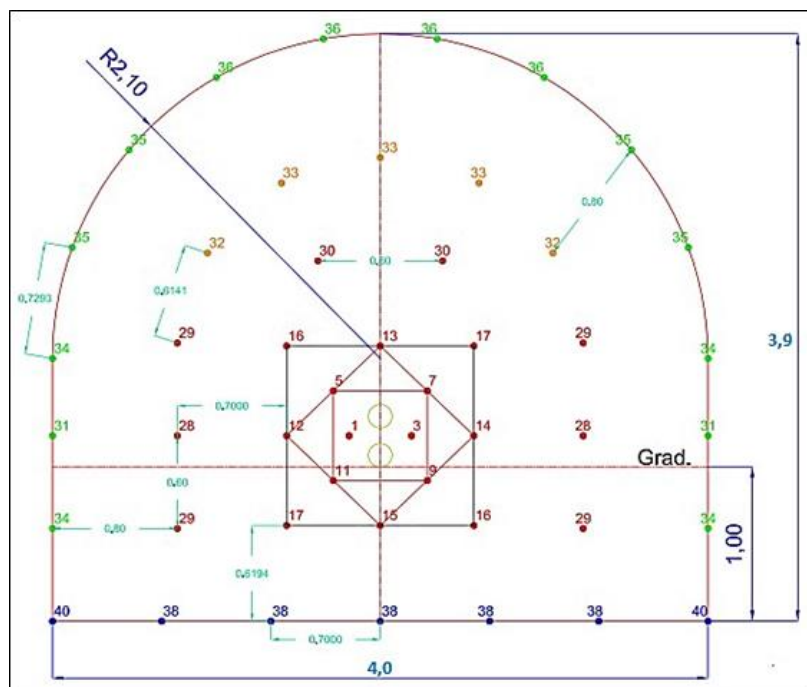
Cabe destacar que, el ANFO crea fracturas extensas pero discretas (Crack zone), mientras que la emulsión ocupa su energía en triturar un halo circundante a la perforación, de manera intensiva y sin generar fracturas discretas extensas que contribuyan a dañar la geometría circundante al disparo.

Por lo anterior y con el fin de minimizar estos costos y entregar un valor agregado al proceso, se consideró la utilización de emulsión como explosivo para las voladuras.

3.9.3.1. Pruebas en Terreno

Las pruebas en terreno se realizan en la Mina Parcoy

Figura 11. Diseño de malla de perforación con emulsión



Fuente: CMH Parcoy

La figura representa las características del diseño futuro para cada una de las galerías ubicadas en las labores de avance de la Mina Parcoy, para una sección de medidas 4,2 [mt] x 3,9 [m], se perforan 50 tiros en total con 48 cargados y 2 de alivio.

Con estos cambios se verifica que la sobreexcavacion se reduce significativamente como a continuación se puede apreciar.

Tabla 9. Sobre excavación con Anfo

Nivel	Perfil	Metro	Área real Excavada [m ²]	Área sección proyectada Teórico [m ²]	Sección Proyectada [%]	Sobre Excavaciónn [%]
UCL	P1	0,5	19,6	15,6	100	7,14
	P2	1,0	20,8	15,6	100	20,31
	P3	1,5	22,4	15,6	100	24,54
	P4	2,0	19,3	15,6	100	8,12
	P5	2,5	19,5	15,6	100	12,10
	P6	3,0	17,4	15,6	100	2,14
UCL	P1	0,5	20,4	15,6	100	13,27
	P2	1,0	19,6	15,6	100	10,41
	P3	1,5	20,4	15,6	100	12,89
	P4	2,0	19,7	15,6	100	12,48
	P5	2,5	23,5	15,6	100	38,84
	P6	3,0	19,5	15,6	100	14,00

Fuente: Elaboración propia en base a registros en terreno, 2022

Capítulo IV

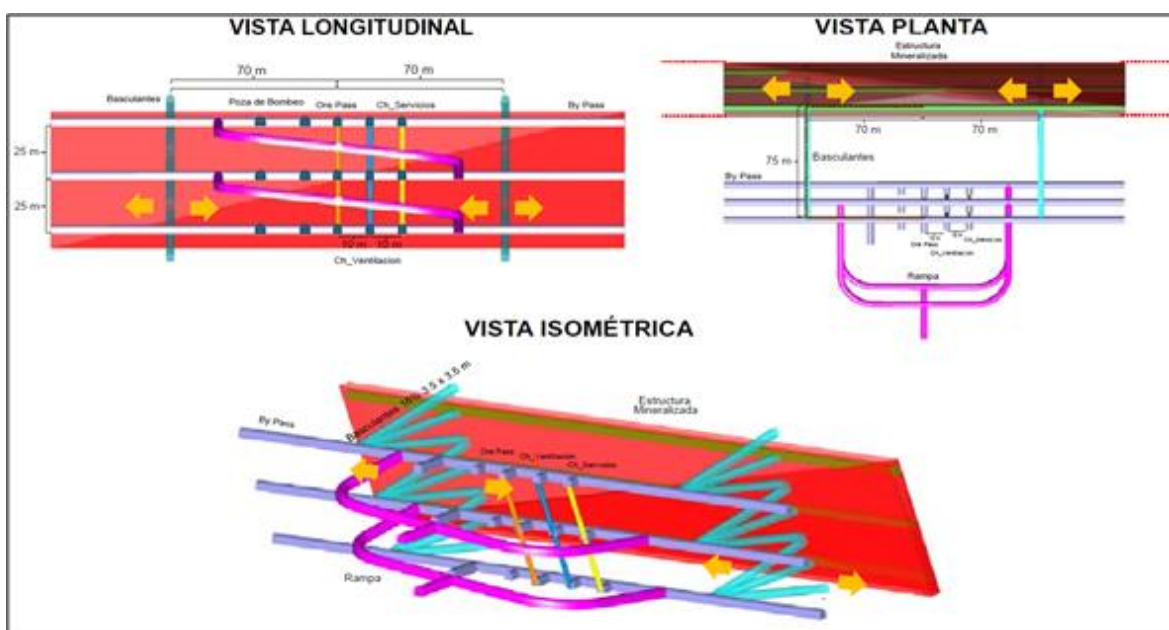
Recolección de datos y procedimiento experimental

4.1. Análisis del cambio de explosivo de encartuchado vs emulsión Quantex Sub.

4.1.1. Método de explotación

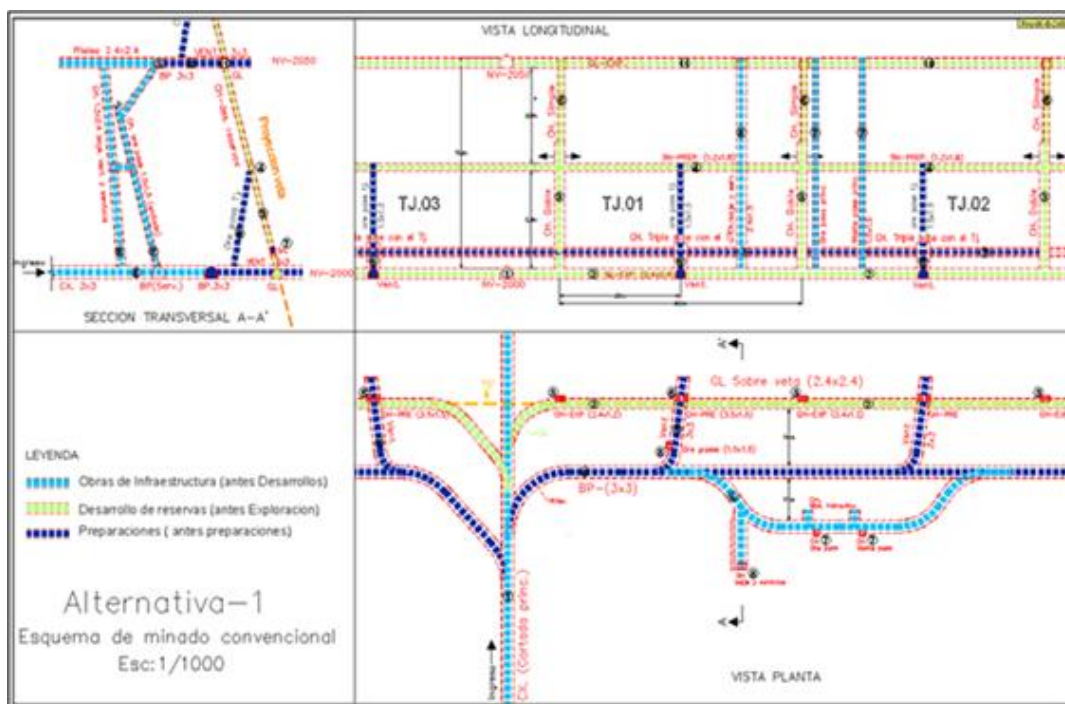
El método de explotación es de corte y relleno ascendente, mecanizado y convencional. En el mecanizado se aplica el relleno detrítico y relleno hidráulico, mientras que, en el convencional, solo el relleno hidráulico.

Figura 12. Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente Mecanizado.



Fuente: CMH Parcoy

Figura 13. Método de Explotación Convencional.



La limpieza de mineral en los tajos se efectúa con scoop de dimensiones variables, de acuerdo a la potencia de la veta (1.5yd³ a 4yd³), y en tajos convencionales, con winches de arrastre eléctricos.

Para el acarreo se utilizan scoop de 4 yd³, dumper 12ton. y 15 ton. Para la extracción se usan volquetes de 15 m³.

Como labores principales se realizan rampas de desarrollo, by pass y cruceros. Se ejecutan galerías de exploración, para dimensionar la longitud de la estructura mineralizada. Posteriormente se inicia la preparación para el minado respectivo.

En lo que respecta a la perforación, esta se realiza en forma horizontal (perforación en breasting), solamente en chimeneas se perfora verticalmente.

Para la perforación se usa jumbos electrohidráulicos y Jackleg y los taladros son de 14 pies y 6 pies de profundidad.

Para la voladura se utiliza la dinamita, después de los disparos se ventila los frentes, se desata y para luego proceder a la limpieza de mineral roto, luego según la calidad de roca se sostiene con shotcrete de 2" o 4" pulgadas con fibra metálica y pernos Split set, Hydrabolt, expandabolt, pernos helicoidales.

Una vez completado el corte de minado, de aproximadamente 50 metros por cada ala, se rellena con relleno detrítico y/o relleno hidráulico con una abertura de 30 centímetros, para el siguiente corte. Referente al relleno hidráulico, se cuenta con una planta ubicada en superficie. Desde este punto se transporta a las labores de interior mina a través de la red de tubería de 4 pulgadas de diámetro. El relleno es impulsado por 02 bombas.

Después del disparo, la evacuación de gases es por las chimeneas que conectan de nivel a nivel hasta superficie, manteniendo con aire fresco los frentes y caminos de tránsito de personal. La extracción de aire viciado se efectúa por chimeneas principales en los extremos de la infraestructura de cada veta. Así mismo se tiene chimeneas de sección de 2.5 x 2.5 metros hasta superficie exclusivamente para ventilación de la mina.

Después de la ventilación ingresa el personal hace el desatado de roca cumpliendo el procedimiento de seguridad. En los tajos convencionales se realiza la limpieza de mineral con winches eléctricos de arrastre y en los tajos mecanizado con scoop diésel, el mineral de los tajos es evacuado a cámaras de acumulación o a los echaderos de mineral, de donde son evacuados posteriormente mediante volquetes hacia superficie.

4.1.2. Ciclos de Minado Perforación

La perforación en los tajos mecanizados es en breasting y se realiza con jumbos electrohidráulicos donde se usan barras de dimensiones que van de 10 a 12 pies de longitud, el diámetro de perforación varía entre 38 a 45mm con un burden y espaciamiento de 0.80 – 1.00 m., y la perforación en tajos convencionales es en breasting y se realiza con máquinas Jack leg, se usan barras de 4 y 6 pies, el diámetro de broca es de 38mm.

Figura 14. Ciclo de Minado – Perforación mecanizada (2 horas)

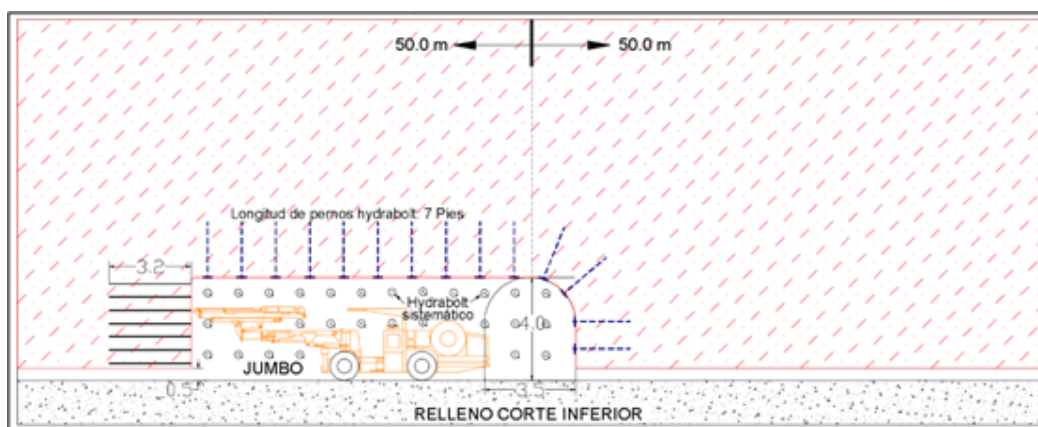
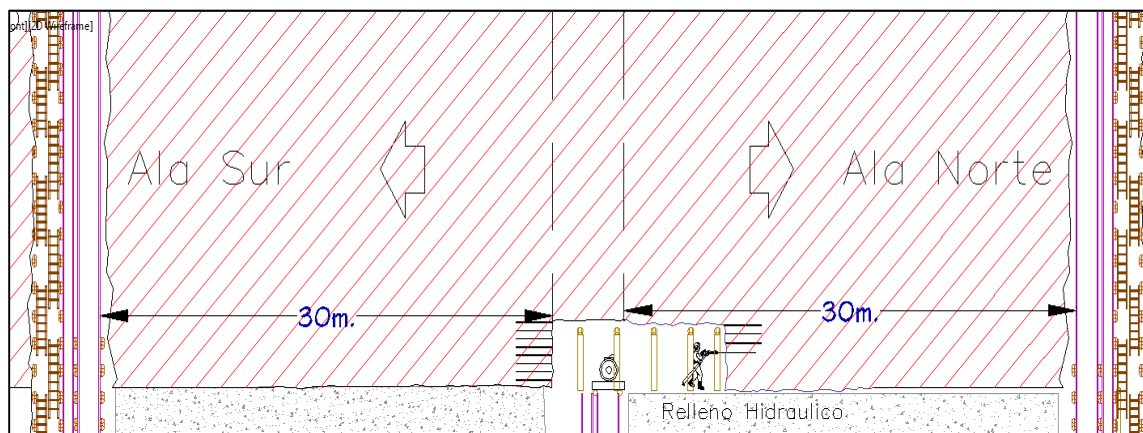


Figura 15. Ciclo de Minado – Perforación convencional (0.8 horas)



Voladura

Culminado el proceso de perforación se realiza el carguío, para esto se utiliza como explosivo la dinamita (Semexsa 45% y Exsablock) y como accesorios Cordón detonante, Detonador no eléctrico (Exsanel), Mecha lenta (Carmex) y Mecha rápida. Los taladros de producción se cargan con Semexsa 45% y los taladros de contorno con Exablock, con el objetivo reducir la sobre excavación y los daños a la roca circundante.

Figura 16. Ciclo de Minado – Voladura en tajos mecanizados (1.2 hora de carguío)

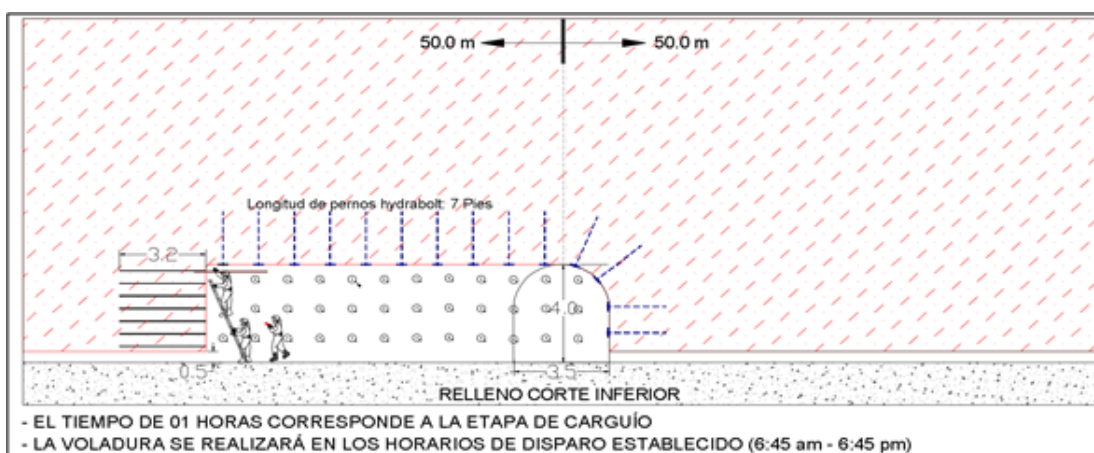
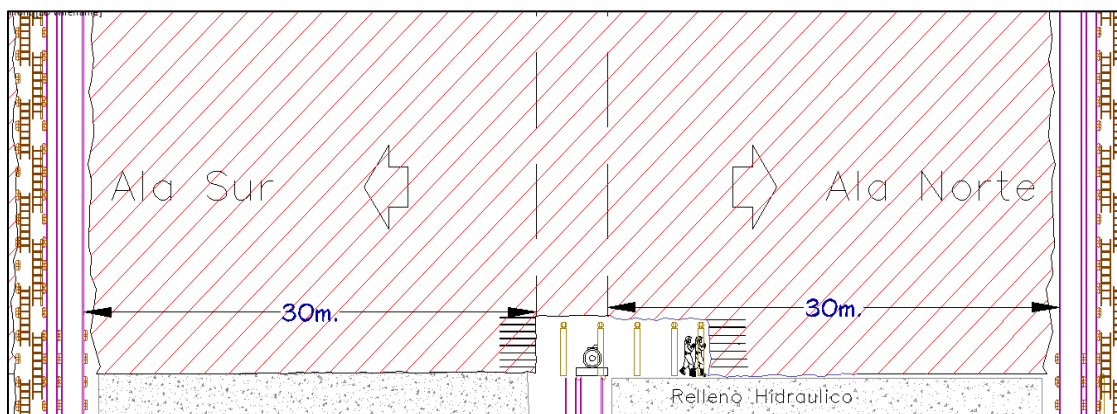


Figura 17. Ciclo de Minado – Voladura en tajos convencionales (0.5 hora de carguío)



Limpieza

La operación de limpieza en los tajos mecanizados se realiza con scoop diésel de 4 yd³ los cuales evacuan el mineral directamente al ore pass que está en el by pass de acceso.

También se acumula carga en cámaras de acumulación, los cuales son cargados a volquetes con el scoop diésel de 4 yd³.

En tajos convencionales la limpieza es con winches 15 y 20 HP y rastras.

Figura 18. Ciclo de Minado – Limpieza mecanizado (2 horas)

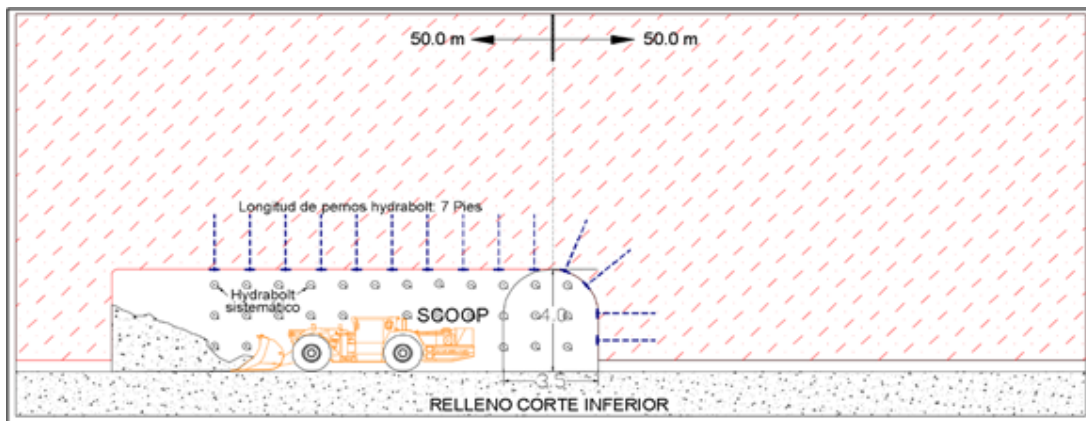
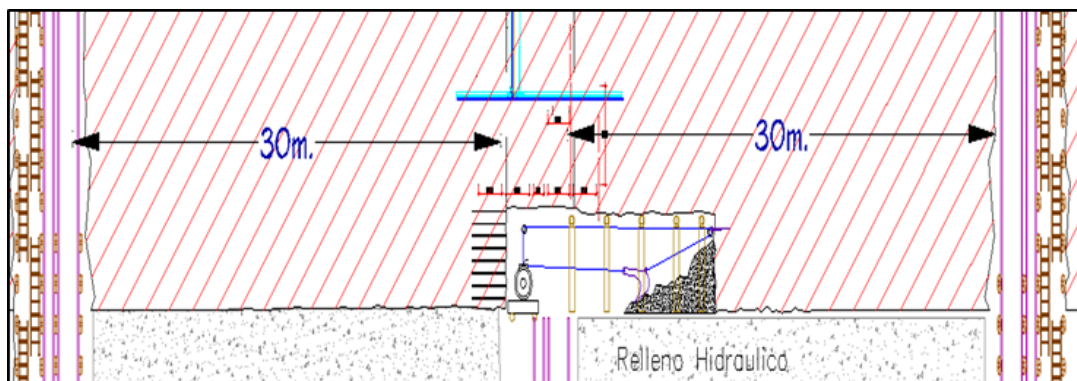


Figura 19. Ciclo de Minado – Limpieza convencional (1.5 horas)



Ventilación

Para la ventilación auxiliar se usan ventiladores de 30,000CFM, 45,000CFM y 60,000CFM como inyectores de aire limpio a labores ciegas. El aire es direccionado hacia los frentes mediante mangas de ventilación de diferentes diámetros de acuerdo a la sección de la labor y al requerimiento de cada labor.

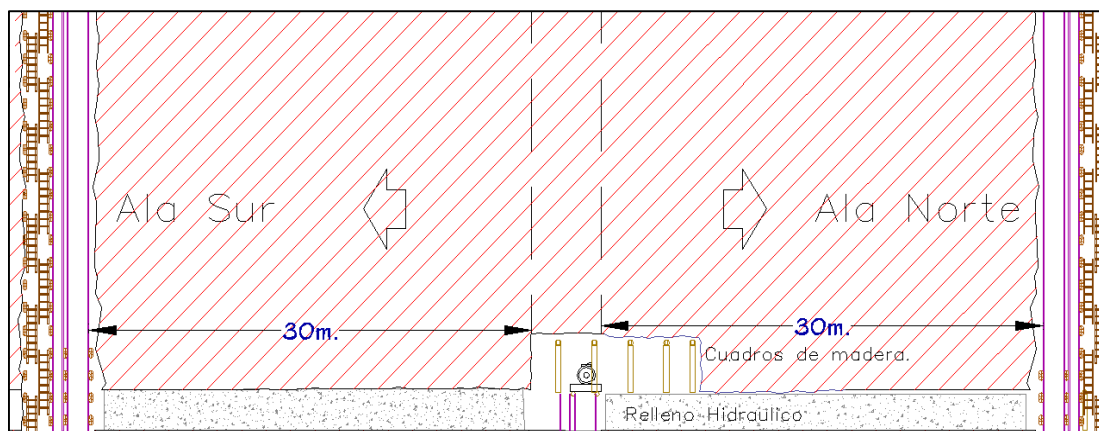
Sostenimiento

El sostenimiento de los tajos se realiza de acuerdo a la clasificación geomecánica del macizo rocoso, utilizando shotcrete por vía húmeda y pernos split set, pernos helicoidales, cuadros de madera, pernos hydrabolt y expandabolt según la función de la labor si serán labores temporales o labores permanentes.

Figura 20. Ciclo de Minado – Sostenimiento mecanizado (1 hora)



Figura 21. Ciclo de Minado - Sostenimiento convencional (3 horas)



Acarreo

El acarreo es mediante scoop diésel de 4 yd³ y/o con dumper de 12 y 15 T. El mineral acumulado en las cámaras destinadas para este fin, es cargado a volquetes con scoop diésel de 4 yd³.

Figura 22. Ciclo de Minado – Acarreo con scoop.

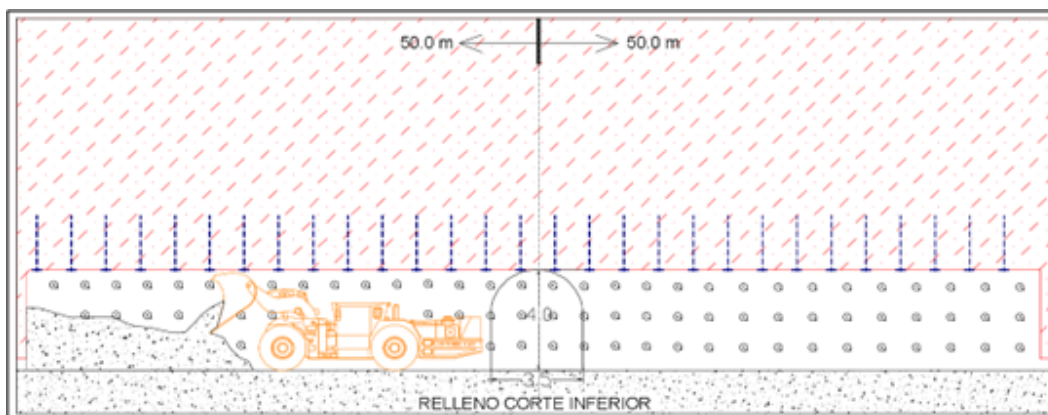
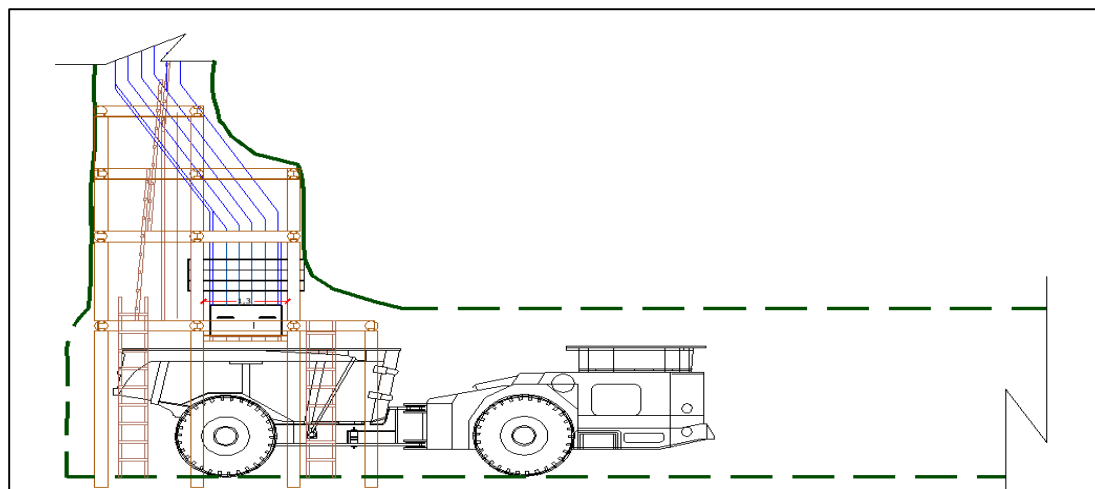


Figura 23. Ciclo de Minado – Acarreo con dumper.



Transporte

El mineral acumulado en las cámaras de acumulación, es cargado a los volquetes mediante un scoop, mientras que el mineral que se encuentra en los echaderos, es descargado a través de su tolva hacia los volquetes. El mineral en los volquetes es transportado hacia la planta de beneficio ubicada en superficie. Se utilizan volquetes de 23 y 32 toneladas de capacidad.

Figura 24. Ciclo de Minado – Acarreo

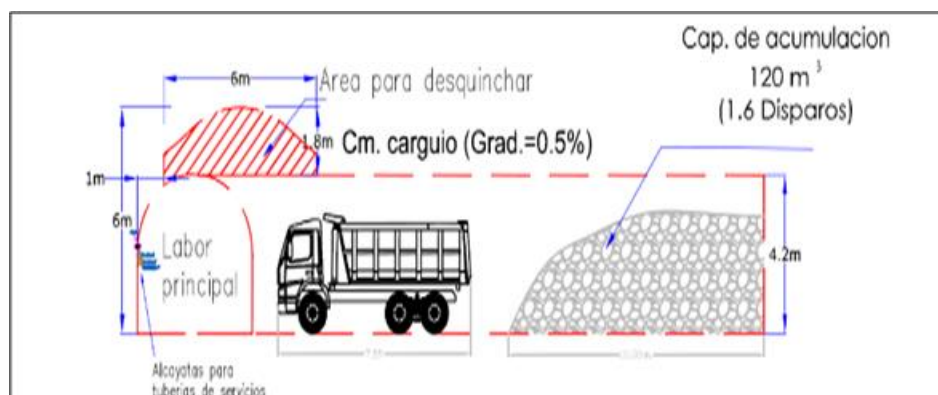
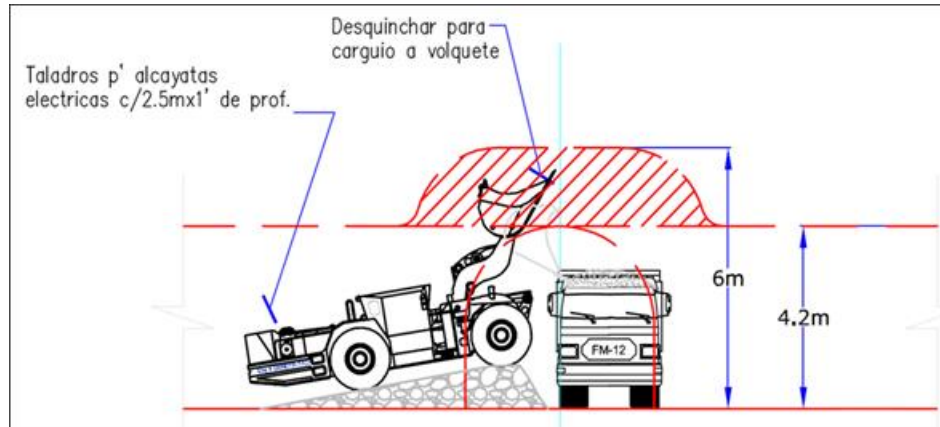


Figura 25. Ciclo de Minado – Acarreo



4.2. Accesorios de voladura

a.- Detonador no Eléctrico FANEL

Una cápsula cilíndrica de aluminio con un extremo cerrado. Alberga los explosivos primario y secundario en el tren de desaceleración correspondiente y se inserta en un tubo de plástico conductor de ondas de choque.

Ingredientes:

- ❖ Tetranitrato de pentaedritrita
- ❖ Zirconio
- ❖ Silicio
- ❖ Sulfato de Bario
- ❖ Óxidos de plomo
- ❖ Aluminio
- ❖ Polietileno y resina ionomérica

b.- Fulminante Común

Cápsula cilíndrica de aluminio con un extremo cerrado, que contiene explosivos primarios y secundarios. Su componente es tetranitrato de pentaeritrol.

c.- Mecha de Seguridad

El cordón, que consiste en un núcleo de pólvora negra, está rodeado por varias capas de una mezcla de hilo fibroso, papel y asfalto, y finalmente se cubre con una película plástica.

Ingredientes:

- ❖ Pólvora negra
- ❖ Hilos textiles
- ❖ Papel
- ❖ Mezcla asfáltica
- ❖ Recubrimiento de plástico

d.- Cordón Detonante

Cordón hecho de un núcleo de tetranitrato de pentaeritrita, con fibras sintéticas y una película plástica exterior.

- ❖ Tetranitrato de pentaeritrita
- ❖ Fibras sintéticas
- ❖ Plástico

e.- Booster

Mezcla explosiva envasado dentro de un cilindro de cartón.

Ingredientes:

- ❖ Tetranitrato de pentaeritrita
- ❖ Trinitrotolueno

4.3. Estándares de diseño de voladura

Lo que comúnmente se revela es una estructura normal con estándares establecidos en los tres pozos principales en los que está trabajando la mina. Afecta costos, actualmente en aumento con respecto al año anterior. Como resultado, se evalúan los indicadores actuales que determinan el desempeño explosivo y la calidad de los escombros. Este es el objetivo principal de la mejora continua a escala global.

Cabe señalar que para lograr una mayor fragmentación, una mayor eficiencia minera y un mejor tratamiento durante la lixiviación, necesitamos usar explosivos más altos en nuestras operaciones, pero una implementación descontrolada o factores que sugieren que los límites o rangos son simplemente inadecuados para aumentar los costos sin control; esto lleva a la frase "no se puede controlar todo lo que no se puede medir".

4.3.1. Diseño de la malla de perforación y voladura

1.- Altura de Banco (H)

$$H = 10 + 0.57 * (C - 6)$$

$$H = 10 + 0.57 * (3 - 6)$$

$$H = 8 \text{ m}$$

2.- Cálculo del Diámetro del Taladro

$$H(m) \geq \frac{\phi(mm)}{15}$$

Despejando ϕ (mm) tenemos:

$$\phi(mm) < H(m) * 15 = 8 * 15; \phi(mm)$$

$\leq 120mm$; por las condiciones geológicas del terreno se usa un diametro de 146mm

3.-Cálculo del Burden Maximo:

$$B_{max} = 3.15 * \phi_{tal} * \sqrt[3]{\frac{\rho_{exp}}{\rho_{roca}}}$$

$$B_{max} = 3.15 * 5.75 * \sqrt[3]{\frac{1.2}{2.55}}$$

$$B_{max} = 14.0 \text{ pies}$$

$$B_{max} = 4.0 \text{ m}$$

4.- Sobre Perforación:

$$SP = 0.3B$$

$$SP = 0.3 * 14.0$$

$$SP = 4.20 \text{ pies} ; SP = 1.2\text{mts}$$

Las prácticas en el sitio reducen el overbore a 0,5 m para maximizar la fragmentación requerida. Debajo de eso ya hay un problema con el piso.

5.- Longitud de Taladro:

$$L = H + SP$$

$$L = 26.25 + 1.64$$

$$L = 27.89 \text{ pies}; \quad L = 8.5 \text{ m}$$

6.- Longitud del Taco:

$$\text{Taco}(T) = L/3$$

$$\text{Taco}(T) = 27 \cdot \frac{89}{3}; \quad \text{Taco}(T) = 9.23 \text{ pies}; \quad \text{Taco}(T) = 2.6 \text{ m}$$

7.- Error de Perforación:

$$e = 0.05 + 0.03 * L$$

$$e = 0.05 + 0.03 * 27.89$$

$$e = 0.88 \text{ pies}$$

8.- Burden Práctico:

$$B = B_{\text{max}} - e$$

$$B = 14.00 - 0.88$$

$$B = 13.00 \text{ pies}; \quad B = 3.9 \text{ m}$$

9.- Espaciamiento:

$$E = \frac{H + 7B}{8}$$

$$E = \frac{26.246 + 7 * 13.00}{8}$$

$$E = 14.65 \text{ Pies}; \quad E = 4.4m$$

4.4. Efecto de las características del explosivo en la sobre excavación

4.4.1. Estudios de sobre excavación

En la minería subterránea, durante mucho tiempo se ha reconocido que la sobre excavación es la causa principal de los riesgos de peligros y deterioro en la gestión de una mina y, como tal, se han llevado a cabo numerosos proyectos de investigación relacionados. Muchos trabajos de investigación se han dedicado a aclarar el fenómeno de la sobre excavación, pero aún no pueden explicar el proceso exacto de este fenómeno. De acuerdo con algunos estudios, los factores que causan la sobre excavación pueden clasificarse en dos grupos.

1) Factores geológicos y 2) factores de voladura, son los principales grupos que influyen en la sobre excavación (Mahtab et al., 1997; Mandal et al., 2008).

4.4.1.1. Parámetro de Voladura

Los parámetros de voladura son modificables y controlables en cierta extensión e incluyen factores tales como: geometría de la voladura, perforación inadecuada, perforaciones guía, secuencias de disparo, diseño de corte, desviación de voladura, características del explosivo, concentraciones de carga, relación de acoplamiento, factores de carga, niveles de energía y onda de choque inducidos por explosión, etc.

Los parámetros de explosión afectan la sobre excavación en una correlación mutua compleja en tan solo unos pocos milisegundos. En realidad, para obtener un plano de fractura

suave sin ningún daño en la pared, el diseño de tronadura debe ser el adecuado y la perforación precisa debe ser una prioridad. Con estas influencias en la sobre excavación y la flexibilidad para manipular los parámetros de voladura, se han llevado a cabo muchos proyectos de investigación para comprender las causas de la sobre excavación y para revelar las influencias de los parámetros de tronadura en el fenómeno de la sobre excavación.

Por ejemplo, Rustan (1998) llevó a cabo pruebas de voladura de modelos y de campo para definir el tiempo de retardo óptimo entre las perforaciones de contorno en la tronadura combinando sistemas de iniciación simultáneos y micro-secuenciales. Ambos sistemas tienen ventajas y desventajas, pero se descubrió que el sistema de iniciación simultánea es superior para minimizar el exceso de radiales. Como resultado, las pruebas de campo mostraron que la longitud máxima de grietas radiales en la masa rocosa restante de los sistemas de iniciación simultáneos creaba 1,3 a 9,0 veces 24 menos que el sistema de iniciación micro-secuencial que tenía solo 1 m/s de retardo de disparo entre las perforaciones del contorno.

4.4.1.2. Parámetros geológicos

Los parámetros geológicos son factores fijos y la mayoría de ellos, como la resistencia de la masa rocosa, las características de las discontinuidades, las condiciones del agua presente, las condiciones de esfuerzos y la topografía del área circundante influyen en el fenómeno de sobre excavación. Existen estudios de investigación para comprender la relación entre los factores geológicos y la sobre excavación. Hagan (1992) enfatizó en un estudio, que las fracturas en la roca tienden a dominar la naturaleza del patrón de fracturas inducido por la tronadura y generalmente influye en la sobre excavación más que las propiedades mecánicas y físicas de la roca. Entre los factores geológicos, la orientación de la discontinuidad es uno de los principales factores que influyen en el fenómeno de sobre excavación. Hoek y Brown (1980) señalaron que en un plano de

discontinuidades que tiene un impacto paralelo al eje del túnel se considera que tiene un efecto desfavorable sobre la sobre excavación. En general, se observa menos sobre excavación donde el manto de la discontinuidad es casi perpendicular al eje del túnel y mayor cuando son casi paralelos.

Capítulo V

Resultados

5.1.Reemplazo de anfo por emulsión en la sobre excavación de las labores en la mina

Parcoy CMH 2022.

El estudio nace bajo la creciente necesidad de reducción de tiempos en minería y la consecuente disminución de costos, para ello se identificó una variable crítica presente en los desarrollos mineros, la cual corresponde a la sobreexcavación. La posible mejora de ésta, más allá de las ventajas económicas, también implica una menor exposición de horas hombre al realizar esta actividad y por ende, una reducción a la exposición de los trabajadores a los riesgos inherentes de la acción. Por lo anterior, el desafío entonces es optimizar la sobreexcavación y a su vez optimizar la productividad de las labores mineras.

5.1.1. Consideraciones previas

La recopilación de la información recolectada en la Mina Parcoy se realizó en terreno considerando el avance en metros lineales (ml) en un periodo mensual, para ello, la información utilizada se obtiene de:

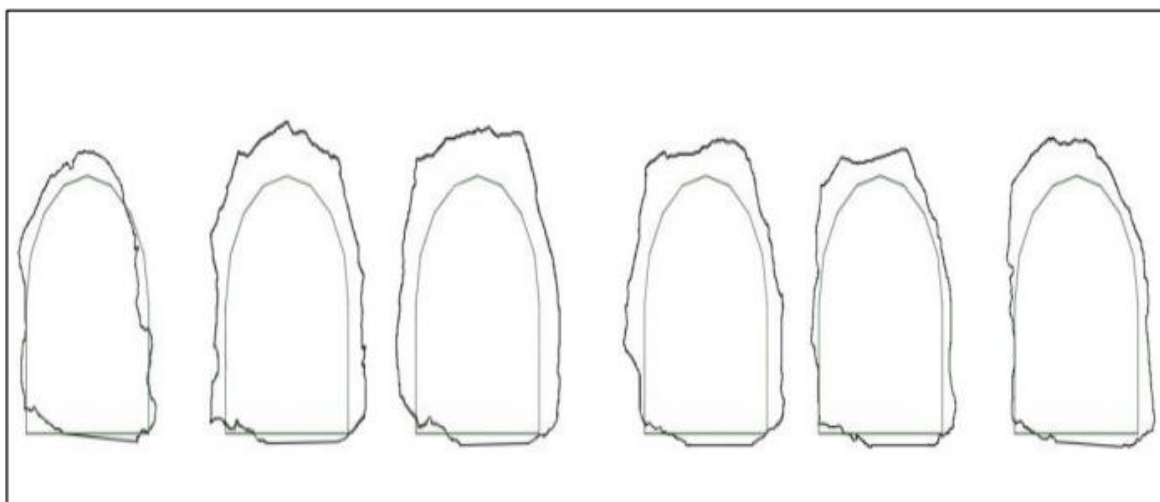
- Datos topográficos de sobreexcavación
- Fotografía ADAM (sistema de fotografías en 3D)

Se definen las siguientes consideraciones en la evaluación:

- Información recolectada correspondiente a sub o sobreexcavación.

Con el procesamiento de los datos, tanto de las fotografías, más las coordenadas, se obtiene un modelo de la excavación. Se debe realizar una triangulación de la zona de roca descubierta con el fin de obtener todos los datos necesarios para realizar el presente estudio.

Figura 26. Perfiles topográficos.



Fuente: CMH Parcoy

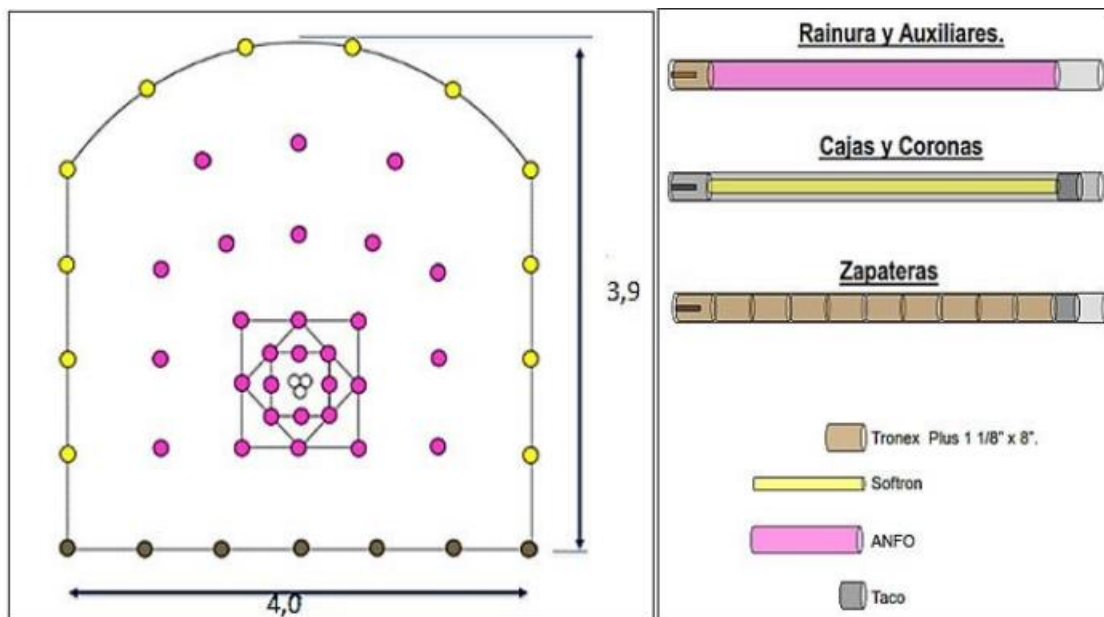
5.1.2. Utilización de anfo

A continuación, se realizará el análisis de la sobreexcavación, considerando la utilización de ANFO en el desarrollo de avance minero.

Antecedentes.

Se realiza la línea base de voladura con el explosivo tipo ANFO, que es el utilizado tradicionalmente en la Mina Parcoy, para lo cual se presenta el diagrama que se muestra en siguiente figura.

Figura 27. Diseño de perforación con Anfo.



Fuente: CMH Parcoy

La distancia entre estos tiros es de 0.20 m y el criterio de carguío es iniciar la serie de MS (milisegundos) del 1° al 4°, el tiro de rainura que esté más cerca al tiro de alivio, siempre es el primero en la distribución de MS (Un milisegundo es el período que corresponde a la milésima fracción de un segundo).

Los cuadrantes restantes se cargan con la serie LP (detonador No-Eléctrico de retardo tipo Largo Período), del 7° al 14°, siendo en total 16 tiros de producción se carga al fondo del tiro un sebo Tronex plus 1 1/8" x 8" (2 unidades/tiro), seguido por una columna de ANFO de 3,40 m más un taco de greda de 0.20 m.

Los tiros de ayuda de rainura, de hastiales y de corona se cargan con un sebo Tronex plus 1 1/8" x 8" (1 unidad/tiro) más la columna de ANFO de 3 [mt] más un taco de greda de 20 [mt].

Los tiros de hastiales y corona se cargan con un sebo Tronex plus 1 1/8" x 8" (1 unidad/tiro más Softron 11/16" x 20", 6 unidades/ tiro) más un taco de greda de 20 [cm].

Los tiros de zapatera se cargan con cebo Tronex plus 1 1/8" x 8" (2 unidades/tiro) y la columna de 3,40 [cm] cargado con ANFO Premium más dos tacos de greda de 20 [[cm]/tiro].

Los tiros de rainura son los más importantes de la malla, pues si fallan, la tronadura no cumplirá con los rendimientos esperados.

El tiempo del ciclo total de perforación es de 3,47 [hrs], mientras que, los equipos utilizados son: Jumbo Frontal y Bomba de Drenaje, mientras que el personal requerido corresponde a un operador y un ayudante.

5.1.3. Pruebas en Terreno

Para poder realizar el análisis, se consideró la toma de información en terreno de 9 frentes a analizar en Mina Parcoy, las cuales actualmente se cargaban con ANFO, con el fin de obtener un detalle más acabado de las variables a considerar. Definido lo anterior, las mediciones obtenidas por fecha, ubicación y tipo de sección se entregan en la Tabla siguiente.

Tabla 10. Sectores a Analizar

Postura	C45 N Acceso 5	C43 S Acceso 5	C29 S XC5	Rampa N°2 FW	C43 S Z40	C47 S Z49	C51 S Z44	Z41 HW C45	XC Acc 6 HW C31
Nivel	UCL	UCL	UCL	UCL	NP	NP	NP	NP	UCL
Sección	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9	4 x 3,9
Fecha Tronadura	12.02.22	12.02.22	15.02.22	20.02.22	27.02.22	01.03.22	01.03.22	06.03.22	08.03.22

DTM	12689	Desmonte	12449	Rotura	12976	12978	Error topo.	13027	Desmonte
-----	-------	----------	-------	--------	-------	-------	-------------	-------	----------

Según lo presentado en la Tabla, se logró obtener mediante la fotografía ADAM, un total de 5 DTM (Modelos Digitales de Terreno), que representan fielmente la geometría existente en los sectores indicados.

5.1.4. Sobre Excavación

Es necesario conocer el área teórica y, el área teórica con tolerancias de cada sección, con el fin de comparar estos valores a los obtenidos en terreno, mediante el modelamiento 3D, este análisis permitirá obtener el resultado de la sobreexcavación.

Tabla 11. Sobre excavación con Anfo

DTM	Nivel	Perfil	Metro	Área real Excavada [m ²]	Área sección proyectada Teórico [m ²]	Sección Proyectada [%]	Dif. Real Excavada [m ²]	Sobre Excavación [%]
12689	UCL	P1	0,5	19,6	15,6	100	4,0	25,64
		P2	1,0	20,8	15,6	100	5,2	33,33
		P3	1,5	22,4	15,6	100	6,8	43,59
		P4	2,0	19,3	15,6	100	3,7	23,72
		P5	2,5	19,5	15,6	100	3,9	25,00
		P6	3,0	17,4	15,6	100	1,8	11,54
12449	UCL	P1	0,5	20,4	15,6	100	4,8	30,77
		P2	1,0	19,6	15,6	100	4,0	25,64
		P3	1,5	20,4	15,6	100	4,8	30,77
		P4	2,0	19,7	15,6	100	4,1	26,28
		P5	2,5	23,5	15,6	100	7,9	50,64
		P6	3,0	19,5	15,6	100	3,9	25,00

12976	NP	P1	0,5	22,1	15,6	100	6,5	41,67
		P2	1,0	21,5	15,6	100	5,9	37,82
		P3	1,5	19,7	15,6	100	4,1	26,28
		P4	2,0	19,3	15,6	100	3,7	23,72
		P5	2,5	21,1	15,6	100	5,5	35,26
		P6	3,0	20,4	15,6	100	4,8	30,77
12978	NP	P1	0,5	21,7	15,6	100	6,1	39,10
		P2	1,0	20,4	15,6	100	4,8	30,77
		P3	1,5	20,6	15,6	100	5,0	32,05
		P4	2,0	17,9	15,6	100	2,3	14,74
		P5	2,5	22,5	15,6	100	6,9	44,23
		P6	3,0	18,8	15,6	100	3,2	20,51
DTM	Nivel	Perfil	Metro	Área real Excava da [m ²]	Área sección proyectada Teórico [m ²]	Sección Proyecta da [%]	Dif. Real Excava da [m ²]	Sobre Excavació n [%]
13027	NP	P1	0,5	22,9	15,6	100	7,3	46,79
		P2	1,0	18,2	15,6	100	2,6	16,67
		P3	1,5	18,6	15,6	100	3,0	19,23
		P4	2,0	20,5	15,6	100	4,9	31,41
		P5	2,5	20,7	15,6	100	5,1	32,69
		P6	3,0	20,3	15,6	100	4,7	30,13

Fuente: Elaboración propia en base a registros en terreno, 2022

Tabla 12. Sobre excavación con Anfo

Nivel	Perfil	Metro	Área real Excavada [m ²]	Área sección proyectada Teórico [m ²]	Sección Proyectada [%]	Sobre Excavaciónn [%]
UCL	P1	0,5	19,6	15,6	100	7,14
	P2	1,0	20,8	15,6	100	20,31
	P3	1,5	22,4	15,6	100	24,54
	P4	2,0	19,3	15,6	100	8,12
	P5	2,5	19,5	15,6	100	12,10
	P6	3,0	17,4	15,6	100	2,14
UCL	P1	0,5	20,4	15,6	100	13,27
	P2	1,0	19,6	15,6	100	10,41
	P3	1,5	20,4	15,6	100	12,89
	P4	2,0	19,7	15,6	100	12,48
	P5	2,5	23,5	15,6	100	38,84
	P6	3,0	19,5	15,6	100	14,00

Contrastaciones de la hipótesis

El reemplazo de anfo por emulsión influirá en gran medida y de manera positiva en la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022.

Prueba de normalidad de la variable reemplazo de anfo por emulsión.

H0: La distribución de la variable reemplazo de anfo por emulsión no difiere de la distribución normal.

H0: $p \geq 0,050$

H1: La distribución de la variable reemplazo de anfo por emulsión difiere de la distribución normal.

H1: $p < 0,050$

Tabla 13. Prueba de Normalidad de las variables reemplazo de Anfo por Emulsion

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Anfo	0,204	12	0,179
Emulsion	0,279	12	0,511

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: Como el nivel de significancia asintótica bilateral obtenido (0,179 y 0,051) mayores al nivel de significación ($\alpha=0,050$) entonces se acepta H0, es decir se acepta que: La distribución de la variable reemplazo de anfo por emulsión no difiere de la distribución normal, por lo que se debe utilizar una prueba paramétrica en la comprobación de la hipótesis.

Prueba de hipótesis Hipótesis de investigación:

Ho: El reemplazo de anfo por emulsión no influirá en la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022.

Ha: El reemplazo de anfo por emulsión influirá en gran medida y de manera positiva en la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022.

Tabla 14. Prueba de hipotesis T para dos muestras relacionadas

		95% de IC		t	gl	Sig. (bilateral)
		Inferior	Superior			
Par 1	Anfo - Emulsion	12,63604	16,64396	16,079	11	,000

Fuente: Elaboración propia

Para un 95% de nivel de confianza se rechaza la H_0 , es decir se asevera que: El reemplazo de anfo por emulsión influirá en gran medida y de manera positiva en la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022.

Los resultados obtenidos permiten determinar que el reemplazo de anfo por emulsión reduce en un 18% la sobre excavación de las labores en la mina Parcoy CMH 2022, en comparacion de una etapa previa en la que solo se aplica anfo.

Tabla 15. Características Disparo

Características Disparo	
Ancho [mt]	4,20
Alto [mt]	3,90
Línea de gradiente [mt]	1,00
Densidad [gr/cc]	2,60
Área de Sección [m ²]	16,30
Longitud perforación [m]	3,80
Volumen a remover [m ³]	62,20
Tonelaje a remover [ton]	168,00
Diámetro de perforación [mm]	45,00
No. Tiros Totales [#]	51,00
Tiro de alivio - 6" [#]-> numero	3,00
Longitud taco [m]	0,70
Carga lineal ANFO [kg/m]	1,40

Fuente: CMH Parcoy

Tabla 16. Características Disparo (continuación)

Características Disparo	
Factor de carga [kg/m ³]	3,20

Fuente: Elaboración propia en base a registros en terreno, 2022.

5.1.5. Cambio de explosivo

Actualmente y como se ha mencionado con anterioridad, el problema latente crítico, se encuentra en la sobreexcavación, ya que, al presentar valores considerables, implica tener mayor costos en todas las actividades del ciclo minero, su vez, a las empresas contratistas que son las encargadas de realizar la tarea del avance minero, solo se les paga por la sobreexcavación generada hasta la sección con tolerancia, toda fortificación excedente o actividades relacionadas extras, donde haya que realizar, son consideradas a costo de las empresas, he implican que, en ciertas oportunidades, este no se vuelva un negocio rentable. Este costo extra alcanza inclusive hasta un 30% del valor normal.

Cabe destacar que, el ANFO crea fracturas extensas pero discretas (Crack zone), mientras que la emulsión ocupa su energía en triturar un halo circundante a la perforación, de manera intensiva y sin generar fracturas discretas extensas que contribuyan a dañar la geometría circundante al disparo.

Por lo anterior y con el fin de minimizar estos costos y entregar un valor agregado al proceso, se consideró la utilización de emulsión como explosivo para las tronaduras, generando en terreno una cantidad de 40 pruebas.

Pruebas en Terreno

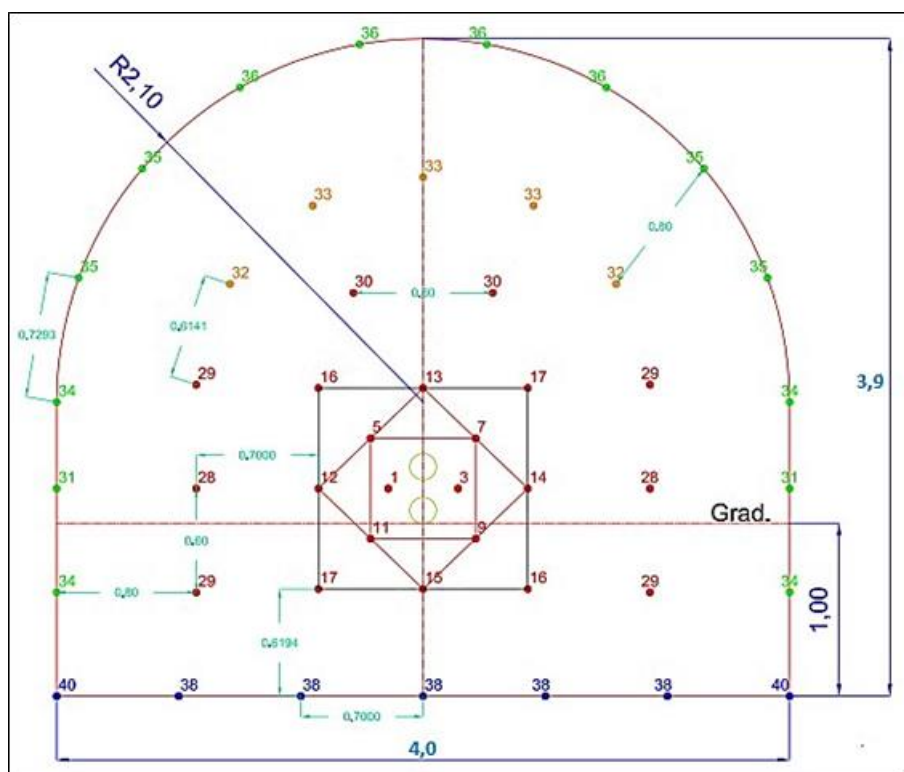
Las pruebas en terreno se realizan en la Mina Parcoy, se consideraron las voladuras solo en los niveles de avance

Para ello, es necesario no solo considerar la medición en terreno de los datos obtenidos en la voladura, sino que, registrar in situ las diferentes actividades e interferencias asociadas al proceso, considerando los equipos y el recurso empleado.

Modificación del Diagrama de Disparo para Emulsión

La figura siguiente representa las características del diseño futuro para cada una de las galerías de la Mina Parcoy, para una sección de medidas 4,2 [mt] x 3,9 [m], se perforan 50 tiros en total con 48 cargados y 2 de alivio.

Figura 28. Malla de Perforación P&T con Emulsión

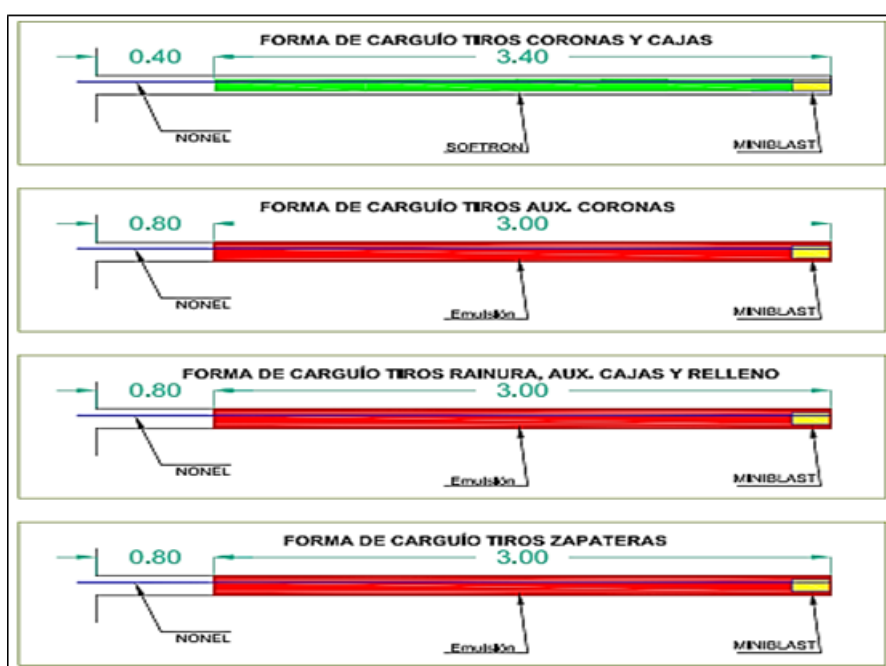


Los tiros de corona se perforan con un espaciamiento de 0.76 [mt] y un burden de 0.7 [mt]. Son cargados con Softron, explosivo para tronadura amortiguada, en cartuchos de 11/16" x 20" (5 unidades/tiro) e iniciados con APD de 40 [gr], los tiros auxiliares de corona se perforan con un espaciamiento de 0.76 [mt] y son cargados con emulsión e iniciados con APD de 40 [gr] (1unidades/tiro).

Los tiros interiores, ya sean auxiliares de caja, tiros de descarga o tiros de rainura, se cargan con Emulsión Subteck Charge, cuya densidad final es de 1,1 [g/cc], iniciados con APD de 40 [gr] (1 unidad/tiro) sin taco.

En los tiros de zapateras se emplea emulsión con un espaciamiento de 0.7 [mt].

Figura 29. Forma de Carguío con Emulsión Subteck Charge



5.2. Optimización de la Malla de Perforación

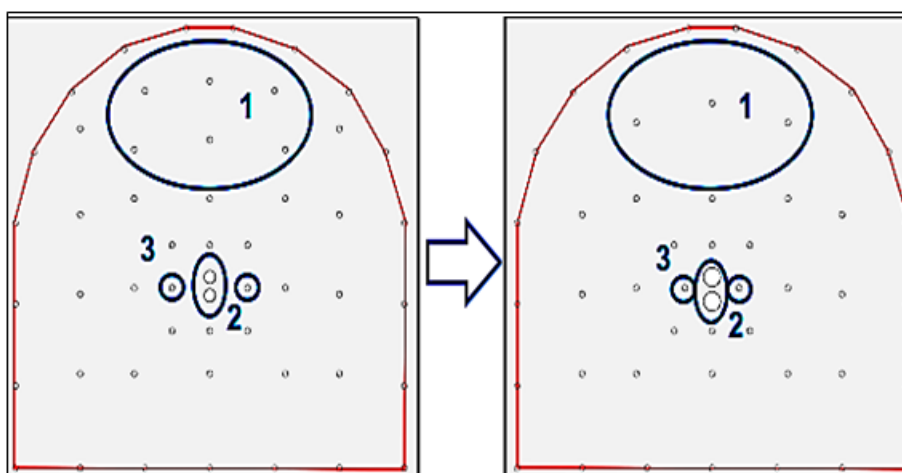
Por último, se realiza una última mejora en la malla de perforación, considerando un estudio realizado por la empresa ORICA, la cual prestó el servicio técnico y de carguío de explosivo realizando el análisis del VOD, que permite controlar la calidad de explosivo.

Al analizar los resultados obtenidos en términos de fracturas, se entiende que se está generando mucho daño en el techo, debido a la densidad de tiros en la parte superior de la frente (tiros auxiliares de corona más relleno), lo mismo se ve en términos de energía.

Adicionalmente, se determina que la distancia primer disparo/tiros de alivio no es óptima.

A continuación, se presentan las modificaciones realizadas al efectuar el cambio de explosivo ANFO por emulsión SUBTEK.

Figura 30. Diagrama Modificado. Lado izquierdo teórico recibido y lado derecho diseño optimizado



Como se logra apreciar, las modificaciones fueron:

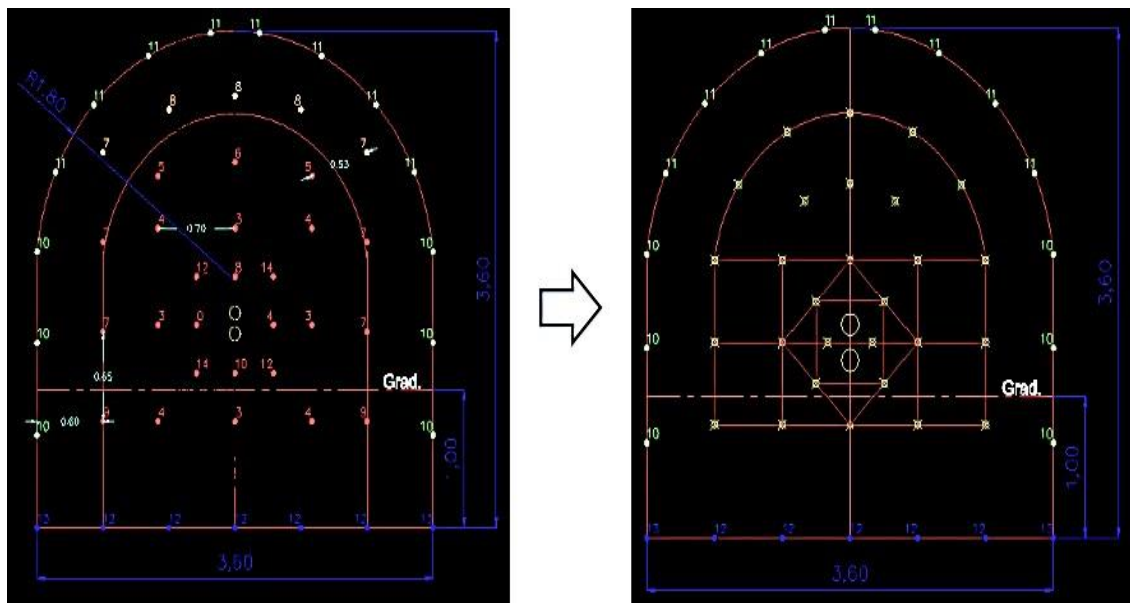
- Se eliminan tiros auxiliares de corona y corrieron hacia arriba tiros de relleno
- Se modificó el diámetro de tiros de alivio de 4" a 6"
- Se movieron los tiros de alivio 10 [cm], a los tiros centrales de la rainura

En las imágenes de resultados de tronadura usando ANFO, se observa que el efecto de los tiros auxiliares de corona, generan por sí solos, sobre excavación, se ve claramente que el mecanismo de fractura del ANFO/Emulsión es totalmente distinto.

5.2.1. Diseño Final

En este punto se entregan los detalles de la propuesta final de un diseño de tronadura alternativo, implementado como resultado de las evaluaciones realizadas al diseño de calibración, obteniendo así, el diagrama presentado en la siguiente figura.

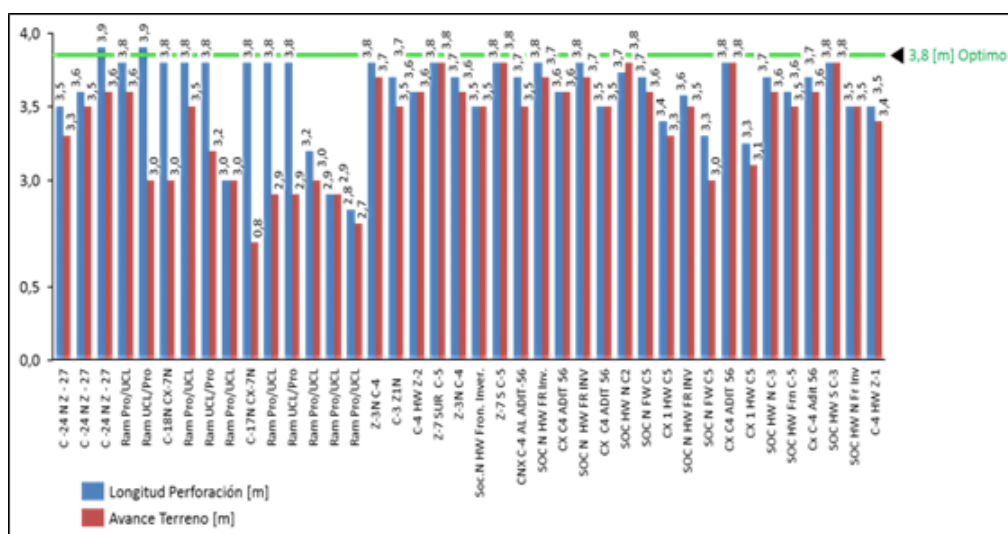
Figura 31. Diseño final



5.2.2. Longitud de Perforación

Otro aspecto importante por considerar y que afecta el resultado de la tronadura es la longitud de la perforación, para ello se analizó el largo de cada perforación realizada, obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente figura.

Figura 32. Resultado largo perforaciones



Los resultados en los avances fueron en un 95% de eficiencia, la longitud de perforación promedio es de 3,7 [ml]. La Ilustración 3-11, muestra la longitud de tiro promedio para cada frente de avance, las barras de color azul indican la longitud de perforación y las barras de color rojo son los resultados de avance en [ml].

La longitud de perforación esperada es de 3,8 [mt]. Las mediciones realizadas en todas las Minas, dan como resultado una longitud de avance promedio utilizando ANFO de 3,2 [ml]. Con Emulsión se tiene un avance promedio de 3,5 [ml].

Las razones por las que no se puede alcanzar la longitud esperada de 3,8 [mt] es:

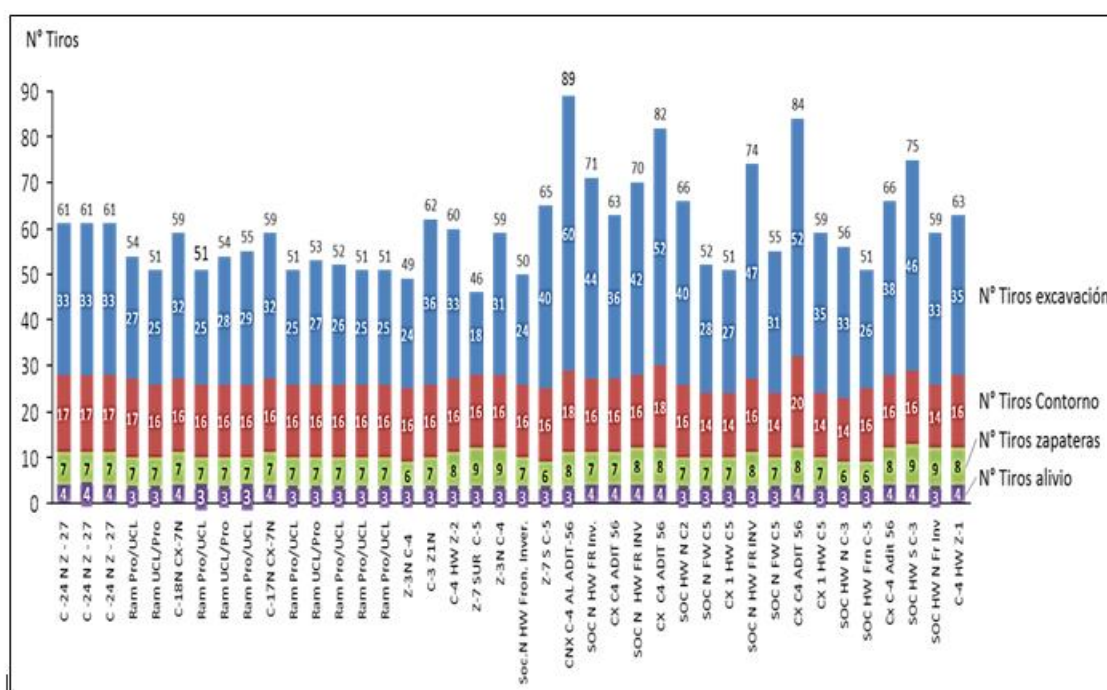
- Postura con el frente no vertical en el anterior disparo, para solucionar este problema, el operador del Jumbo ubica la sección asignándole a la perforación una longitud mayor a la parte sobresaliente de la postura, esto delimita la longitud y su perforación es menor a lo esperado

- La longitud final de perforación normalmente es menor, porque no se lleva el buen paralelismo de la perforación en la rainura o existe diferente longitud de perforación en cada postura

5.2.3. Número de tiros cargados por postura

Otro aspecto importante a considerar, corresponde a la cantidad de tiros cargados por perforación, lo anterior se presenta en la siguiente figura.

Figura 33. Número de tiros cargados según postura



La cantidad de tiros perforados, depende del tamaño de sección en cada frente, existe un diseño entregado por DET, además, al momento de realizar la oferta técnica, las empresas especializadas indican los procedimientos para ejecutar todo tipo de actividades constructivas, pero las mallas de perforación entregadas no consideran la litología de la roca.

5.3. Conocer el costo - beneficio técnico y económico del reemplazo de ANFO versus Emulsión en la mina Parcoy CMH 2022.

5.4. Análisis económico

Las emulsiones reducen significativamente no solo el costo de uso de explosivos, sino también los costos generales de carga, manejo de terrenos, lixiviación de minerales, etc.

Resumen comparativo de costos anfo vs emulsión

PARAMETROS	TE 427		TE 435		CO 470		CO 470	
FECHA	11-nov		13-nov		14-nov		14-nov	
TIPO DE EXPLOSIVO	HA 35/65	SANG	HA 35/65	SANG	HA 35/65	SANG	HA 37	SANG
N° DE TALADROS	1250	63	324	181	77	101	67	81
ALTURA DE BANCO (m)	8	8	8	8	6	6	6	6
DIAMETRO DE CARGUIO (mm)	152	152	152	152	152	152	152	152
BURDEN (m)	3,56	3,56	3,56	3,56	3,48	3,48	4,20	4,20
ESPACIAMINETO (m)	4,1	4,1	4,10	4,10	4,00	4,00	4,80	4,80
TACO (m)	1,5	2,1	1,5	2	1,5	1,5	2	3
CARGA DE COLUMNA (kg)	160	130	160	132	145	121	110	90
DENSIDAD (g/cc)	1,24	1,05	1,25	1,05	1,25	1,05	1,18	1,05
FACTOR DE POTENCIA (kg/ton)	0,54	0,43	0,54	0,44	0,68	0,57	0,36	0,29
V.O.D. (m/s)	4420	5050	4300	4600	4320		4400	5200
BOOSTER	1	1	1	1	1	1	1	1
FANEL DUAL 800/17 MS	1	1	1	1	1	1	1	1
INIDCE DE FRAGMENTABILIDAD	38,67	42,59						
COSTO DE EXPLOSIVOS	0,422	0,327	0,420	0,332	0,534	0,429	0,282	0,221
COSTO DE PERFORACIÓN (\$/Ton)	0,371	0,371	0,371	0,371	0,397	0,397	0,276	0,276
COSTO TOTAL DE P y V	0,811	0,718	0,811	0,723	0,96	0,854	0,578	0,516

Conclusiones

- ❖ En consecuencia, con el objetivo general, en la Minera Parcoy se ha conseguido una mejora general en sus operaciones mediante el empleo de la emulsión acompañada de una reducción de sus costos y, por ende, de un incremento de la rentabilidad de la empresa, tan necesaria en esta época de crisis global.
- ❖ Respondiendo el objetivo específico número uno, se es posible afirmar que existe una reducción de la sobre excavación en la voladura aplicando emulsión y esta llega a ser hasta un 18% menor a la utilización de Anfo.
- ❖ Se reduce el costo unitario de voladura de 0.42\$/TM a 0.34 \$/TM, Debido básicamente a la reducción de la longitud de carga, por la cual se deja por probar el incremento de espaciamiento y burden.
- ❖ En Rentabilidad se reducen los costos globales de minado de manera importante al reemplazar la mezcla ANFO de nitrato de amonio y petróleo por un producto de algo mayor costo inicial pero cuyo consumo es notablemente menor y que, sobre todo, aporta beneficios a las demás operaciones conforantes del costo global de minado (perforación, carguío y acarreo).

Recomendaciones

- ❖ Diseño de una cuadrícula con el modelo de voladura Gemcom y mejorar de los parámetros actuales.
- ❖ Utilice el software JK Simblast para estandarizar el diseño de la secuencia de salida y la evaluación de disparos.
- ❖ Para mejorar aún más la fragmentación a nivel de bloque, es recomendable usar solo materiales de grava y crear material que pueda proporcionar meses de producción.
- ❖ La optimización se debe realizar a partir de los detonadores no eléctricos convencionales, luego utilizando en conjunto con retardos secuenciales y finalmente con la utilización de detonadores electrónicos en zonas muy críticas, los cuales proporcionarán la flexibilidad y exactitud del timing que permite mantener el nivel de vibraciones tan bajo cómo es posible con una consistencia muy buena y un incremento en la carga por retardo.

Bibliografía

- Arvind, Manamohan, Deepanshu, & Shakty. (2018). Influence of gasifying agent and density on detonation velocity of bulk emulsion explosives. *Scopus*. From <https://www-scopus-com.unmsm.lookproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85025454174&origin=resultslist&sort=r-f&src=s&mltEid=2-s2.0-85048927324&mltType=ref&mltAll=t&imp=t&sid=caabb78baed58650f42e147bfb3794de&sot=mlt&sdt=mlt&sl=218&s=REFEID%28%28%222-s2.0>
- Carrasco. (2019). *Resistencia por compresión y módulo de rotura en pavimentos rígidos, incorporando microsílce y un policarboxilato*. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Gonzales, A. (2014). *Metodología de la Investigación*. Lima.
- Hurtado, J. (2010). *Metodología de la Investigación*. Caracas: Quirón.
- Jomenko, Kononenko, Myronova, & Savchenko. (2019). Application of emulsion explosives in tunnel construction. *Scopus*. From <https://www-scopus-com.unmsm.lookproxy.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85074302292&citeCnt=12&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=Influence+of+Explosive+Charge+Diameter+on+the+Detonation+Velocity+Based+on+Emulini>
- Kononenko, Khomenko, Kovalenko, & Savchenko . (2021). “Control of density and speed of emulsion explosives detonation for the breaking of minerals”. *Scopus*. From <https://www-scopus-com.unmsm.lookproxy.com/record/display.uri?origin=citedby&eid=2-s2.0-85105657448&citeCnt=12&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=Influence+of+Explosive+Charge+Diameter+on+the+Detonation+Velocity+Based+on+Emulini+7L+and+8L+Bulk+Emulsi>
- Mertuszka, Cenian, Kramarczyk , & Pytel . (2018). Influence of Explosive Charge Diameter on the Detonation Velocity Based on Emulinit 7L and 8L Bulk Emulsion Explosives. *Central European Journal of Energetic Materials*. From file:///C:/Users/Omen/Downloads/Influence_of_Explosive_Charge_Diameter_on_the_Deto.pdf

Pozo, A. C. (2017). *Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la Mina Cuajone – Southern Perú*. Repositorio institucional Universidad Central del Ecuador, Quito. From <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10417/1/T-UCE-0012-29.pdf>

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****ACTA N° 045-2022-FIMGC**

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 181-2022-FIMGC-D**, siendo los quince días del mes de julio del 2022, a horas 11:00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Mg. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ**, Jurado Asesor el **MSc. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **"PROPUESTA DE REEMPLAZO DE EXPLOSIVO ANFO POR EMULSIÓN PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA PARCOY CMH 2022"**, sustentado por el Señor Isaac VALER MUNAYLLA, Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Minas.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (Dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
GEOLOGÍA Y CIVIL*Dr. Efraín Elías Porras Flores*
DECANO

Firmado digitalmente

por Dr. Ing. Efraín
Elías Porras FloresFecha: 2022.07.18
08:31:43 -09'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente

Mg. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ
Jurado
*Ccatamayo*Firmado digitalmente
por Mg. Ing.
Ccatamayo Barrios
Johnny Henry
Fecha: 2022.07.15
13:19:01 -05'00'

MSc. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS
Jurado - AsesorFirmado
digitalmente por
LEZAMA CUELLAR
CHRISTIAN

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Procesoc.c.:
Bach. Isaac VALER MUNAYLLA
Jurados (3)
Archivo



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 041-2022-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH y Resolución Decanal N° 158-2021-FIMGC-UNSCH-D, deja constancia que Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : VALER MUNAYLLA, Isaac
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
Título de la Tesis : “PROPUESTA DE REEMPLAZO DE EXPLOSIVO ANFO POR EMULSIÓN PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA PARCOY CMH 2022”
Evaluación de la Originalidad : 24 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 1869236141

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 11 de julio del 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Departamento Académicos de Matemática y Física

Con depósito para Sustentación y Tramite de Título

“PROPUESTA DE REEMPLAZO DE EXPLOSIVO ANFO POR EMULSIÓN PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA PARCOY CMH 2022”

por Isaac Valer Munaylla

Fecha de entrega: 11-jul-2022 10:35a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1869236141

Nombre del archivo: TESIS_ISAAC_VALER_MUNAYLLA.docx (4.01M)

Total de palabras: 15408

Total de caracteres: 80611

"PROPUESTA DE REEMPLAZO DE EXPLOSIVO ANFO POR EMULSIÓN PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA PARCOY CMH 2022"

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	pt.scribd.com Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1 %
12	vsip.info Fuente de Internet	1 %
13	1library.co Fuente de Internet	1 %
14	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1 %
15	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	1 %
16	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

<1 %

21

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

repositorio.unamba.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo