

Mejora del ratio de excavación de las palas de carguío mediante el uso del explosivo gasificado HA73G Emulgex en voladuras de minería superficial, Región Cusco, 2023

por Juan Claudio Lazarte Machuca

Fecha de entrega: 25-jul-2024 11:05a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2422316095

Nombre del archivo: 4150271_20240725_105942_d9962a40-47ed-4cb7-ab43-15ee9285fd6e.pdf (1.32M)

Total de palabras: 18245

Total de caracteres: 101005

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

1
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



Mejora del ratio de excavación de las palas de carguío mediante el uso del explosivo gasificado HA73G Emulgex en voladuras de minería superficial, Región Cusco, 2023

Tesis presentada por el bachiller:

Lazarte Machuca, Juan Claudio

ORCID: 0009-0003-3983-1485

1
Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

Dr. Bernedo Tito, Edwin Jose

ORCID: 0000-0002-3008-6488

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 11 de Junio del 2024

Dictamen: 010322-C-EPIM-2024

Visto el borrador del expediente 010322, presentado por:

2014150271 - LAZARTE MACHUCA JUAN CLAUDIO

Titulado:

**MEJORA DEL RATIO DE EXCAVACION DE LAS PALAS DE CARGUIO MEDIANTE EL USO DEL
EXPLOSIVO GASIFICADO HA73G EMULGEX EN VOLADURAS DE MINERIA SUPERFICIAL,
REGION CUSCO, 2023**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**29701586 - DIAZ SARAVIA JEAN CARLO
DICTAMINADOR**



**01231603 - REATEGUI ORDOÑEZ FULTON CARLOS PASTOR
DICTAMINADOR**



**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

27

A mi amada familia, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido el pilar fundamental en este viaje académico. Sus palabras de aliento, sacrificios y confianza en mí han sido la fuerza impulsora detrás de cada logro alcanzado. Agradezco profundamente a mis padres y hermanos, quienes siempre han creído en mí y han sido un ejemplo de perseverancia y dedicación.

A mi querida *Shirley Almonte*, mi compañera de vida y mi mayor inspiración. Tu amor, paciencia y comprensión han sido mi refugio en los momentos de dificultad. Gracias por tu apoyo inquebrantable, por motivarme a seguir adelante y por celebrar cada pequeño triunfo a mi lado. Tu presencia ha hecho este viaje aún más significativo y emocionante.

A ambos, mi familia y mi amada, les dedico este logro. Su amor y apoyo han sido el motor que me ha impulsado a alcanzar mis metas. Este logro es tanto suyo como mío. ¡Gracias por estar siempre a mi lado!

AGRADECIMIENTO

A mi familia, ⁶⁵ por ser mi fuente de inspiración y apoyo incondicional en todo este largo camino del convertirme en ingeniero. Gracias por estar siempre a mi lado y por creer en mí. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Los amo con todo mi corazón. De corazón ⁸ espero que este logro los haga sentir tan orgullosos como yo me siento de pertenecer a esta familia maravillosa. Gracias por ser mi motivación en los momentos más difíciles.

RESUMEN

⁴² El objetivo del presente trabajo de investigación es demostrar la mejora del ratio de excavación de las palas de carguío, mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G EMULGEX”. La voladura tiene una influencia directa en el ratio de excavación de las palas de carguío debido a que esta determina la fragmentación de la roca, una fragmentación adecuada facilita la carga eficiente de material por parte de las palas. ¹² El tipo de investigación es aplicada de diseño cuasi experimental. Para tal efecto se realizó la evaluación de los resultados de fragmentación y ratio de excavación obtenidos con los parámetros utilizados antes de la implementación del “HA73G EMULGEX” y de esta manera ir ajustándolos para así poder optimizar todo el proceso de perforación y voladura. Entonces se decide realizar una ampliación en la malla de perforación tanto en zona de mineral como desmonte. En mineral se amplió hasta un burden de 7.70 metros y un espaciamiento de 8.80 metros. En la zona de desmonte se amplió hasta un burden de 9.00 metros y un espaciamiento de 10.40 metros en litología caliza y en la litología de diorita un burden de 10.00 metros y un espaciamiento de 11.50 metros. Con esta configuración se alcanzó a obtener en mineral un P80 promedio de 2.70 pulgadas y un porcentaje de finos 54.50 y en desmonte un P80 promedio de 7.40 pulgadas y un porcentaje de finos de 27.66 estando estos dentro de los requerimientos del cliente. Los resultados obtenidos en fragmentación posteriores a ⁴⁹ los cambios realizados en la configuración de la malla de perforación permitieron tener los como mejora en el ratio de excavación en la zona de mineral un promedio de 9827 TMS/hora y en zona de desmonte 9297 TMS/hora.

Palabras Clave: Ratio de excavación, explosivo gasificado, voladura, minería superficial.

ABSTRACT

The objective of this research work is to demonstrate the improvement of the excavation rate of the loading shovels, through the use of the gasified explosive "HA73G EMULGEX". The blasting has a direct influence on the excavation rate of the loading shovels because it determines the fragmentation of the rock, an adequate fragmentation facilitates the efficient loading of material by the shovels. The type of research is applied with a quasi-experimental design. For this purpose, the evaluation of the results of fragmentation and excavation ratio obtained with the parameters used before the implementation of the "HA73G EMULGEX" was carried out and in this way adjusting them in order to optimize the whole process of drilling and blasting. It was then decided to expand the drilling mesh in both the ore and waste zones. In the ore zone it was enlarged to a burden of 7.70 meters and a spacing of 8.80 meters. In the waste rock zone it was extended to a burden of 9.00 meters and a spacing of 10.40 meters in limestone lithology and in the diorite lithology a burden of 10.00 meters and a spacing of 11.50 meters. With this configuration an average P80 of 2.70 inches and a percentage of fines of 54.50 was obtained in ore and an average P80 of 7.40 inches and a percentage of fines of 27.66 in waste rock, being these within the client's requirements. The results obtained in fragmentation after the changes made in the configuration of the drilling mesh allowed to have as an improvement in the excavation ratio in the ore zone an average of 9827 TMS/hour and in the waste zone 9297 TMS/hour.

Keywords: Excavation ratio, gasified explosive, blasting, surface mining.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de minería superficial, la voladura emerge como un proceso crítico que desencadena una serie de eventos determinantes para el éxito y eficiencia ⁶⁷ en la producción de una **minería a tajo abierto**. La voladura no solo presenta el punto de inicio de la extracción de minerales, sino que también ejerce una influencia directa en los aspectos fundamentales como la fragmentación del material y la accesibilidad del material(excavación).

La relación entre la voladura y el ratio de excavación desempeña un papel fundamental, donde la calidad y el diseño de la voladura impactan directamente en el ratio de excavación de las palas de carguío. La fragmentación adecuada y la distribución uniforme del material resultante de la voladura son factores críticos que inciden significativamente en la capacidad de las palas para cargar material de manera eficiente. Esta investigación se embarca en un análisis detallado de este ratio de excavación puede mejorar cuando implementamos un explosivo con mayor valor energético, para esta investigación será el explosivo gasificado “HA73G EMULGEX”.

En el capítulo 4.1 se establece la línea base de la investigación, recolectando información histórica ⁶³ de la base de datos de la mina, para poder tener un punto de partida de comparación con los resultados después de realizar la implementación del explosivo gasificado, materia de esta investigación.

En el capítulo 4.2 se desarrolla la implementación del explosivo y la mejora paulatina de los parámetros de perforación y voladura. Analizamos los resultados del primer semestre del año 2023 para compararlos con la línea base establecida.

En el capítulo 4.3 se desarrollan las pruebas de calidad realizadas para asegurar el rendimiento y performance de la mezcla explosiva. Finalmente realizamos las pruebas de hipótesis, elaboramos nuestras conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
CAPITULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Objetivos de la Investigación.....	1
1.2.1. Objetivo general.....	1
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Preguntas de Investigación.....	2
1.3.1. Pregunta general.....	2
1.3.2. Preguntas específicas.....	2
1.4 Justificación e Importancia.....	2
CAPITULO II.....	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1. Estado del arte.....	4

20		
2.1.1.	Antecedentes Nacionales.....	4
2.1.2.	Antecedentes Internacionales	5
2.2.	Bases Teóricas de la Investigación	6
2.2.1.	Ratio de excavación	6
2.2.2.	Explosivo Gasificado HA73G Emulgex	8
2.2.3.	Nitrato de Amonio – Planta Cachimayo	8
2.2.4.	Nitrito de sodio N11 – Planta Cachimayo.....	9
2.2.5.	Diesel.....	10
2.2.6.	X-Booster ENAEX.....	10
2.2.7.	Brinel ENAEX	11
2.2.8.	Detonador electrónico DaveyTronic SP.....	11
2.2.9.	Sistema de iniciación DaveyTronic SP	12
2.2.10.	Remote Blaster (DRB2)	13
2.2.11.	Blast Driver (DBD)	13
2.2.12.	Unidad de Programación (PU)	14
2.2.13.	Toma de fragmentación con el uso Portametrics	15
2.2.14.	Procesamiento de imágenes de fragmentación con Metrics Manager	15
2.2.15.	Diseño de voladura.....	16
2.3.	Litología de la zona de estudio	21
2.4.	Descripción de la empresa	22
2.5.	Generalidades de la operación minera.....	23
2.6.	Definición de términos	23

2.7. Hipótesis de Investigación	24
2.7.1. Hipótesis general	24
2.8. Variables	24
2.8.1. Variable independiente	24
2.8.2. Variable dependiente	24
2.8.3. Operacionalización de la Variables	25
CAPITULO III	26
3. MARCO METODOLÓGICO	26
3.1. Alcance y limitaciones.....	26
3.1.1. Alcance	26
3.1.2. Limitaciones	26
3.2. ³⁶ Tipo y Nivel de Investigación	26
3.2.1. Tipo de investigación	26
3.2.2. Nivel de investigación	²³ 27
3.3. Población y muestra.....	27
3.3.1. Población	27
3.3.2. Muestra	27
3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
3.4.1. Plan de análisis de datos	27
⁴⁴ CAPITULO IV	30
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
4.1. Establecimiento de Línea Base	30

4.1.1.	Datos del explosivo	30
4.1.2.	Perforación y Voladura	30
4.1.3.	Fragmentación	51
4.1.4.	Ratio de excavación	55
4.2	Implementación del explosivo gasificado “HA73G EMULGEX”	57
4.2.1.	Datos del explosivo	57
4.2.2.	Perforación y Voladura	58
4.2.3.	Fragmentación	74
3.2.1.	Ratio de excavación	79
4.3	Pruebas de Calidad del Explosivo Gasificado “HA73G Emulgex”	80
10	4.4 Prueba de Hipótesis	84
4.4.1	Prueba de Hipótesis General	84
	Hipótesis general de trabajo	84
	CONCLUSIONES	86
32	RECOMENDACIONES	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
-	ANEXOS	90
-	ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características técnicas del Explosivo Gasificado HA73G Emulgex	8
Tabla 2 Propiedades Físicas del Nitrato de Amonio	9
60 Tabla 3 Operacionalización de Variables	25
Tabla 4 <i>Datos</i> del explosivo Q73	30
Tabla 5 Estadísticos P80 mineral julio - diciembre 2022	52
Tabla 6 Prueba de bondad de ajuste P80 mineral julio - diciembre 2022	53
Tabla 7 Estadísticos de porcentaje de finos mineral julio - diciembre 2022	53
Tabla 8 Prueba de bondad de ajuste porcentaje de finos mineral julio - diciembre 2022	53
Tabla 9 Estadísticos P80 desmonte julio - diciembre 2022	54
Tabla 10 Prueba de bondad de ajuste P80 desmonte julio - diciembre 2022	54
Tabla 11 Estadísticos porcentaje de finos desmonte julio - diciembre 2022	55
Tabla 12 Prueba de bondad de ajuste en % de finos desmonte julio - diciembre 2022	55
Tabla 13 Estadísticos del ratio de excavación en zona de desmonte julio - diciembre 2022	55
Tabla 14 Prueba de bondad de ajuste dig rate desmonte julio - diciembre 2022	56
Tabla 15 Estadísticos de dig rate mineral julio - diciembre 2022	56
Tabla 16 Prueba de bondad de ajuste dig rate mineral julio - diciembre 2022	56
Tabla 17 Datos del explosivo “HA73G EMULGEX”	57
Tabla 18 Estadísticos P80 MINERAL enero – junio 2023	75
Tabla 19 Prueba de bondad de ajuste p80 mineral enero – junio 2023	75
Tabla 20 Estadísticos %Finos MINERAL enero – junio 2023	76
Tabla 21 Prueba de bondad de ajuste %finos mineral enero – junio 2023	76
Tabla 22 Estadísticos P80 desmonte enero – junio 2023	77
Tabla 23 Prueba de bondad de ajuste P80 desmonte enero – junio 2023	77
Tabla 24 Estadísticos %Finos desmonte enero – junio 2023	78

Tabla 25 <i>Prueba de bondad de ajuste %finos desmonte enero – junio 2023</i>	78
Tabla 26 <i>Estadísticos del ratio de excavación mineral enero - junio 2023</i>	79
Tabla 27 <i>Prueba de bondad de ajuste del ratio de excavación mineral enero - junio 2023 .</i>	79
Tabla 28 <i>Estadísticos del ratio de excavación en zona de desmonte enero - junio 2023</i>	80
Tabla 29 <i>Prueba de bondad de ajuste dig rate desmonte enero - junio 2023</i>	80
Tabla 30 <i>Control de tiempo de gasificación según dosis de nitrito</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 X-Booster ENAEX	10
Figura 2 Brinel ENAEX	11
Figura 3 Detonador electrónico DaveyTronic SP	12
Figura 4 Sistema de iniciación DaveyTronic SP	12
Figura 5 Remote Blaster (DRB2)	13
Figura 6 Blast Driver (DBD)	14
Figura 7 Unidad de Programación (PU)	15
Figura 8 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – julio 2022	31
Figura 9 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – julio 2022	32
Figura 10 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – julio 2022	32
Figura 11 <i>Diseño de carga teórica en zona de mineral julio 2022</i>	33
Figura 12 <i>Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – julio 2022</i>	34
Figura 13 <i>Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – julio 2022</i>	34
Figura 14 <i>Diseño de carga teórica en zona de desmonte – agosto 2022</i>	35
Figura 15 <i>Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – agosto 2022</i>	35
Figura 16 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – agosto 2022	36
Figura 17 Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – agosto 2022	37
Figura 18 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – agosto 2022	38
Figura 19 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – setiembre 2022	38
Figura 20 Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – setiembre 2022	39
Figura 21 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – setiembre 2022 ..	39
Figura 22 Diseño de carga teórica en zona de mineral – setiembre 2022	40
Figura 23 Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – setiembre 2022	41
Figura 24 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – setiembre 2022	41

Figura 25 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – octubre 2022	42
Figura 26 Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – octubre 2022	42
Figura 27 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – octubre 2022	43
Figura 28 Diseño de carga teórica en zona de mineral – octubre 2022	43
Figura 29 Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – octubre 2022	44
Figura 30 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – octubre 2022	44
Figura 31 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – noviembre 2022	45
Figura 32 Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – noviembre 2022	46
Figura 33 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – noviembre 2022	46
Figura 34 Diseño de carga teórica en zona de mineral – noviembre 2022	47
Figura 35 Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – noviembre 2022	47
Figura 36 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – noviembre 2022	48
Figura 37 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – diciembre 2022	48
Figura 38 Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – diciembre 2022	49
Figura 39 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – diciembre 2022	49
Figura 40 Diseño de carga teórica en zona de mineral – diciembre 2022	50
Figura 41 Diseño de carga teórica en zona de mineral – diciembre 2022	51
Figura 42 Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – diciembre 2022	51
Figura 43 Resumen mensual de fragmentación – zona de mineral	52
Figura 44 Resumen mensual de fragmentación – zona de desmonte	54
Figura 45 Diseño de carga teórica en zona de mineral – enero 2023	58
Figura 46 Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – enero 2023	59
Figura 47 Desplazamiento de material quebrado en zona de mineral – enero 2023	59
Figura 48 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – enero 2023	60
Figura 49 Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – enero 2023	60

Figura 50 Desplazamiento de material quebrado en zona de desmonte – enero 2023	61
Figura 51 Diseño de carga teórica en zona de mineral – febrero 2023	61
Figura 52 Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – febrero 2023	62
Figura 53 Desplazamiento de material quebrado en zona de mineral – febrero 2023	62
Figura 54 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – febrero 2023	63
Figura 55 Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – febrero 2023	63
Figura 56 Desplazamiento de material quebrado en zona de desmonte – febrero 2023	64
Figura 57 Diseño de carga teórica en zona de mineral – marzo 2023	65
Figura 58 Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – marzo 2023	65
Figura 59 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – marzo 2023	66
Figura 60 Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – marzo 2023	66
Figura 61 Diseño de carga teórica en zona de mineral – abril 2023	67
Figura 62 Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – abril 2023	68
Figura 63 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – abril 2023	68
Figura 64 Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – abril 2023	69
Figura 65 Diseño de carga teórica en zona de mineral – mayo 2023	70
Figura 66 Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – mayo 2023	70
Figura 67 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – mayo 2023	71
Figura 68 Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – mayo 2023	71
Figura 69 Diseño de carga teórica en zona de mineral – junio 2023	72
Figura 70 Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – junio 2023	73
Figura 71 Diseño de carga teórica en zona de desmonte – junio 2023	73
Figura 72 Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – junio 2023	74
Figura 73 Curva de gasificación según dosis de nitrito	82
Figura 74 Gasificación de muestra en campo	82

Figura 75 Prueba de absorción de petróleo	83
Figura 76 <i>Prueba de velocidad de detonación del explosivo</i>	84

34 CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Dentro de la etapa de producción en minería a cielo abierto, se encuentra el proceso de voladura el cual consiste en fragmentar el macizo rocoso de un tamaño adecuado para que el ciclo de carguío y acarreo, así como la recuperación de mineral en planta sea la más adecuada según el requerimiento de la empresa minera.

Una fragmentación inadecuada significa un menor rendimiento productivo del equipo de carguío debido a que el tiempo de minado será mayor por las dimensiones de los fragmentos que se encuentren en su frente de minado, además de que puede involucrar una lampada más hasta que se pueda alcanzar el carguío óptimo para dicha flota de camiones, todas estas demoras acumuladas en el proceso de carguío se verán reflejadas en la productividad de las palas y camiones en este último por el aumento del tiempo de espera.

La mina no está alcanzando los objetivos planteados en lo que respecta a fragmentación, vibraciones y presencia de gases nitrosos en los resultados de las voladuras realizadas, encontrándose estas bajo responsabilidad de una empresa especializada, esto trajo como consecuencia una disminución del ratio de excavación de las palas de carguío reflejándose en las capacidades operativas del ciclo de minado. A razón de eso y en busca de alcanzar los objetivos mencionados se toma la decisión de contar con los servicios de una nueva empresa especializada, para poder alcanzar los objetivos en el corto plazo.

33 1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo general

- ✓ Mejorar el ratio de excavación de las palas de carguío mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco, 2023.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Diseñar la malla de perforación y secuencia de disparo utilizando el programa Opitblast de tal manera que cumpla con los requisitos operativos.
- ✓ Realizar el control de calidad de la mezcla explosiva a través de pruebas como: absorción de petróleo, gasificación y velocidad optima de detonación.
- ✓ Obtener una fragmentación P(80) y porcentaje de finos dentro del objetivo propuesto.

22. 1.3. Preguntas de Investigación

1.3.1. Pregunta general

- ✓ ¿Es factible mejorar el ratio de excavación de las palas de carguío mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco?

1.3.2. Preguntas específicas

- ✓ ¿Es posible diseñar la malla de perforación y secuencia de disparo utilizando el programa Opitblast de tal manera que cumpla con los requisitos operativos?
- ✓ ¿El factible realizar el control de calidad de la mezcla explosiva a través de pruebas como: absorción de petróleo, gasificación y velocidad optima de detonación?
- ✓ ¿Es posible obtener una fragmentación P(80) y porcentaje de finos dentro del objetivo propuesto?

1.4 Justificación e Importancia

El ratio de excavación en minería es un indicador que mide la velocidad de carga de un equipo de carguío dividiendo las toneladas registradas por la balanza del equipo de acarreo entre el tiempo de carga registrado por dispatch desde que el equipo de carguío libera el primer cucharón hasta dar el último pase y dar por cargado al camión minero. Entonces cuando una fragmentación es óptima y adecuada para cada tipo de litología presente en el frente de trabajo de un equipo de carguío este facilita su proceso de excavación, es decir sus 03 movimientos

principales de una pala: empuje, levante y giro. Este resultado nos da una idea clara de cómo están las condiciones del frente de minado y por ende como fue el resultado de la voladura, si se alcanzó la fragmentación adecuada y si se alcanzó el nivel de finos objetivo.

Para obtener estos resultados positivos del proceso de voladura es primordial que se haya realizado el estudio, la conciliación de información y por último la simulación de la voladura para obtener resultados en un posible anteproyecto que nos permita tomar correcciones anticipadas y asegurar un resultado óptimo para la voladura.

Para lograr los objetivos requeridos por mina, haremos una conciliación de la información y datos brindados por las áreas pertinentes de la unidad minera, para identificar las características ²⁸ del macizo rocoso, posteriormente rediseñar la malla de perforación y la secuencia de disparo, con la ayuda de software especializados y la utilización del explosivo “Emulgex HA73G”, que por sus características permitirá mejorar los resultados de la voladura hasta poder alcanzar los objetivos propuestos.

21 CAPITULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

2.1.1. Antecedentes Nacionales

En la tesis titulada ¹¹ “*Influencia económica por la aplicación de la emulsión gasificada SANG APU en los taladros de voladura de minera Coimolache S.A.*” el autor tiene como ¹⁵ objetivo reducir costos con la aplicación de la emulsión gasificada SANG APU. Para lo cual se realizó un análisis de fragmentación, factor de carga, ratio USD/Ton y VOD en el área de perforación y voladura, comparando y contrastando estos indicadores de cuando se aplica la emulsión gasificada SANG APU y cuando no se aplica esta. Obteniendo como resultado luego de realizar 27 disparos obtuvo un ahorro de 7 626 USD, con respecto al explosivo anterior y el propuesto. (Ugaz, Cesar. 2020).

En la tesis titulada ⁴ “*Aplicación de la nueva solución acuosa de nitrato gasificable para optimizar las voladuras primarias de la fase 1 - 2 del Tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.*” el autor tuvo como objetivo optimizar los parámetros de ⁴ las voladuras primarias de la Fase 1 - 2 con la ⁴ aplicación de la Nueva Solución Acuosa de Nitrato Gasificable ⁴ del Tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A. Implemento una nueva mezcla explosiva para comparar los resultados con el proveedor existente, buscando reducir el tamaño de la fragmentación, el nivel de gases nitrosos y aumentar la tasa de excavación. Para esto se propuso ampliar la malla de perforación y reducir el factor de potencia. Teniendo como resultado lo siguiente, se realizó un total de 08 disparos en zona de mineral, el cual mostro una reducción del 15% del P80, se logró aumentar la velocidad de excavación (ratio de excavación) en un 7.0 %, el factor de potencia se redujo en un 6.4% y el factor de gases nitrosos al 100% todo esto en comparación con el proveedor actual (Arzapalo, H., & Rodrigo, K. 2022).

La tesis titulada ⁵ “*Implementación de emulsiones energéticas Fortis Extra en roca Traquita*” tuvo como objetivo determinar las ventajas técnicas y económicas de la implementación de emulsión Fortis Extra. Para la metodología se tuvo un control de la calidad de la mezcla explosiva para la obtener resultados óptimos en el monitoreo de vibraciones, eyecciones y en la ⁵ secuencia de la voladura. Posteriormente realizo un análisis de fragmentacion de los frentes de minado y se evaluó el factor de potencia y el efecto que causo en la tasa de excavación (ratio de excavación). Como resultado se obtuvo un incremento en los valores de tonelaje de los equipos de carguío, desde un 3.10% a un 15.40% y la tasa de excavación mostro una mejoría de 2.50% a 14.80% (Sueros Lezama, C. H. 2021).

2.1.2. Antecedentes Internacionales

La presentación titulada “*Drill-To-Mill Plant Optimization At Altynalmas Pustynnoye Gold Mine*”, en la SAG Conference 2019, Vancouver. Tuvo como objetivo el mejorar el rendimiento del molino de la mina de oro Pustynnoye a través de la implementación de una malla de perforación optima. Se realizó una caracterización insitu del yacimiento minero para obtener un modelamiento de fragmentación, trituración y molienda para posteriormente hacer uso de la metodología de perforación a fresado y poder obtener los resultados requeridos. Obteniendo como resultado un aumento del 11% de finos, una reducción del P80 de 500mm a 150mm y el aumento de la tasa de excavación (ratio de excavación) en un rango de 25% a 30%, estos resultados se lograron dentro de los primeros seis meses de estudio (Esen, S. et al. 2019)

En el artículo titulado ¹⁷ “*Advance Technology Electronic Detonator For Blast Efficiency And Safe Environment*”, presentado en ¹⁹ PROSIDING TPT XXIX PERHAPI, 2020), se tuvo como objetivo mejorar la fragmentación, tiempo de excavación y reducir los niveles de vibración así como la eficiencia del tiempo de voladura. Se realizó un estudio de resultados de voladura con el uso de detonadores no eléctricos y detonadores electrónicos, se utilizó tiempo de 108ms entre filas y 17 entre taladros partiendo del circuito no eléctrico hacia el circuito

electrónico con un retardo entre circuitos de 1000ms. Como resultado se detalla que el uso del detonador electrónico genero un porcentaje de uniformidad en la fragmentación de 82.98% en comparación con el no electrónico que alcanzo un 61.56%, además que el tiempo de excavación puede aumentar hasta 10.8 segundos con el uso del detonador electrónico, por último, los niveles vibracionales tuvieron una reducción de hasta 45% con respecto al no electrónico y sin rastros de gases nitrosos (Salahudin, S., & Putri, M. 2020).

25

2.2. Bases Teóricas de la Investigación

2.2.1. Ratio de excavación

El término “ratio de excavación” se refiere a la velocidad de excavación de una pala mecánica. Es una medida de la eficiencia con la que una pala minera puede cavar y cargar el material a la tolva de un camión minero (Kaba et al, 2016). El ratio de excavación depende de varios factores, que incluyen:

- Tamaño y potencia de la pala de carguío: Las palas más grandes y potentes generalmente tienen una mayor capacidad de excavación y por lo tanto tendrán un ratio de excavación mucho más alto.
- Tipo de terreno o frente de minado: El tipo de material que se está excavando puede afectar el ratio de excavación. Por ejemplo, si los fragmentos se encuentran sueltos, de un tamaño adecuado y fácil de excavar, esto permitirá una mayor velocidad de excavación en comparación con un suelo compacto o de fragmentos muy grandes.
- Operador de la pala: La habilidad y experiencia del operador también influyen en el ratio de excavación. Un operador experto puede maximizar la eficiencia de la pala y alcanzar un mayor resultado al cumplir la cantidad de pases previstos para alcanzar el pay load requerido por mina.
- Condición del frente: Existen algunas condiciones de minado que dificultan el performance de la excavación, por ejemplo, el minado en frente de ancho reducido

donde la pala puede tener dificultades para maniobrar y cambiar de posición. Esto puede requerir más tiempo y esfuerzo para ajustar el equipo en una posición óptima de excavación y carga. Otra condición muy común es el aumento del radio de giro la cual se refiere a la distancia mínima que la pala necesita para girar completamente alrededor de su eje central. Un radio de giro más pequeño permite a la pala girar más fácilmente y esto puede reducir el tiempo requerido para cambiar de dirección y encontrar la posición óptima para excavar y cargar con respecto al camión minero.

El ratio de excavación se puede medir en termino de volumen excavado por unidad de tiempo, como metros cúbicos por hora (m³/h) o toneladas por hora(t/h). Sin embargo, es importante tener en cuenta que el ratio de excavación puede variar significativamente según las condiciones de trabajo específicas y las variables mencionadas anteriormente, algunos métodos comunes para hacer la medición son:

- Registro de tiempo de ciclo en campo: Este método implica medir el tiempo que lleva a la pala completar un ciclo de excavación y carga en campo. Se registra el tiempo desde que la pala suelta la primera carga en el camión minero hasta que se cargue el ultimo cucharón colmatado.
- Análisis de datos de producción por Dispatch: Algunas palas de carguío estan equipadas con sistemas de monitoreo y control que registran los datos de producción, como la cantidad de material registrado en su balanza y el tiempo de operación desde que la pala suelta la primera carga en el camión minero hasta que se cargue el ultimo cucharón colmatado. ⁵³ Esta información es almacenada en una base de datos y se pueden utilizar para calcular el ratio de excavación en tiempo real y analizar la eficiencia de la pala de carguío.

Es importante que se defina los puntos de inicio y de descarga al medir el ratio de excavación para asegurar que se registren con precisión los tiempos de excavación y

carga, así como el volumen o peso del material movido. Esto nos proporcionara datos más precisos para calcular la eficiencia y rendimiento de la pala (Kaba et al, 2016).

2.2.2. Explosivo Gasificado HA73G Emulgex

El explosivo Emulgex, desarrollado por Enaex, es un producto altamente efectivo utilizando en diversas industrias, especialmente en minería. EMULGEX es un explosivo emulsionado que combina diferentes componentes para lograr una óptima eficiencia en la fragmentación de rocas, este explosivo es de ² tipo agua en aceite que se usa para la fabricación de anfo pesado bombeable y vaciable gasificado, mediante su mezcla in situ con anfo en diferentes proporciones, para lograr una mayor eficiencia del explosivo en ciertas condiciones adversas al terreno (Empresa Nacional de Explosivo [ENAEX], 2023).

Tabla 1

Características técnicas del Explosivo Gasificado HA73G Emulgex

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
EMULGEX	Características	Unidad
Densidad	1.30 – 1.40	gr/cc
Color	Café opaco	-
Aspecto	Emulsión	-
Viscosidad	120,000 – 250,000	cp
T° de inflamación (°C)	≥70	°C
Solubilidad	Insoluble en agua	-
Fabricación	Planta Cachimayo - Perú	-

Nota, tomado de ENAEX PERÚ

2.2.3. Nitrato de Amonio – Planta Cachimayo

El nitrato de amonio grafo ANFO de industrias Cachimayo es una sal inorgánica fuertemente oxidante, fabricado con insumos de alta pureza, el Nitrógeno de aire purificado al

99.9% e Hidrogeno al 99.6%. Esta mezcla tiene una densidad aparente entre 0.72 a 0.74 Kg/L, de alta porosidad adecuada la producción de Anfo, agente explosivo utilizado en voladuras de cielo abierto con producción mínima de humos y gases tóxicos obteniéndose una excelente fragmentación de material de dureza media y alta. (Empresa Nacional de Explosivo [ENAEX], 2023).

Tabla 2

Propiedades Físicas del Nitrato de Amonio

Propiedades Físicas	Valor	Unidad
Peso molecular	80.04	-
Densidad aparente	0.73	gr/cm3
Punto de fusión	170	°C
Humedad relativa critica a 30	59.4	gr
Ph, solución acuosa al 10%	4.5 – 6.0	-
Fabricación	Planta Cachimayo	-

Nota, tomado de ENAEX PERÚ

2.2.4. Nitrito de sodio N11 – Planta Cachimayo

El nitrato de sodio (NaNO_2) es un compuesto químico que se utiliza en algunos casos en voladuras controladas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el nitrito de sodio no es un explosivo en sí, sino mas bien un componente utilizado en ciertas mezclas explosivas.

En las voladuras, puede utilizarse como un agente oxidante que ayuda a potenciar la reacción química de otros componentes de origen explosivo. Se combina con un combustible y un agente sensibilizador para formar una mezcla explosiva. Esta mezcla puede proporcionar una reacción exotérmica rápida y controlada cuando se inicia la detonación, lo que permite fragmentar la roca de manera controlada (Empresa Nacional de Explosivo [ENAEX], 2023).

2.2.5. Diesel

El diesel es utilizado en el proceso de voladura como un agente sensibilizador o como un componente en mezclas explosivas. En resumen, el diesel al ser un combustible líquido, puede actuar como un agente sensibilizador al aumentar la velocidad de reacción de los explosivos primarios, como los iniciadores o detonadores. Su función es proporcionar una fuente de energía adicional que facilite la iniciación de la reacción explosiva en mezcla.

2.2.6. X-Booster ENAEX

Los iniciadores cilindros serie X-BOOSTER ¹⁰ son cargas explosivas de alta potencia y gran seguridad, que tienen la función de la iniciación de agentes de voladura. Este tiene una velocidad de detonación más rápida y una mayor capacidad explosiva. Al agregar un Booster a la carga explosiva, se puede aumentar la energía liberada durante la detonación, lo que resulta en una mayor eficacia en la fragmentación del macizo rocoso (Empresa Nacional de Explosivo [ENAEX], 2023).

Figura 1

X-Booster ENAEX



Nota, tomado del sitio web ENAEX

2.2.7. *Brinel ENAEX*

Es un detonador ² con retardo de iniciación no eléctrica, utilizado para la iniciación de cargas explosivas. Propician excelentes resultados gracias a la precisión de sus tiempos de retardo y su iniciación puntual. Es fabrico ³ con el tubo thermotube. Que tiene una tecnología diferenciada que no utiliza explosivo. Diferente de los tubos convencionales que emiten una onda de choque, con el thermotube se emite una chispa fundida de alta temperatura (Empresa Nacional de Explosivo [ENAEX], 2023).

Figura 2

Brinel ENAEX



Nota, tomado del sitio web ENAEX

2.2.8. *Detonador electrónico DaveyTronic SP*

Un detonador electrónico es un dispositivo utilizado en voladuras donde se utiliza tecnología electrónica para iniciar de manera precisa y controlada la detonación de cargas explosivas. A diferencia de los detonadores convencionales que utilizan mecanismos de choque o fuego para iniciar la detonación, los detonadores DaveyTronic permiten una mayor precisión en la secuencia de encendido y pueden ser programados para retardar o sincronizar la detonación. Estos detonadores constan de una serie de componentes electrónicos, como circuitos integrados, microprocesadores, resistencias y condensadores, que controlan la generación de la señal eléctrica necesaria para iniciar la carga explosiva. Los detonadores

DaveyTronic están diseñados para ser iniciados de forma remota y pueden ser programados con retardos precisos en milisegundos. Estos detonadores cuentan con una mayor seguridad al tener características adicionales, como sistemas de autodiagnóstico y protección contra interferencias electromagnéticas, lo que reduce los riesgos de disparos accidentales, además de que incorpora funciones de registro de datos, lo que permite obtener la información detallada sobre la secuencia de detonación y monitorear el rendimiento de la voladura (Davey Bickford-Enaex, 2019).

Figura 3

Detonador electrónico DaveyTronic SP



Nota, tomado del sitio web ENAEX

2.2.9. Sistema de iniciación DaveyTronic SP

Un sistema de iniciación de voladura es un conjunto de dispositivos y componentes utilizados para iniciar de manera controlada y segura la detonación de una carga explosiva en una voladura, este consta de los siguientes dispositivos (Davey Bickford-Enaex, 2019).

Figura 4

Sistema de iniciación DaveyTronic SP



Nota, tomado del sitio web ENAEX

2.2.10. Remote Blaster (DRB2)

El Remote Blaster proporciona las instrucciones de control por menú y la energía necesaria para disparar los detonadores. La operación con el Remote Blaster debe ser llevado a cabo desde un lugar de disparo seguro.

En modo cable, el Remote Blaster gestiona su propia red, realiza comprobaciones de la funcionalidad de cada detonador en el circuito de disparo y luego transmite los comandos seguros para disparar cada detonador, puede gestionar un máximo de 1500 detonadores Davey Tronic en su propia red.

En modo remoto, el Remote Blaster envía ordenes, envía y recibe información del Blast Driver a través de comunicación bidireccional inalámbrica. En todo momento, la pantalla del remote Blaster muestra el status del Blast Driver (Davey Bickford-Enaex, 2019).

Figura 5

Remote Blaster (DRB2)



Nota, tomado del sitio web ENAEX

2.2.11. Blast Driver (DBD)

El Blast Driver ejecuta las instrucciones recibidas y provee de la energía necesaria para disparar los detonadores y es controlado remotamente por un Remote Blaster. El Blast Driver gestiona su propia red, realiza comprobaciones de la funcionalidad de cada detonador en el

circuito de disparo y transmite las ordenes seguras para disparar cada detonador cuando así lo ordene el Remote Blaster (Davey Bickford-Enaex, 2019).

Figura 6

Blast Driver (DBD)



Nota, tomado del sitio web ENAEX

2.2.12. Unidad de Programación (PU)

La unidad de programación Davey Tronic es un dispositivo utilizado para configurar y programar los parámetros de los detonadores utilizados en un sistema de iniciación. Esta unidad permite ajustar variables como los retardos de encendido, la secuencia de detonación y otros parámetros específicos de los detonadores (Davey Bickford-Enaex, 2019).

La unidad de programación tiene una interfaz intuitiva y funciones que facilitan la capacidad de comunicación con el sistema, lo que les permite conectarse y realizar diagnósticos de los detonadores en todo momento, algunas de las principales características son:

- ³ Permite la programación de un retardo para cada detonador.
- Asegura la capacidad de comprobación en el momento del disparo y desde la estación de encendido.
- Controla la energía ³ de cada detonador hasta el tiempo de disparo.
- Reporta cualquier anomalía al operador.

Figura 7*Unidad de Programación (PU)**Nota, tomado del sitio web ENAEX***2.2.13. Toma de fragmentación con el uso Portametrics**

La toma de fragmentación se refiere al proceso de obtener muestras o mediciones que permiten evaluar el tamaño y la distribución de c adecuada. Una fragmentación óptima puede tener un impacto significativo en la eficiencia operativa, el consumo de energía, la recuperación de minerales y la calidad del producto final.

Motion Metrics,⁴⁷ es una empresa especializada en el desarrollo y suministro de soluciones tecnológicas para la industria minera. Su enfoque principal⁵⁷ es la mejora de la productividad y eficiencia en las operaciones mineras a través de la aplicación de tecnologías avanzadas. Porta Metrics es un dispositivo portátil el cual es utilizado para medir y analizar la fragmentación de rocas en tiempo real. Proporciona Información clave sobre el tamaño y la distribución de las partículas de mineral, lo que ayuda a optimizar el proceso de trituración y molienda en las operaciones mineras.⁶²

2.2.14. Procesamiento de imágenes de fragmentación con Metrics Manager

Metrics Manger es una interfaz en la plataforma donde se realiza el análisis de datos, que tiene como objetivo principal obtener información relevante sobre el tamaño y distribución de las partículas del material. Este comienza realizando la limpieza de los datos obtenidos, esto

puede implicar eliminar valores atípicos, corregir errores y además de organizar ⁵² los datos en un formato adecuado para el análisis. Posteriormente utiliza técnicas de análisis descriptivo para examinar las características principales de los datos de fragmentación, esto incluye calcular las medidas ⁶⁹ estadísticas como la media, mediana, desviación estándar y percentiles para obtener una comprensión general del comportamiento de la fragmentación, por último, la información ¹² procesada es documentada y comunica los resultados del análisis de datos de fragmentación a través de dashboard interactivos con presentaciones claras y concisas lo cual permite tener resultados de alta fiabilidad que faciliten ⁵⁵ la toma de decisiones al momento de evaluar los resultados de la voladura.

2.2.15. Diseño de voladura

A. Malla de voladura

Una malla de voladura de voladura es una técnica que se utiliza en la industria minera y de construcción para el control ⁶⁸ de la fragmentación y vibración de la roca durante el proceso de voladura, prácticamente consiste en un patrón de perforaciones verticales en una superficie rocosa de tal forma que permita distribuir la energía del explosivo (Bernaola et al., 2013).

La malla de voladura se crea mediante perforación de una serie de agujeros en la roca respetando dos distancias diseñadas previamente que son: el burden y el espaciamiento. Estos agujeros posteriormente se llenan con mezcla explosiva de matriz acuosa. La ubicación, el tamaño y la secuencia de las perforaciones se determinan según las características geológicas, los objetivos de fragmentación deseados y el límite de vibraciones generados para cuidar el talud.

El propósito de la malla de voladura es controlar el patrón de fragmentación de la roca para maximizar la eficiencia de la voladura (ratio de excavación) y minimizar los efectos no deseados, como la generación de vibraciones o la proyección de rocas (fly rock). Al controlar

la secuencia y la distribución de los explosivos, se puede lograr una fragmentación más uniforme y controlada.

B. Burden (B)

Se refiere a la distancia medida perpendicularmente desde el centro del taladro hacia la cara libre. El burden es un parámetro importante en el diseño de la voladura, ya que influye en la eficiencia y el control de la fragmentación. Un burden inadecuado puede generar falta de distribución energética del explosivo o un exceso de vibraciones y proyecciones de roca.

El cálculo del burden se basa en varios factores, incluyendo la resistencia de la roca (RQD), la geometría de la perforación y los requisitos específicos de la fragmentación (Bernaola et al., 2013).

C. Espaciamiento (E)

El espaciamiento en voladura se refiere a la distancia horizontal entre los taladros de perforación en una malla de voladura. Se determina teniendo en cuenta distintos factores, como la resistencia de la roca (RQD), el tipo de explosivo a utilizar y los objetivos específicos de la voladura (Bernaola et al., 2013). Un espaciamiento más estrecho resultara en una mayor densidad de energía explosiva en la roca y una fragmentación más fina, mientras que un espaciamiento más amplio puede generar una fragmentación más gruesa y una mayor distribución de la energía.

D. ¹⁰Factor de potencia (FP)

²⁴ El factor de potencia se refiere a la cantidad de explosivo utilizado en relación con la capacidad de carga necesaria para lograr la fragmentación deseada de la roca (Bernaola et al., 2013). Este puede variar según la densidad de la roca, la longitud del taladro, la cantidad de explosivo y el tamaño de la malla. Un factor de potencia bajo indica que se está utilizando una

cantidad menor de explosivos en relación con la capacidad teórica requerida, mientras que el uso de un factor alto implica el uso de una cantidad mayor de explosivo.

Es importante encontrar un equilibrio adecuado en el factor para lograr la fragmentación optima y eficiente de la roca. El factor de carga se determina mediante el análisis y la experiencia del ingeniero de voladura, quien debe evaluar los diversos factores para obtener el objetivo deseado y reducir costos.

E. Taco del taladro de voladura.

Se refiere a un material o elemento utilizado para sellar parcialmente un taladro de perforación antes de la detonación. El taco se inserta en el taladro con ayuda de un equipo de carga para contener los explosivos y dirigir la energía explosiva hacia la roca circundante. El taco puede estar compuesto de diversos materiales y su función principal es evitar que los gases y la energía explosiva se escapen prematuramente del taladro y por el contrario canalizarlos hacia el macizo rocoso, maximizando así la eficacia de la voladura (Bernaola et al., 2013).

F. Taladros de Buffer

Los taladros buffer se refieren a los taladros adicionales que se colocan en una voladura para proporcionar una separación o zona de amortiguación entre la roca que se va a volar y otras áreas cercanas sensibles o que requieren de protección (talud) (Bernaola et al., 2013). Estos taladros se diseñan para absorber la energía explosiva y reducir la transmisión de vibraciones y ondas de choque a las áreas circundantes.

La ubicación, tamaño y diseño de los taladros dependen de la configuración específica del proyecto y de los requisitos de protección. Se colocan estratégicamente alrededor del área sensible o de las estructuras a proteger. Los taladros buffer pueden tener diferentes cargas explosivas que mayormente son mucho menor a la carga de producción o utilizar explosivos especiales con una energía más baja para minimizar el impacto hacia las áreas sensibles.

Además, se pueden emplear técnicas de secuencia de detonación y diseño de voladura específicas para controlar aún más los efectos y propagación de la energía explosiva.

G. Taladros de primera producción

Los taladros de primera producción se refieren a los taladros que se realizan para abrir la primera etapa de producción, estos taladros son fundamentales para la distribución de energía al momento de iniciar la secuencia desde los taladros de producción hacia taladros de buffer (Bernaola et al., 2013). Estos taladros también se caracterizan por tener una carga reducida en comparación al taladro de producción. La ubicación, el espaciamiento y la orientación depende de factores como la forma y la extensión del proyecto.

H. Taladros de producción

Los taladros de producción tienen como principal objetivo el fragmentar el macizo rocoso según lo planificado y diseñado, estos taladros se encuentran cargados con el 100% de su carga de diseño y su detonación es de manera controlada para fragmentar y facilitar la extracción del material (Bernaola et al., 2013).

I. Tiempo entre taladros

El tiempo entre taladros de voladura se refiere al intervalo de tiempo que transcurre entre la detonación de diferentes taladros de perforación en una voladura secuencial (Bernaola et al., 2013).

Este tiempo entre taladros es importante para controlar la secuencia de la voladura y lograr una fragmentación adecuada y controlada de la roca. Un tiempo entre taladros adecuado permite que la energía explosiva se distribuya eficientemente en la roca y evita que se produzcan vibraciones excesivas o proyecciones de material.

J. Tiempo entre filas de taladros

El tiempo entre filas de taladros en un proyecto de voladura se refiere al intervalo de tiempo que transcurre entre la detonación de dos filas de taladros adyacentes en una malla de voladura (Bernaola et al., 2013). La malla de voladura está compuesta por filas y columnas de taladros, y el tiempo entre filas es un factor importante en el diseño de la voladura y este permite un avance controlado de la voladura, evitando una concentración excesiva de energía en un área específica y favoreciendo una fragmentación más uniforme de la roca.

K. Software O-pitblast

Es un software utilizado en la industria minera para el diseño y control de proyectos de voladura en operaciones mineras a cielo abierto, ayuda a planificar y ejecutar de manera segura las voladuras necesarias con el objetivo de optimizar la fragmentación del macizo rocoso y maximizar la eficiencia de la excavación (ratio de excavación) (O-pitblast, s/f).

Algunas características que nos ofrece este software:

- Modelado del terreno: permite crear un modelo 3D del terreno y las estructuras geológicas relevantes de la mina.
- Diseño: permite diseñar y optimizar los patrones de perforación, diseño de secuencia, líneas de iso tiempo, el burden relieff, etc.
- Simulación: permite simular y analizar la voladura propuesta ⁵⁸ en función de los parámetros de diseño y las características del terreno, lo que puede ayudar a predecir el impacto de la voladura en términos de fragmentación, vibración y proyección de rocas.

L. Software Paradigm

Es un software de diseño y simulación de voladuras desarrollado por Enaex, este software es utilizado para optimizar el proceso de voladura, mejorar la productividad y

garantizar la fragmentación requerida (Igneous Tech, s/f). Dentro sus principales funciones y/o características, influye:

- Diseño de voladuras: Permite crear y diseñar patrones de perforación, secuencias de detonación, selección de explosivos y accesorios,
- Simulación y análisis: Proporciona herramientas de simulación para diseñar, visualizar y analizar los efectos de la voladura en la roca circundante. Esto permite evaluar aspectos como la fragmentación de la roca, el desplazamiento del material y las vibraciones generadas por el proceso de voladura.

2.3. Litología de la zona de estudio

El tajo Antapaccay es una operación minera a cielo abierto ubicada en la región de Cusco, Perú. Se caracteriza por ser una mina de cobre que explota un yacimiento de tipo pórfido de cobre.

La mineralización de cobre ¹ del proyecto Antapaccay se encuentra principalmente en rocas intrusivas intermedias. Estas rocas están asociadas con diseminación de minerales, venillas y ¹ brechas hidrotermales que entran en contacto con rocas preexistentes como dioritas y rocas sedimentarias, como calizas, lutitas calcáreas, limonitas y areniscas. Esto da lugar a la formación de ¹ brechas mineralizadas por contacto, exoskarn y stockwork en los cuerpos sedimentarios. La calcopirita es el mineral dominante en la mineralización, seguido de la bornita y la calcocita. La alteración predominante en las rocas intrusivas es de tipo potásico. Además, ¹ se han identificado dos cuerpos de mineralización, siendo el cuerpo sur el más grande y el cuerpo norte de menor tamaño. Al entrar en ¹ contacto con las calizas, se producen ¹ condiciones propicias para la formación de exoskarn, que consiste en cuerpos irregulares de granate-magnetita/piroxeno con presencia de calcopirita. También se han identificado extensas ¹ zonas de stockwork de cuarzo gris con altos contenidos de bornita y calcopirita cerca del contacto con el hornfels intrusivo, expandiéndose incluso varios metros dentro del hornfels.

2.3.1. ¹ Estructuras

El Proyecto Antapaccay se encuentra en el cinturón metalogénico de Andahuaylas-Yauri, el cual está influenciado por un conjunto de bloques que generaron altos estructurales. Un ejemplo de esto es el ¹ Alto Cuzco-Puno, controlado por fallas NW-SE Cuzco-Lagunillas-Mañaso.

¹ El sistema de fallas Cuzco-Lagunillas-Mañaso habría controlado los cabalgamientos con convergencia NE. Durante el Eoceno medio, en un breve período de alivio regional, se produjo el emplazamiento de los cuerpos dioríticos y porfíricos del batolito Andahuaylas-Yauri. El magmatismo asociado con la mineralización porfírica de Cu-Au en Antapaccay coincidió con un rápido crecimiento cortical de más de 10 km de espesor en menos de 5 millones de años, formando un proto-altiplano con un espesor de 58 km ¹ en el Eoceno tardío.

Basándonos en la interpretación de lineamientos y mapeo estructural en el distrito de Tintaya, se observa una repetición en los patrones estructurales de pliegues y fallas, tanto a escala distrital como a escala de detalle (Proyecto Antapaccay). ¹ Los patrones NNW-NW y NS son característicos de pliegues y cabalgamientos asociados, mientras que los patrones NE son típicos de estructuras frágiles. También se presentan estructuras frágiles secundarias en las direcciones NW y NS, así como algunos pliegues con orientación EW.

2.4. Descripción de la empresa

La empresa minera ENAEX se encuentra presente en Peru desde el año 2014 y ² ofrece toda la cadena de valor para los servicios integrales de fragmentación de rocas, innovación continua, desarrollo tecnológico, logística eficiente y compromiso con el cliente. Desde el año 2017 se tuvo la incorporación de Industrias Cachimayo, ampliando la oferta con la única planta local de producción de Nitrato y emulsiones (ENAEX, 2024).

Enaex inicio el servicio completo de voladura desde enero del año 2023 en la compañía minera Antapaccay.

2.5. Generalidades de la operación minera

2.5.1. Método de explotación

El método de explotación es de tipo superficial, donde se considera bancos con altura de diseño de 15.0 metros.

2.5.2. Equipos de carguío en operación

Se cuenta con la siguiente flota de carguío:

- Pala de cables “CAT 7495S”, se cuenta con 04 unidades de 79 yd³.
- Pala de cables “PH 2800XPB”, se cuenta con 02 unidades de 44 yd³.
- Pala de cables “PH 4100XPC”, se cuenta con 01 unidad de 64 yd³.

2.5.3. Equipos de acarreo en operación

Se cuenta con la siguiente flota de acarreo:

- Camion KOM 980, con una capacidad de 363 toneladas métricas.
- Camion KOM 930, con una capacidad de 290 toneladas métricas.
- Camion CAT 797, con una capacidad de 363 toneladas métricas.

2.6. Definición de términos

- PPV: La velocidad pico de partícula, es una medida utilizada para cuantificar la magnitud de las vibraciones causadas por el proceso de la voladura.
- Densidad del explosivo: Es una medida que indica cuanta masa de explosivo está presente en un espacio determinado. La densidad puede variar según el tipo de explosivo y su unidad son los gr/cm³.
- VOD: La velocidad de detonación es una medida que indica la velocidad a la cual se propaga la onda de choque en un explosivo durante la detonación y su unidad de medida es en m/s.
- Curva gasificada: Se refiere a un gráfico que muestra cómo evoluciona la liberación de gases durante la combustión o descomposición térmica de un explosivo. Esta curva

muestra la variación ⁷⁴ de la presión o el volumen de los gases a medida que transcurre el tiempo.

- Pala de carguío: Es una maquinaria utilizada en la industria minera para la carga de material en equipos de acarreo, estas están equipadas con un brazo frontal y un cucharón o balde en su extremo el cual se utiliza para recoger el material.

2.7. Hipótesis de Investigación

2.7.1. Hipótesis general

- El ratio de excavación de las palas de carguío mejorara mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco, 2023.

⁶⁶ **2.8. Variables**

2.8.1. Variable independiente

Explosivo Gasificado HA73G Emulgex

2.8.2. Variable dependiente

Ratio de excavación de las palas de producción.

2.8.3. ²⁴Operacionalización de la Variables

Tabla 3

Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente				
Explosivo	Explosivo de alto	Altura de gasificación	metros	Cuantitativa
Gasificado	performance que	Densidad	gr/cm3	Cuantitativa
HA73G	alcanza un VOD	VOD	m/s	Cuantitativa
Emulgex	hasta de 5800 m/s	Viscosidad	cps	Cuantitativa
Variable Dependiente				
Ratio de	Representa la	Fragmentación de la		
excavación de	velocidad de	roca P(80) desmonte y	pulgadas	Cuantitativa
las palas de	excavación de una	mineral		
producción	pala de carguío	Porcentaje de finos	porcentaje	Cuantitativa
		Ratio de excavación de	TMS/h	Cuantitativa
		las palas de carguío		

41 CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcance y limitaciones

3.1.1. Alcance

El alcance de esta investigación se centra en hacer un nuevo diseño de perforación y voladura para optimizar el ratio de excavación de las palas de carguío hasta alcanzar el objetivo de 8 300 TM/h en las palas eléctricas y en hidráulicas 5 300 TM/h.

El estudio se desarrollará sobre las voladuras de producción, debido a la importancia de estas para la continuidad del minado. Así como su relevancia en la utilidad de las palas de producción. En específico del tajo sur.

3.1.2. Limitaciones

Se dispone de la información y los datos necesarios para el desarrollo de la investigación, bajo la premisa de su uso estrictamente académico. Tenemos acceso al lugar donde se desarrollará la investigación, siendo el único detalle para mencionar, la ausencia de mi persona para la toma de datos y control de estos los días que me encuentre fuera de la unidad minera. En el aspecto económico, es factible solventar la investigación de forma personal.

El nombre de la empresa minera será tomado en reserva por razones corporativas, así como los registros generados no alcancen el umbral de daños según la norma “USBM RI8507 AND OSMRE”

16 3.2. Tipo y Nivel de Investigación

3.2.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicada, debido a que implementaremos un diseño de ingeniería para la solución respecto a la mejora del ratio de excavación de las palas de carguío. Siendo el diseño de investigación cuasi experimental.



M: Muestra de elementos

Xi: Variable de estudio

P: Aplicación del experimento.

Oi: Resultados de la medición de las variables

43

3.2.2. Nivel de investigación

La presente investigación de nivel descriptivo tecnológico y comparativo, debido a que buscaremos analizar los resultados, describir sus características y propiedades y comparar los resultados obtenidos antes y después del experimento.

30

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está constituida por las voladuras entre los meses de enero a junio de 2023 el tajo sur de la mina Antapaccay del distrito de Espinar.

16

3.3.2. Muestra

La muestra será las voladuras de producción representando estas el 93% de las voladuras realizadas en el tajo sur en zona de desmonte y zona de mineral.

51

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas por utilizar serán la documentaria y la observación. Para la primera nos centraremos en las bases de datos que dispone la operación mina, y para la segunda utilizaremos una lista de chequeo para poder determinar si se cumplió o no el procedimiento normal de la actividad de perforación y voladura.

64

25

3.4.1. Plan de análisis de datos

Para la presente investigación se contempla un plan de análisis de datos exhaustivo, que iniciará con la obtención de los parámetros geológicos y geomecánicos brindados por el cliente, lo cual nos indicará las características del macizo rocoso para poder realizar un diseño adecuado

que cumplan con los requerimientos de la empresa minera. Para que este diseño sea aprobado, primero se tendrá que realizar las siguientes simulaciones en el anteproyecto:

- Recolección y procesado de datos históricos de las voladuras realizadas antes de la implementación de la emulsión gasificada.
- Establecimiento de línea base considerando los siguientes datos: malla de perforación, secuencia de salida, diseño de carga, fragmentación de la roca P(80) en desmonte y mineral, porcentaje de finos, el tipo de litología existente y el ratio de excavación de las palas de carguío. Antes de la implementación del explosivo “HA73G EMULGEX”.
- Posteriormente se realiza el estudio litológico de la zona, continuando entonces con el ⁵⁴ diseño de la malla de perforación.
- Se hace un levantamiento de los taladros perforados para evaluar la conformidad según diseño.
- Se plantea el objetivo de la voladura según necesidad o características operativas.
- Se diseña y simula la secuencia de disparo y carguío utilizando los programas Paradigm y Opit Blast. Posteriormente se procede a realizar en campo la secuencia y el carguío de los taladros.
- Se realiza la voladura y se evalúan los resultados de la fragmentación.
- Establecimiento de línea de comparación, considerando los siguientes datos: malla de perforación, secuencia de salida, diseño de carga, fragmentación de la roca P(80) en desmonte y mineral, porcentaje de finos, el tipo de litología existente y el ratio de excavación de las palas de carguío. Después de la implementación del explosivo “HA73G EMULGEX”.
- Finalmente, el método estadístico para la comprobación del ratio de excavación será: la ⁵ estadística descriptiva considerando los siguientes parámetros: pruebas de bondad de ajuste

(chi-cuadrado), esperanza, varianza, cuartiles y coeficiente de variación. Se utilizará el software SPSS.

50
CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Establecimiento de Línea Base

4.1.1. Datos del explosivo

Se muestra algunas de las principales características del explosivo utilizado anteriormente por la empresa minera en estudio, se puede verificar que las especificaciones brindadas en su ficha técnica se encuentran dentro del rango de valores necesarios para un óptimo desempeño al momento de la detonación de una columna explosiva.

Tabla 4

Datos del explosivo Q73

Tipo	Q73	Unidad
VOD	4000 – 6000	m/s
Densidad	1.10 +/- 0.05	gr/cm ³
Energía Absoluta en Peso	3,036	kJ/kg

Nota. Tomado de Ficha técnica del explosivo

4.1.2. Perforación y Voladura

A. Julio 2022

Zona de Desmonte

Durante el mes de julio del 2022, en zona de desmonte con una litología presente en Caliza se estuvo utilizando una malla de perforación de 8.20 m x 9.40 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.31 kg/t.

$$FP = 0.31 \text{ kg/t}$$

Figura 8

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – julio 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – julio 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 03 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Cabe resaltar que según estudios recientes recomiendan que el rango de tiempos entre taladros debe ser de 22 a 33 ms, este valor puede variar según el tipo de explosivo, las propiedades de la roca y los parámetros de diseño (burden y espaciamiento). Estos tiempos además de no afectar la fragmentación del material contribuyen al cuidado de las estructuras aledañas y comunidades cercanas.

Figura 9

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – julio 2022

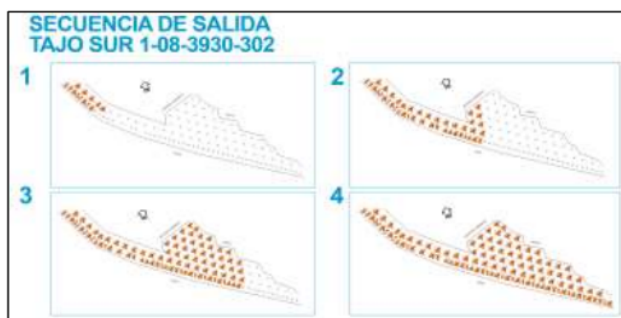


Nota, tomado Reporte de voladura – julio 2022

Un diseño adecuado de secuencia de taladros en voladura electrónica permite que el material se desplace de manera planificada hacia un punto estratégico generando un muck pile eficiente para el equipo de carguío, también controla y mitiga el acoplamiento de ondas de choque que podrían generar daños estructurales.

Figura 10

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – julio 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – julio 2022

Zona de mineral

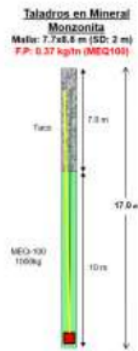
Durante el mes de julio del 2022, en zona de mineral con una litología presente en Monzonita se estuvo utilizando una malla de perforación de 7.70 m x 8.80 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000 kg por taladro generando un F.P. de 0.37 kg/t.

Figura 11

Diseño de carga teórica en zona de mineral julio 2022

DISEÑO DE CARGA TEÓRICO



Nota, tomado Reporte de voladura – julio 2022

$$FP = 0.37 \text{ kg/t}$$

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 09 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Comparando los tiempos entre desmonte/mineral, no se encuentra una relación o motivo por el cual los tiempos entre taladros en mineral sean menor que los taladros en desmonte aun asi cuando ambos están por un debajo los tiempos recomendados para el cuidado de estructuras.

Figura 12

Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – julio 2022

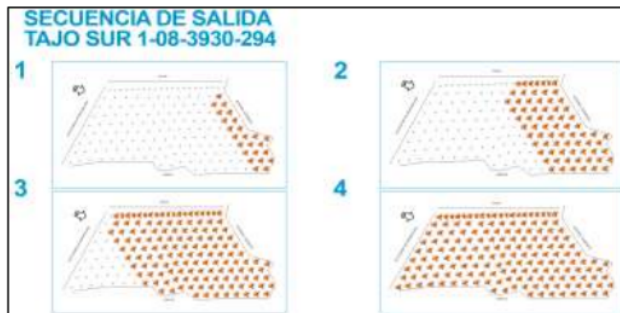


Nota, tomado Reporte de voladura – julio 2022

En zona de mineral se cumple de igual forma el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 13

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – julio 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – julio 2022

B. Agosto 2022

Zona de desmonte

Durante el mes de agosto del 2022, en zona de desmonte con una litología presente en Diorita se estuvo utilizando una malla de perforación de 9.00 m x 10.40 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

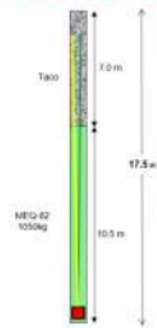
La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1050.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.282 kg/t.

Figura 14

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – agosto 2022

DISEÑO DE CARGA TEÓRICO

Taladros en desmonte Diorita
Malla: 9.0x10.4 m (SD: 2.5 m)
F.P.: 0.282 kg/tm (MEG42)



Nota, tomado Reporte de voladura – agosto 2022

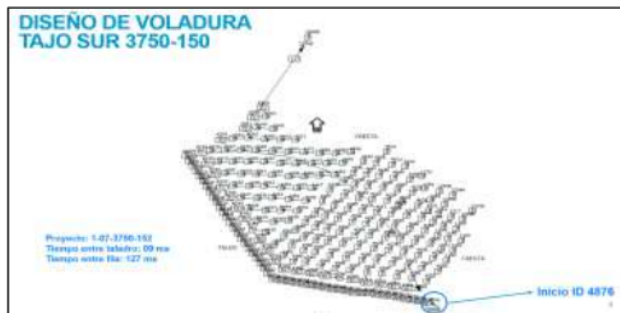
$$FP = 0.282 \text{ kg/t}$$

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 09 ms
- Tiempo entre filas :127 ms

Figura 15

Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – agosto 2022

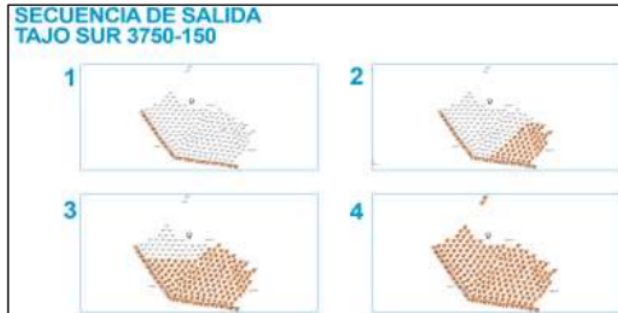


Nota, tomado Reporte de voladura – agosto 2022

En el mes de agosto se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 16

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – agosto 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – agosto 2022

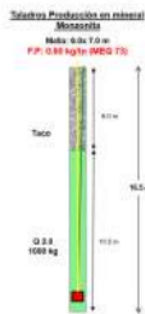
Zona de mineral

Durante el mes de agosto del 2022, en zona de mineral con una litología presente en Monzonita se estuvo utilizando una malla de perforación de 6.00 m x 7.00 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.60 kg/t.

Diseño de carga teórica en zona de mineral – agosto 2022

DISEÑO DE CARGA TEÓRICO



$$FP = 0.60 \text{ kg/t}$$

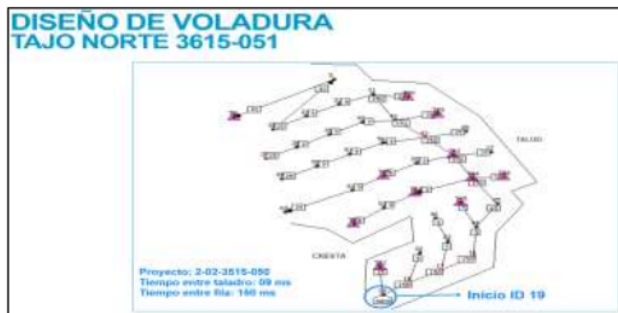
Nota, tomado *Reporte de voladura* – agosto 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 09 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 17

Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – agosto 2022



Nota, tomado *Reporte de voladura* – agosto 2022

En la zona de mineral también se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 18

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – agosto 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – agosto 2022

C. Setiembre 2022

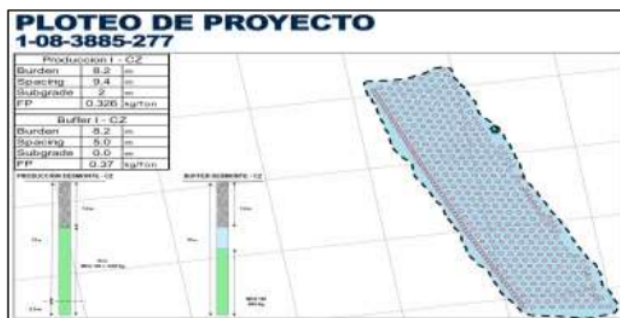
Zona de desmonte

Durante el mes de setiembre del 2022, en zona de desmonte con una litología presente en Caliza se estuvo utilizando una malla de perforación de 8.20 m x 9.40 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.326 kg/t.

Figura 19

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – setiembre 2022



$$FP = 0.326 \text{ kg/t}$$

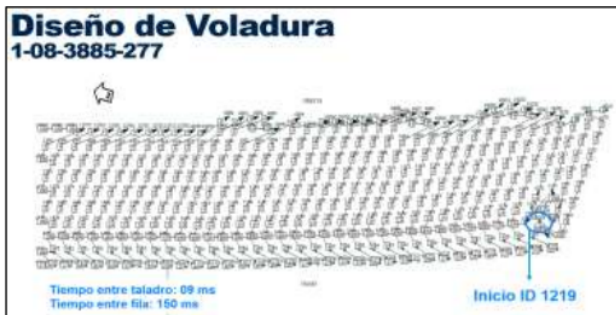
Nota, tomado Reporte de voladura – setiembre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 09 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 20

Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – setiembre 2022

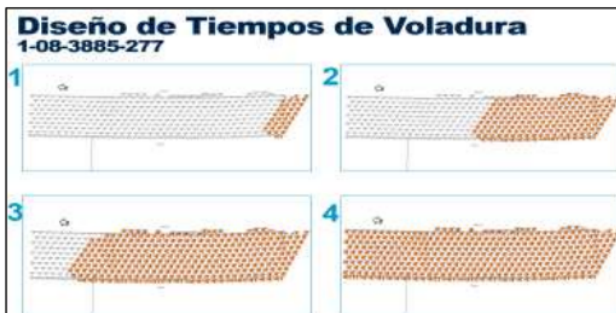


Nota, tomado Reporte de voladura – setiembre 2022

En la zona de desmonte se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 21

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – setiembre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – setiembre 2022

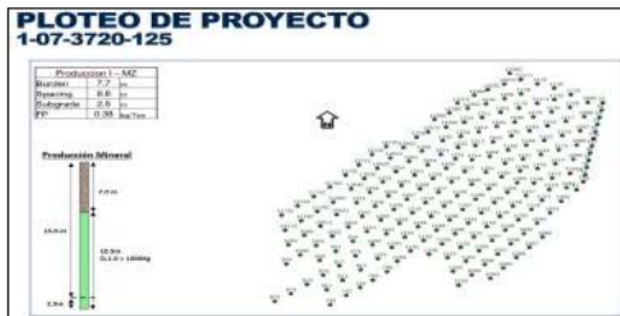
Zona de mineral

Durante el mes de setiembre del 2022, en zona de mineral con una litología presente en Monzonita se estuvo utilizando una malla de perforación de 7.70 m x 8.80 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.380 kg/t.

Figura 22

Diseño de carga teórica en zona de mineral – setiembre 2022



$$FP = 0.38 \text{ kg/t}$$

Nota, tomado *Reporte de voladura* – setiembre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 17 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 23

Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – setiembre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – setiembre 2022

En la zona de desmonte se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 24

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – setiembre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – setiembre 2022

D. Octubre 2022

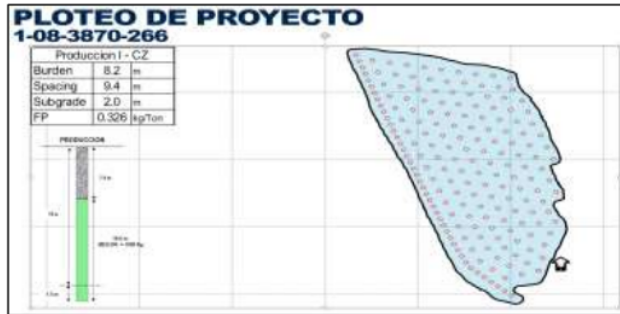
Zona de desmonte

Durante el mes de octubre del 2022, en zona de desmonte con una litología presente en Caliza se estuvo utilizando una malla de perforación de 8.20 m x 9.40 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.326 kg/t.

Figura 25

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – octubre 2022



$$FP = 0.38 \text{ kg/t}$$

Nota, tomado Reporte de voladura – octubre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 09 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 26

Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – octubre 2022

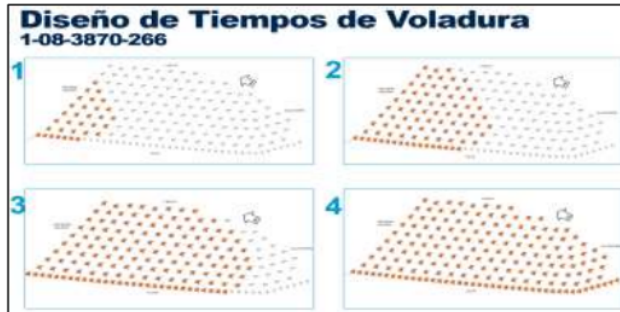


Nota, tomado Reporte de voladura – octubre 2022

En la zona de desmonte se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 27

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – octubre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – octubre 2022

Zona de mineral

Durante el mes de octubre del 2022, en zona de mineral con una litología presente en Monzonita se estuvo utilizando una malla de perforación de 7.70 m x 8.80 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 950.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.358 kg/t.

Figura 28

Diseño de carga teórica en zona de mineral – octubre 2022



$$FP = 0.358 \text{ kg/t}$$

Nota, tomado Reporte de voladura – octubre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 13 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 29

Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – octubre 2022

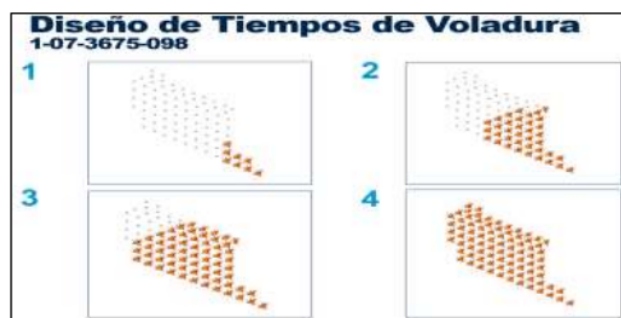


Nota, tomado Reporte de voladura – octubre 2022

En la zona de desmonte se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 30

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – octubre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – octubre 2022

E. Noviembre 2022

Zona de desmonte

Durante el mes de noviembre del 2022, en zona de desmonte con una litología presente en Caliza se estuvo utilizando una malla de perforación de 8.20 m x 9.40 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.327 kg/t.

Figura 31

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – noviembre 2022



$$FP = 0.327 \text{ kg/t}$$

Nota, tomado *Reporte de voladura* – noviembre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 13 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 32

Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – noviembre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – noviembre 2022

En la zona de desmonte se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 33

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – noviembre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – noviembre 2022

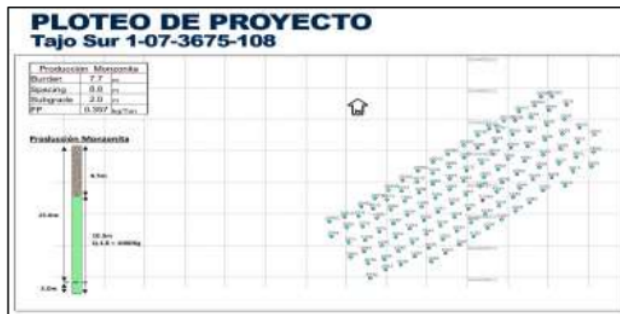
Zona de mineral

Durante el mes de noviembre del 2022, en zona de mineral con una litología presente en Monzonita se estuvo utilizando una malla de perforación de 7.70 m x 8.80 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.357 kg/t.

Figura 34

Diseño de carga teórica en zona de mineral – noviembre 2022



$$FP = 0.357 \text{ kg/t}$$

Nota, tomado *Reporte de voladura* – noviembre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 13 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 35

Diseño de voladura proyecto en zona de mineral – noviembre 2022



Nota, tomado *Reporte de voladura* – noviembre 2022

En la zona de mineral se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 36

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – noviembre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – noviembre 2022

F. Diciembre 2022

Zona de desmonte

Durante el mes de diciembre del 2022, en zona de desmonte con una litología presente en Caliza se estuvo utilizando una malla de perforación de 8.20 m x 9.40 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 950.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.310 kg/t.

Figura 37

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – diciembre 2022



$$FP = 0.310 \text{ kg/t}$$

Nota, tomado Reporte de voladura – diciembre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 17 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 38

Diseño de voladura proyecto en zona de desmonte – diciembre 2022

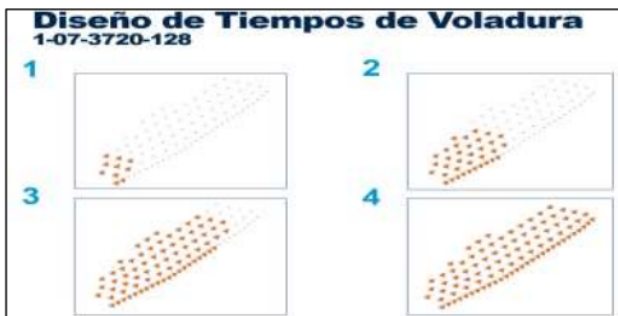


Nota, tomado Reporte de voladura – diciembre 2022

En la zona de mineral se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 39

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de desmonte – diciembre 2022



Nota, tomado Reporte de voladura – diciembre 2022

Zona de mineral

Durante el mes de diciembre del 2022, en zona de mineral con una litología presente en Monzonita se estuvo utilizando una malla de perforación de 7.70 x 8.80 m en taladros de producción, además con un diseño de 15.00 m de altura de banco y 2.00 m de sub drilling.

La carga que empleaba la empresa encargada del servicio de voladura fue de 1000.00 kg por taladro generando un F.P. de 0.367 kg/t.

Figura 40

Diseño de carga teórica en zona de mineral – diciembre 2022



$$FP = 0.367 \text{ kg/t}$$

Nota, tomado Reporte de voladura diciembre 2022

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

- Tiempo entre taladros: 09 ms
- Tiempo entre filas :150 ms

Figura 41

Diseño de carga teórica en zona de mineral – diciembre 2022

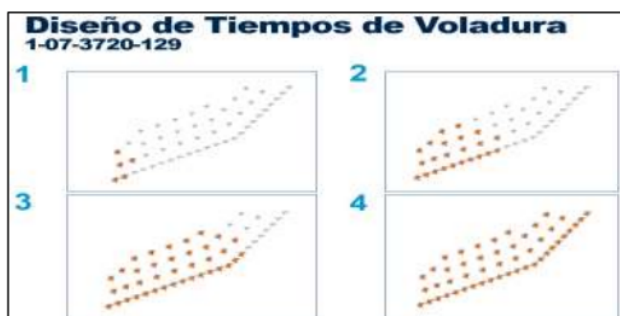


Nota, tomado *Reporte de voladura* – diciembre 2022

En la zona de mineral se mantuvo el desplazamiento de material y el apilamiento hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 42

Diseño de secuencia de salida proyecto en zona de mineral – diciembre 2022



Nota, tomado *Reporte de voladura* – diciembre 2022

4.1.3. Fragmentación

A continuación, se muestra el resumen mensual de la fragmentación realizada en el periodo de julio – diciembre del año 2022, dicha información esta agrupada en zona de mineral y zona de desmonte. Los registros que se tiene de la zona de desmonte son reducidos lo cual no permite tener una buena percepción de sus resultados en dicho periodo.

Zona de mineral

Se puede observar que en los meses de julio a octubre el porcentaje de finos se mantuvo por encima del 50,00% y ⁷⁵posteriormente en los meses de noviembre y diciembre estos estén por debajo de lo requerido por el cliente, cabe recalcar que para mineral en litología de Monzonita las mallas que utilizó la anterior empresa fueron de 7.70 m x 8.80 m y 6.00 x 7.0 m. No se cuenta con evidencia técnica que justifique la reducción de este indicador, pero en mi experiencia y lo que pude observar en algunos de sus reportes es que al encontrarse en zona de mineral específicamente en fondo de mina los taladros se encuentran saturados en agua lo cual genera que se produzca un derrumbe y se genere un taladro tapado el cual no será cargado con explosivo. Este podría ser un principal factor por el cual el porcentaje de finos estuvo por debajo de lo requerido.

Figura 43
Resumen mensual de fragmentación – zona de mineral

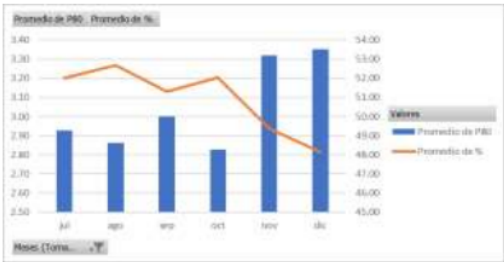


Tabla 5
Estadísticos P80 mineral julio - diciembre 2022

N	Válido	452
	Perdidos	0
Media		2.91
Error estándar de la media		0.03
Mediana		2.80
Moda		2.40
Desviación estándar		0.73
Varianza		0.53
Coefficiente de variación		0.2503

Tabla 6*Prueba de bondad de ajuste P80 mineral julio - diciembre 2022*

Distribución	Chi-cuadrado
Logarítmico normal	31.588
Extremo mínimo	289.690
Normal	82.106
Weibull	58.133

Tabla 7*Estadísticos de porcentaje de finos mineral julio - diciembre 2022*

5	Válido	452
N	Perdidos	0
Media		51.19
Error estándar de la media		0.18
Mediana		51.50
Moda		50.70
Desviación estándar		4.10
Varianza		16.80
Coeficiente de variación		0.0801

Tabla 8

39 *Prueba de bondad de ajuste porcentaje de finos mineral julio - diciembre 2022*

Distribución	Chi-cuadrado
Logística	38.1084
T de student	54.2729
Weibull	60.1196
Normal	67.4280

Zona de desmonte

En la zona de desmonte, sus resultados del P80 en promedio se mantuvo por debajo de 9.00 pulgadas, no se tiene con exactitud cual fue lo requerido por el cliente en su momento,

debido a que este material se utiliza para el relleno en el dique de relaves, actualmente lo requerido es que se tenga un P80 entre 10 a 12 pulgadas. También he de mencionar que en esta zona la litología presente fue de Caliza donde se utilizó una malla de 8.20 m x 9.40 m y en litología de Diorita una malla de 9.00 m x 10.40 m.

Figura 44

Resumen mensual de fragmentación – zona de desmonte



Tabla 9

Estadísticos P80 desmonte julio - diciembre 2022

7		
N	Válido	22
	Perdidos	0
Media		7.96
Error estándar de la media		0.22
Mediana		8.00
Moda		6.15
Desviación estándar		1.03
Varianza		1.06
Coefficiente de variación		0.1294

Tabla 10

Prueba de bondad de ajuste P80 desmonte julio - diciembre 2022

Distribución	Chi-cuadrado
Logarítmico normal	0.7273
Extremo mínimo	1.1818
Normal	1.6364
Weibull	2.0909

Tabla 11

Estadísticos porcentaje de finos desmonte julio - diciembre 2022

7 N	Válido	22
	Perdidos	0
Media		35.00
Error estándar de la media		1.60
Mediana		36.20
Moda		39.40
Desviación estándar		7.40
Varianza		54.90
Coeficiente de variación		0.2118

Tabla 12

39
Prueba de bondad de ajuste en % de finos desmonte julio - diciembre 2022

Distribución	Chi- cuadrado
Normal	0.2727
Triangular	1.1818
Uniforme	3.4545
Extremo máximo	3.9091

4.1.4. Ratio de excavación

Tabla 13

Estadísticos del ratio de excavación en zona de desmonte julio - diciembre 2022

N	5 Válido	1,614
	Perdidos	0
Media		9069
Error estándar de la media		34
Mediana		9,154
Moda		9,384
Desviación estándar		1,382
Varianza		1,909,959
Coeficiente de variación		0.1524

Tabla 14*Prueba de bondad de ajuste dig rate desmonte julio - diciembre 2022*

Distribución	Chi-cuadrado
Beta	44.81
Weibull	48.1115
Normal	64.5725
T de student	64.9294

Tabla 15*Estadísticos de dig rate mineral julio - diciembre 2022*

6 N	Válido	559
	Perdidos	0
Media		9,615
Error estándar de la media		54
Mediana		9,703
Moda		9,839
Desviación estándar		1,286
Varianza		1,654,610
Coefficiente de variación		0.1338

Tabla 16*Prueba de bondad de ajuste dig rate mineral julio - diciembre 2022*

Distribución	Chi-cuadrado
Beta	18.4687
Weibull	20.2791
Logística	29.4955
Normal	33.2809

4.2 Implementación del explosivo gasificado “HA73G EMULGEX”

4.2.1. Datos del explosivo

El nuevo servicio de voladura e implementación del uso del explosivo “HA73G EMULGEX” inicio a partir del día 01 de enero del año 2023, inicialmente se continuó utilizando ciertos parámetros de voladura precedentes de la anterior empresa que brindaba este servicio.

Según se fue obteniendo resultados durante las primeras semanas de esta implementación y observando que estos resultados obedecían a la predicción que se había realizado con el uso de los softwares especializados, se procede a hacer ajustes en ciertos parámetros de voladura, como, por ejemplo: factor de potencia, burden, espaciamiento, tiempo entre filas y tiempo entre taladros. Estos tiempos fueron ajustados según a la necesidad del cliente con el objetivo de maximizar los resultados post voladura y reducir los costos de esta.

A continuación, se mostrará como fue nuestro avance mes por mes de los primeros seis meses de trabajo con el nuevo servicio y explosivo.

Tabla 17

Datos del explosivo “HA73G EMULGEX”

Tipo	HA73G - EMULGEX	Unidad
VOD	5500 – 6000	m/s
Densidad	1.15 +/- 0.05	gr/cm3
Energía Absoluta en Peso	3,205	kJ/kg

4.2.2. Perforación y Voladura

A. Enero 2023

Zona de Mineral

56

En el mes de enero durante el primer mes de uso del explosivo “HA73G EMULGEX”, se continuó utilizando los parámetros de voladura que la empresa anterior vino utilizando y esto básicamente para poder ajustar nuestro modelo de voladura al macizo rocoso de la empresa minera en estudio.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

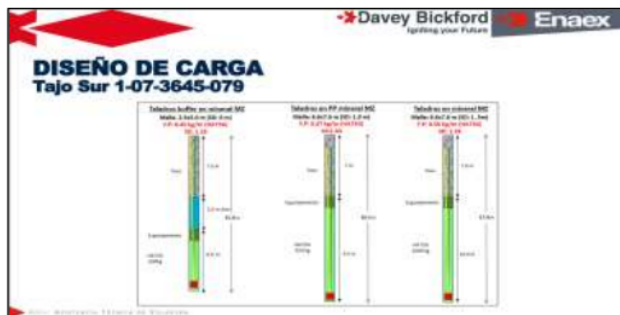
Burden: 6.60 metros

Espaciamiento: 7.60 metros

La carga promedio por taladros de producción fue de 1000 kg generando un factor de potencia de 0.542 kg/t.

Figura 45

Diseño de carga teórica en zona de mineral – enero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – enero 2023

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 25 ms

Figura 46

Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – enero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – enero 2023

El desplazamiento de material y el apilamiento de este proyecto fue en dirección hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 47

Desplazamiento de material quebrado en zona de mineral – enero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – enero 2023

Zona de Desmonte

Para el mes de enero se continuo con los parámetros de voladura se mantuvieron con la configuración utilizada por la anterior empresa hasta poder establecer y conformar nuestro modelo de voladura.

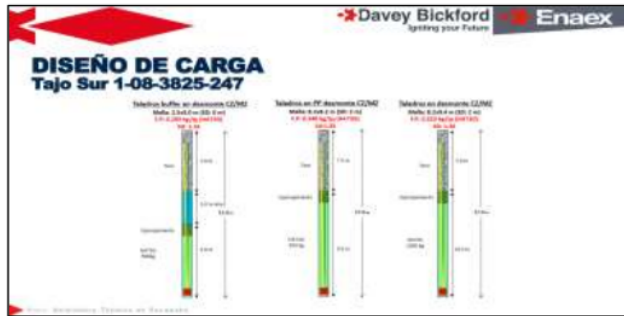
La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 8.20 m

Espaciamiento: 9.40 m

Figura 48

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – enero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – enero 2023

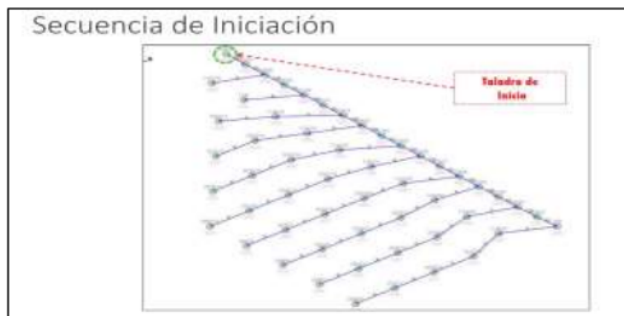
Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 09 ms

Figura 49

Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – enero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – enero 2023

El desplazamiento de material y el apilamiento de este proyecto fue en dirección hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 15 ms

Figura 52

Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – febrero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – febrero 2023

El desplazamiento de material y el apilamiento de este proyecto fue en dirección hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 53

Desplazamiento de material quebrado en zona de mineral – febrero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – febrero 2023

Zona de desmonte

Para el mes de febrero en voladuras en zona de desmonte se continuó utilizando los parámetros de voladura establecidos por la anterior empresa encargada del servicio de voladura.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 8.70 m

Espaciamiento: 10.00 m

En este proyecto deciden ampliar un poco la malla porque existe presencia de diorita siendo una roca menos competente.

Figura 54

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – febrero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – febrero 2023

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 19 ms

Figura 55

Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – febrero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – febrero 2023

El desplazamiento de material y el apilamiento de este proyecto fue en dirección hacia la cara libre para asegurar y mantener el minado de la pala de carguío.

Figura 56

Desplazamiento de material quebrado en zona de desmonte – febrero 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – febrero 2023

C. Marzo 2023

Zona de mineral

Para el mes de marzo en voladuras en zona de mineral se realizó la ampliación de malla con respecto a la malla de 6.60 x 7.60 m, que se venía utilizando y esto básicamente por los buenos resultados de fragmentación que se obtuvo.

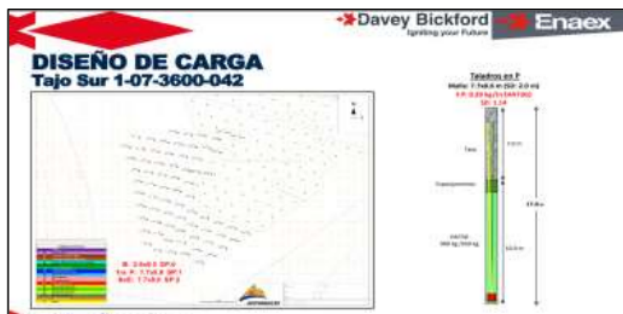
La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 7.70 m

Espaciamiento: 8.80 m

Figura 57

Diseño de carga teórica en zona de mineral – marzo 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – marzo 2023

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 13 ms

Figura 58

Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – marzo 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – marzo 2023

Zona de desmonte

Para el mes de marzo en voladuras en zona de desmonte específicamente en litología de Caliza se realizó la ampliación de malla con respecto a la malla de 8.20 x 9.40 m, que se venía utilizando y esto básicamente por los buenos resultados de fragmentación que se obtuvo.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 9.00 m

Espaciamiento: 10.40 m

Figura 59

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – marzo 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – marzo 2023

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 13 ms

Figura 60

Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – marzo 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – marzo 2023

D. Abril 2023

Zona de mineral

Para el mes de abril en voladuras en zona de mineral se estandarizó la malla de perforación por los continuos resultados que permitieron llegar al objetivo propuesto por el cliente.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 7.70 m

Espaciamiento: 8.80 m

Figura 61

Diseño de carga teórica en zona de mineral – abril 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – abril 2023

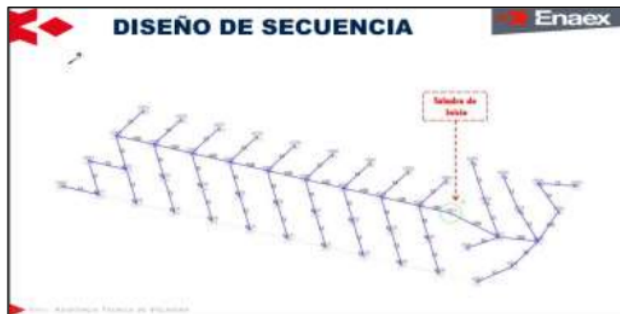
Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 13 ms

Figura 62

Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – abril 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – abril 2023

Zona de desmonte

Para el mes de abril en voladuras en zona de desmonte en litología de Caliza se estandarizó la malla de perforación por los continuos resultados que permitieron llegar al objetivo propuesto por el cliente.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 9.00 m

Espaciamiento: 10.40 m

Figura 63

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – abril 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – abril 2023

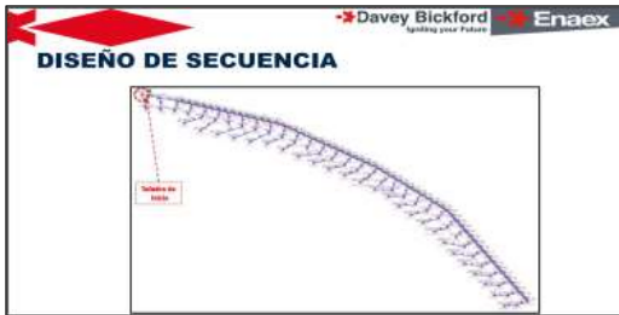
Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 13 ms

Figura 64

Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – abril 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – abril 2023

E. Mayo 2023

Zona de mineral

Para el mes de mayo las voladuras en zona de mineral se configuraron según la estandarización prevista el mes anterior junto al cliente.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 7.70 m

Espaciamiento: 8.80 m

Figura 65

Diseño de carga teórica en zona de mineral – mayo 2023



Nota, tomado *Reporte de voladura* – mayo 2023

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 13 ms

Figura 66

Diseño de secuencia de iniciación en zona de mineral – mayo 2023



Nota, Reporte de voladura – mayo 2023

Zona de desmonte

Para el mes de mayo las voladuras en zona de desmonte específicamente en litología de Diorita, una roca menos competente que la Caliza es por ese motivo que se decide ampliar la malla de 9.00 x 10.40 que se estandarizo para la litología de Caliza.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 10.00 m

Espaciamiento: 11.50 m

Figura 67

Diseño de carga teórica en zona de desmonte – mayo 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – mayo 2023

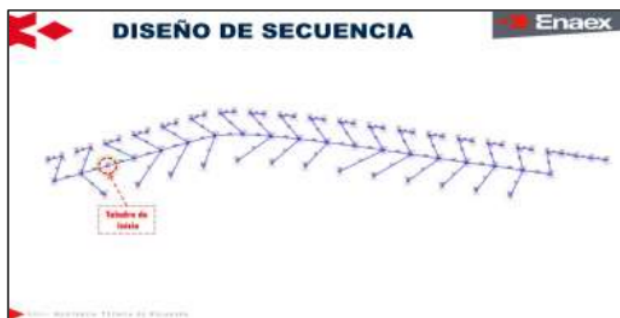
Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 13 ms

Figura 68

Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – mayo 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – mayo 2023

F. Junio 2023

Zona de mineral

Para el mes de junio las voladuras en zona de mineral se configuraron según la estandarización prevista el mes de abril junto al cliente.

La malla de perforación que se utilizó en los taladros de producción fue la siguiente:

Burden: 7.70 m

Espaciamiento: 8.80 m

Figura 69

Diseño de carga teórica en zona de mineral – junio 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – junio 2023

Los tiempos de retardos que se utilizaron en el diseño de secuencia para este proyecto fueron los siguientes:

Tiempo entre taladros: 124 ms

Tiempo entre filas: 09 ms

Tiempo entre taladros: 150 ms

Tiempo entre filas: 13 ms

Figura 72

Diseño de secuencia de iniciación en zona de desmonte – junio 2023



Nota, tomado Reporte de voladura – junio 2023

4.2.3. Fragmentación

Durante los primeros seis meses de trabajo utilizando el explosivo gasificado “HA73G EMULGEX”, se tuvieron buenos resultados dentro de lo requerido y sugerido por el cliente, además de que se pudo ampliar la malla de perforación generando un ahorro en el costo de perforación, una disminución del factor de potencia (reducción de mezcla explosiva) y menor consumo de accesorios de voladura.

Zona de mineral

En la zona de mineral se utilizó una malla de 7.7 x 8.8m con un factor de potencia promedio de 0.33 kg/t, es decir que se cargó aproximadamente 900 kg por taladro para poder obtener los resultados que se aprecian en la tabla 18.

Se puede ver que durante los primeros seis meses se obtuvo una media de 2.60 pulgadas de P80, este valor se encuentra dentro de lo requerido por el cliente.

Tabla 18*Estadísticos P80 MINERAL enero – junio 2023*

¹⁴ N	Válido	149
	Perdidos	0
Media		2.70
Error estándar de la media		0.10
Mediana		2.60
Moda		2.60
Desviación estándar		0.90
Varianza		0.80
Coeficiente de variación		0.3344

Tabla 19*Prueba de bondad de ajuste p80 mineral enero – junio 2023*

Distribución	Chi-cuadrado
Logarítmico normal	16.3356
Extremo máximo	16.6846
Gamma	28.8993
Logística	28.8993

¹² En la tabla 20, se muestra el promedio del porcentaje de finos obtenidos en zona de mineral durante los seis primeros meses de uso del explosivo gasificado “HA73G EMULGEX”, este valor se encuentra dentro del rango requerido por planta para un correcto procesado de este.

Tabla 20*Estadísticos %Finos MINERAL enero – junio 2023*

7 N	Válido	149
	Perdidos	0
Media		54.5
Error estándar de la media		0.51
Mediana		55.40
Moda		55.40
Desviación estándar		6.28
Varianza		39.50
Coeficiente de variación		0.1152

Tabla 21*Prueba de bondad de ajuste %finos mineral enero – junio 2023*

Distribución	Chi-cuadrado
T de Student	19.1275
Logística	25.2349
Weillbull	50.7114
Gamma	68.5101

Zona de desmonte

En la zona de desmonte se utilizó una malla de 9.00 x 10.40 m con un factor de potencia promedio de 0.233 kg/t en litología de caliza y en litología de diorita está siendo una roca menos competente se utilizó una malla de 10.00 x 11.50 con un factor de potencia promedio de 0.215 kg/t, es decir que se cargó aproximadamente 900 kg por taladro para poder ²⁶obtener los resultados que se aprecian en la tabla 22.

Se puede ver que durante los primeros seis meses se obtuvo una media de 7.40 pulgadas de P80, este valor se encuentra dentro de lo requerido por el cliente.

Tabla 22

Estadísticos P80 desmonte enero – junio 2023

6 N	Válido	311
	Perdidos	0
Media		7.40
Error estándar de la media		0.20
Mediana		7.30
Moda		5.20
Desviación estándar		2.70
Varianza		7.50
Coeficiente de variación		0.3726

Tabla 23

Prueba de bondad de ajuste P80 desmonte enero – junio 2023

Distribución	Chi-cuadrado
T de Student	15.2572
Logística	21.6238
Beta	22.3183
Normal	23.3601

Tabla 24*Estadísticos %Finos desmonte enero – junio 2023*

7 N	Válido	311
	Perdidos	0
Media		27.66
Error estándar de la media		0.65
Mediana		25.40
Moda		18.50
Desviación estándar		11.50
Varianza		132.36
Coeficiente de variación		0.4160

Tabla 25*Prueba de bondad de ajuste %finos desmonte enero – junio 2023*

Distribución	Chi-cuadrado
Beta	9.9325
Extremo máximo	16.4148
Gamma	16.8778

Ratio de excavación**Zona de mineral****Tabla 26***Estadísticos del ratio de excavación mineral enero - junio 2023*

6 N	Válido	558
	Perdidos	0
Media		9,827
Error estándar de la media		60
Mediana		9,941
Moda		10,188
Desviación estándar		1,409
Varianza		1,984,590
Coefficiente de variación		0.1434

Tabla 27*Prueba de bondad de ajuste del ratio de excavación mineral enero - junio 2023*

Distribución	Chi-cuadrado
Weibull	20.0502
Normal	30.8495
T de student	36.2079
Gamma	33.9821

Zona de desmonte

Tabla 28

Estadísticos del ratio de excavación en zona de desmonte enero - junio 2023

N	Válido	1,409
	⁶ Perdidos	0
Media		9,297
Error estándar de la media		37
Mediana		9,400
Moda		9,329
Desviación estándar		1,371
Varianza		1,880,100
Coeficiente de variación		0,1475

Tabla 29

Prueba de bondad de ajuste dig rate desmonte enero - junio 2023

Distribución	Chi-cuadrado
Beta	34.1299
Weibull	41.2725
Logarítmico Normal	63.7140
Normal	64.2931

4.3 Pruebas de Calidad del Explosivo Gasificado “HA73G Emulgex”

A. Control de gasificación del explosivo

El control de la gasificación de un explosivo es fundamental por varias razones:

- ²⁹ La gasificación es un proceso mediante el cual una materia orgánica se transforma en un gas combustible, durante la gasificación se debe controlar la densidad del explosivo. Diferentes niveles de gasificación pueden resultar en diferentes densidades del explosivo y generar un desbalance en el momento de la detonación.
- Una correcta gasificación del explosivo genera que exista un esponjamiento adecuado del explosivo en la columna del taladro, esto implica un ahorro de consumo de explosivo.
- Una gasificación adecuada del explosivo ayuda a disminuir o eliminar presencia de gases nitrosos al momento de la detonación.

Por estos motivos es que este control de gasificación se realizaría diariamente por los operadores de camión fabrica antes de comenzar con el carguío de la malla con el fin de garantizar la calidad de la mezcla explosiva.

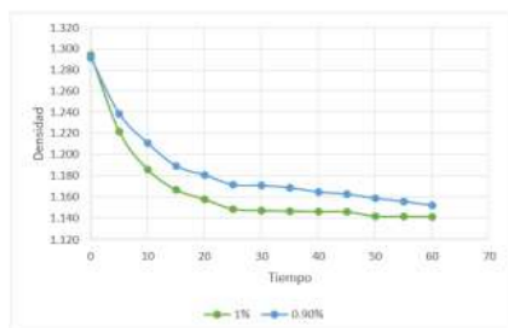
Tabla 30

Control de tiempo de gasificación según dosis de nitrito

Tiempo/dosis	1%	0.90%
0	1.295	1.292
5	1.222	1.239
10	1.186	1.211
15	1.167	1.190
20	1.158	1.181
25	1.149	1.172
30	1.147	1.171
35	1.147	1.169
40	1.146	1.165
45	1.146	1.163
50	1.142	1.159
55	1.142	1.156
60	1.142	1.152

Figura 73

Curva de gasificación según dosis de nitrito



Nota, tomado Reporte de QAQC ENAEX

Figura 74

Gasificación de muestra en campo



Nota, tomado de Prueba de campo mina Antapaccay

B. Control de absorción de petróleo

El ANFO ⁷² “Ammonium Nitrate Fuel Oil” es un agente explosivo que se utiliza para la formar la mezcla explosiva. Está compuesto por nitrato de amonio y un combustible que generalmente es el petróleo. Los porcentajes varían según el tipo de explosivo, el nitrato de amonio de la planta de Cachimayo ²⁸ se caracteriza por ser de baja densidad y alto en porosidad lo cual permite que exista una mayor absorción de petróleo.

Estas pruebas se realizan con frecuencia de cada 10 días en el mes para poder asegurar el performance del explosivo y que cumpla con las características mencionadas en su ficha técnica.

El promedio de los resultados del porcentaje de absorción de petróleo que se han obtenido es de 14.74%.

Figura 75

Prueba de absorción de petróleo



Nota, tomado de Informe de control de calidad ENAEX 2023

C. Control de Velocidad de detonación

La velocidad de detonación es la velocidad en la cual las ondas de detonación viajan desde el booster por medio y a través de toda la columna explosiva hasta la zona del taco, esta es una característica crucial para poder lograr una alto performance y resultado al momento de la detonación.

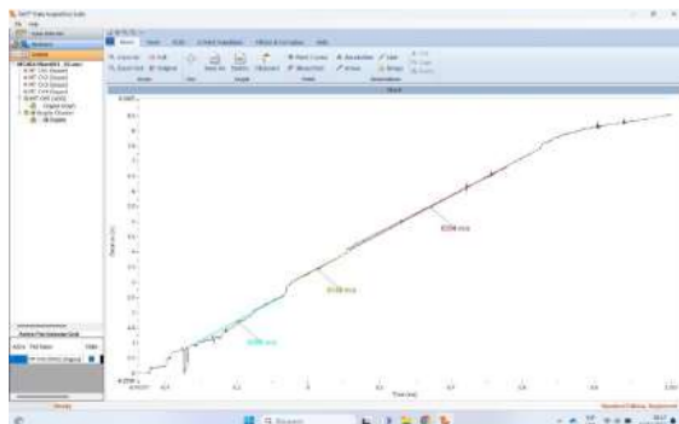
Estas pruebas se realizan con frecuencia de 1 vez cada 07 días en el mes, de tal forma que se pueda dar seguimiento oportuno a los resultados para mantener el performance del explosivo.

77

Los valores obtenidos en la medición de la velocidad de detonación fluctúan desde 6149 a 6385 m/s, estos valores se encuentran dentro de lo establecido en la ficha técnica del explosivo.

Figura 76

Prueba de velocidad de detonación del explosivo



Nota, tomado de Informe de performance del explosivo ENAEX, junio 2023.

10

4.4 Prueba de Hipótesis

4.4.1 Prueba de Hipótesis General

Hipótesis general de trabajo

H0: El ratio de excavación de las palas de carguío **NO** mejora mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco, 2023.

H1: El ratio de excavación de las palas de carguío mejora mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco, 2023.

Discusión

De acuerdo con el apartado 4.1, 4.2, las tablas 13 y 15, que nos detallan un promedio del ratio de excavación de 9069 TMS/h en desmonte y 9615 TMS/h en mineral respectivamente, estos antes de la implementación del explosivo gasificado “HA73G Emulgex”. Y en comparación con los resultados después de la implementación de este explosivo, donde las tablas 26 y 28 nos muestran los promedios del ratio de excavación obtenidos de 9827 TMS/h

en mineral y 9297 TMS/h en desmonte. Se observa una mejora significativa del ratio de excavación de 198 TMS/h en desmonte y 212 TMS/h en mineral.

Decisión

Se acepta la hipótesis H1, por cuanto el ratio de excavación de las palas de carguío mejoro mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial.

CONCLUSIONES

1. En primer lugar, se concluye que el uso de explosivo gasificado “HA73G Emulgex” permitió que exista una mejora del ratio de excavación en las palas de carguío de la minera en estudio, esta mejora alcanza hasta un valor de 212 toneladas métricas secas por hora en zona de mineral lo cual representa aproximadamente a producir un camión Komatsu modelo 930E de capacidad de 290 toneladas, más por hora y por pala.
2. El desempeño y resultados del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” permitió evaluar, ejecutar y diseñar la malla de perforación utilizando el programa Opitblast, estandarizando los parámetros de perforación en mineral con un burden de 7.70 metros y espaciamiento de 8.80 metros y en zona de desmonte donde existen dos litologías predominantes, en Caliza se estableció un burden de 9.00 metros con un espaciamiento de 10.40 metros y en Diorita se estableció un burden de 10.00 metros con un espaciamiento de 11.50 metros.
3. Los controles de calidad realizados a la mezcla explosiva en campo y laboratorio son importantes para asegurarnos y mantener la calidad y el performance del explosivo. Una mezcla adecuada nos permite alcanzar un nivel óptimo de energía al momento de la detonación de esta manera aprovechando toda la mezcla existente en la columna explosiva para que se pueda alcanzar la fragmentación adecuada y esta pueda favorecer la excavación de la pala de carguío.
4. Los resultados obtenidos en las muestras de fragmentación tomadas diariamente ¹¹ en los frentes de minado de las palas de carguío nos dieron resultados adecuados los cuales están cumpliendo con los requisitos del cliente. Cabe mencionar que estos resultados no se han visto afectados posterior a la ampliación de malla que se realizó y a la reducción del factor de potencia. Los requisitos en zona de mineral fue obtener un P(80) menor a 03 pulgadas y un porcentaje de finos en un rango de 50 a 60%. En zona de desmonte se tiene como requisito mantener un P(80) menor a 12 pulgadas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para un análisis más exhausto del ratio de excavación de palas de carguío se haga un seguimiento in situ del avance de minado y como es que son las características de su frente. Esto para identificar si la pala contaba con todas las condiciones operativas para su buen desempeño como, por ejemplo: altura de banco adecuada, ángulo de giro, minado en rampa, minado en cresta y/o realizando remate de material remanente. Esto permitirá tener indicadores más acordes a las condiciones de trabajo de las palas de carguío.
2. La empresa contratista encargada del servicio de voladura debe dar un seguimiento en campo al empalme de proyectos de voladura con la finalidad que el espaciamiento que exista entre la cara libre y el primer taladro del proyecto sea el adecuado para que esto no afecte a la fragmentación y al avance de minado de la pala de carguío.
3. Se debe dar aviso la existencia de taladros tapados o derrumbados por condiciones del terreno u otras que puedan generar desviaciones en la fragmentación y esta pueda afectar al avance de minado de la pala de carguío. Este aviso debe realizarse con el area de planeamiento de tal forma que se realicen taladros de ayuda aledaños a los taladros tapados.
4. Los estudios futuros que se realicen sobre el ratio de excavación deben considerar la variabilidad de la fragmentación entre los taladros en buffer, taladros en producción y taladros ubicados en la cresta del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arzapalo, H., & Rodrigo, K. (2022). Aplicación De La Nueva Solución Acuosa De Nitrato Gasificable Para Optimizar Las Voladuras Primarias De La Fase 1-2 Del Tajo Toromocho-Minera Chinalco Perú Sa.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería.
- Blastware. (s/f). Instantel.com. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://www.instantel.com/resource/blastware>
- Davey Bickford. (2019). Manual de Usuario DT SP-UG Pack48. Francia.
- Empresa Nacional de Explosivos. (2024). *Nuestros Servicios*.
- Empresa Nacional de Explosivos. (30 de junio de 2023). *Nuestros Productos*. <https://www.enaex.com/pe/es/nuestros-productos/>
- Esen, S., Daniel, M., Dzhabolov, B., Bachramov, B., Geronimo, J., & Kalmatayev, A. Drill-To-Mill Plant Optimization At Altynalmas Pustynnoye Gold Mine.
- Features. (s/f). Igneous.Tech. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://paradigm.igneous.tech/features.html>
- <https://www.enaex.com/pe/es/nuestros-servicios/>
- Kaba, F. A., Temeng, V. A., & Eshun, P. A. (2016). Application of discrete event simulation in mine production forecast. *Ghana Mining Journal*, 16(1), 40-48.
- Manual. (s/f). O-pitblast.com. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://downloads.o-pitblast.com/>
- Minimate pro. (s/f). Instantel.com. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://www.instantel.com/products/minimate-pro>

- Salahudin, S., & Putri, M. (2020). ¹⁷ Advance Technology Electronic Detonator For Blast Efficiency And Safe Environment. Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhapi, 469-478.
- Scherpenisse, C. (2005). Monitoreo y Modelamiento de Vibraciones para el control y evaluación del daño por Voladuras. curso Voladura–Lima.
- Sensors & accessories. (s/f). Instantel.⁸com. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://www.instantel.com/products/sensors-accessories>
- Sueros Lezama, C. H. ¹¹ (2021). Implementación De Emulsiones Energéticas Fortis Extra. En Roca Traquita.
- ¹⁵ Ugaz Castañeda, C. A. (2020). Influencia Económica Por La Aplicación De La Emulsión Gasificada Sang Apu En Los Taladros De Voladura De Minera Coimolache Sa.

- ANEXOS

22
- ANEXO I MATRIZ DE CONSISTENCIA

PREGUNTAS		OBJETIVOS		HIPÓTESIS		METODOLOGÍA	
General		General		General		Tipo: Aplicada	
¿Es factible mejorar el ratio de excavación de las palas de carguío mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco?		Mejorar el ratio de excavación de las palas de carguío mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco, 2023.		El ratio de excavación de las palas de carguío mejorara mediante el uso del explosivo gasificado “HA73G Emulgex” en voladuras de minería superficial en la región Cusco, 2023.		Nivel: Descriptivo tecnológico y comparativo Método: El método a usar será el Método Científico. Diseño: Diseño cuasi experimental	
	Específicos	Específicos		Específicos		Población: La población está constituida por las voladuras entre los meses de enero a junio de 2023 el tajo sur de la mina Antapaccay del distrito de Espinar. Muestra: La muestra será las voladuras de producción representando estas el 93% de las voladuras realizadas en el tajo sur en zona de desmonte y zona de mineral. Técnicas: Las técnicas por utilizar serán la documentaria y la observación. Para la primera nos centraremos en las bases de datos que dispone la operación mina, y para la segunda utilizaremos una lista de chequeo para poder determinar si se cumplió o no el procedimiento normal de la actividad de perforación y voladura.	
¿Es posible diseñar la malla de perforación y secuencia de disparo utilizando el programa Opitblast de tal manera que cumpla con los requisitos operativos?		Diseñar la malla de perforación y secuencia de disparo utilizando el programa Opitblast de tal manera que cumpla con los requisitos operativos.		Diseñar la malla de perforación y secuencia de disparo utilizando el programa Opitblast de tal manera que cumpla con los requisitos operativos, es posible.			
	Específicos	Específicos		Específicos			
¿El factible realizar el control de calidad de la mezcla explosiva a través de pruebas como: absorción de petróleo, gasificación y velocidad óptima de detonación?		Realizar el control de calidad de la mezcla explosiva a través de pruebas como: absorción de petróleo, gasificación y velocidad óptima de detonación.		Realizar el control de calidad de la mezcla explosiva a través de pruebas como: absorción de petróleo, gasificación y velocidad óptima de detonación, es posible.			
	Específicos	Específicos		Específicos			
¿Es posible obtener una fragmentación P(80) y porcentaje de finos dentro del objetivo propuesto?		Obtener una fragmentación P(80) y porcentaje de finos dentro del objetivo propuesto.		Obtener una fragmentación P(80) y porcentaje de finos dentro del objetivo propuesto, es posible.			
	Específicos	Específicos		Específicos			

Mejora del ratio de excavación de las palas de carguío mediante el uso del explosivo gasificado HA73G Emulgex en voladuras de minería superficial, Región Cusco, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	9%	1%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJO DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsaac.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
2	www.enaex.com	<1%
	Fuente de Internet	
3	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1%
	Trabajo del estudiante	
4	repositorio.undac.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
6	www.scribd.com	<1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.upla.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.puce.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	

9	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
10	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
11	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
14	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
15	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	www.prosiding.perhapi.or.id Fuente de Internet	<1 %
18	S. P. Upadhyay, M. Tabesh, M. M. Badiozamani, A. Moradi Afrapoli, H. Askari-Nasab. "A simulation-based algorithm for solving surface mines' equipment selection and sizing problem under uncertainty", CIM Journal, 2021 Publicación	<1 %

19	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
22	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad de Huanuco Trabajo del estudiante	<1 %
24	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	www2.uca.es Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.uia.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1 %
28	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	www.200lafontine.xyz Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

31	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
34	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %
35	Submitted to Universidad Dr. José Matías Delgado Trabajo del estudiante	<1 %
36	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
39	aprenderly.com Fuente de Internet	<1 %
40	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.ulasalle.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

<1 %

43

repositorio.uti.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

44

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

45

prezi.com

Fuente de Internet

<1 %

46

repositorio.sociales.uba.ar

Fuente de Internet

<1 %

47

www.clusteraudiovisualgalego.com

Fuente de Internet

<1 %

48

Submitted to Universidad Rey Juan Carlos

Trabajo del estudiante

<1 %

49

cloud.google.com

Fuente de Internet

<1 %

50

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

51

repositorio.unbosque.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

52

rodin.uca.es

Fuente de Internet

<1 %

53

www.blackstormnetworks.com

Fuente de Internet

<1 %

54

www.grafiati.com

Fuente de Internet

<1 %

55

www.medwave.cl

Fuente de Internet

<1 %

56

www.veintepies.com

Fuente de Internet

<1 %

57

Jorge García Ivars. "OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DE ULTRAFILTRACIÓN DE BAJO ENSUCIAMIENTO Y ESTUDIO DE CONDICIONES DE FABRICACIÓN", Universitat Politecnica de Valencia, 2015

Publicación

<1 %

58

catalonica.bnc.cat

Fuente de Internet

<1 %

59

repositorio.ucc.edu.ni

Fuente de Internet

<1 %

60

repositorio.unitec.edu

Fuente de Internet

<1 %

61

www-pub.iaea.org

Fuente de Internet

<1 %

62

www.ceseand.cica.es

Fuente de Internet

<1 %

63

www.dynonobel.com

Fuente de Internet

<1 %

64

www.przetargi.info

Fuente de Internet

<1 %

65

biblioteca.usac.edu.gt

Fuente de Internet

<1 %

66

dspace.unach.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

67

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

68

pdfcoffee.com

Fuente de Internet

<1 %

69

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

70

repositorio.upagu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

71

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

72

sqcifertilizantes.com

Fuente de Internet

<1 %

73

upcommons.upc.edu

Fuente de Internet

<1 %

74

vibdoc.com

Fuente de Internet

<1 %

75

www.buin.le.cl

Fuente de Internet

<1 %

76

www.serviciografologico.unlugar.com

Fuente de Internet

<1 %

77

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado