UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

"OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE LA FASE 7 Y 8 CON LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G APU, MINA CUAJONE"

PRESENTADO POR:

BACH. CALDERÓN VILLALOBOS DANY MABEL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERU

2021

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA — UNAM SECRETARIA GENERAL

Folio N° 014

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCION DE FACULTAD N° 013- 2021 - FACIA - UNAM

Fecha: 06.08.2021

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:
"OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE LA FASE 748 CON LA APLICACCIÓN DE LA EMULSION GASIFICABLE SAN-6 APU, MINA CUAJONE"

Bachiller: DANY MABEL CALDERÓN VILLALOBOS

Asesor Principal: MSC. CHRIST JESUS BORRIGA PARIA

Co-Asesor : -

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [ ] Virtual [X]

Con nota: TRECE (13) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 9:15 horas, del 11 de AGOSTO del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SOLAS
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
JOSE ORLANDO QUINTANA QUISPE
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
DANY MABEL CALDERÓN VILLALOBOS
(Nombres y Apellidos)

D

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

"OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE LA FASE 7 Y 8 CON LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G APU, MINA CUAJONE"

Tesis sustentada y aprobada el 11 de agosto del 2021, estando los jurados dictaminadores y asesor integrados por:

PRESIDENTE : .....
MSc. Jorge Luis Tomas Florez Salas

PRIMER MIEMBRO : .....
MSc. Agapito Flores Justo

SEGUNDO MIEMBRO : .....
MSc. José Orlando Quintana Quispe

ASESOR PRINCIPAL : .....
MSc. Christ Jesús Barriga Paria

DEDICATORIA

A Dios por la salud, su bondad y amor infinito.

A mis padres: Segundo y Bremilda, a mis hermanos, sobrinos y a todas aquellas personas que me apoyaron en mi formación y desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela profesional de Ingeniería de Minas por los conocimientos brindados durante mis 5 años de formación académica.

A la empresa FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. por la oportunidad brindada para realizar este trabajo de investigación, en especial al Ing. Telly Zúñiga, Ing. Aldo Orellana, y a Mariano Silva por el apoyo incondicional, los aportes y sugerencias brindadas para la realización de este trabajo.

Al Ing. Javier Salazar Múñoz, por el apoyo brindado en todo momento y por sus enseñanzas como docente.

Al Sr. Oswaldo Chong, por su amistad y sus siempre atinados consejos.

Al Msc. Ing Christ Barriga Paria y al Ing. Marcelo Barrios Caccya, por el apoyo brindado en el asesoramiento del presente trabajo de investigación.

A los catedráticos de la Escuela de Ingeniería de Minas por sus orientaciones y por contribuir en mi formación académica.

RESUMEN

La emulsión gasificable SAN-G APU está compuesta por 100% de emulsión y solución gasificante, y nace como respuesta a la necesidad de los clientes del sector de disponer de un producto eco amigable y que, al mismo tiempo, maximice la productividad en el proceso con un menor costos de operación, esta nueva tecnología ofrece solución a las compañías mineras más importantes del país porque el producto ofrece una mayor VOD, mejora la fragmentación, mínima aparición de humos naranjas y menores costos que las mezclas explosivas tradicionales. En mina Cuajone se viene utilizando la mezcla explosiva comercial "Q" 73 (compuesta de 70% de emulsión y 30% de ANFO, el 30% de ANFO está compuesto de un 97% nitrato de amonio y 3% de diésel) y la mezcla explosiva comercial "Q" 82 (compuesta de 80% de emulsión y 20% de ANFO, el 20% de ANFO está compuesto de un 97% nitrato de amonio y 3% de diésel). El objetivo principal del presente trabajo de investigación es el de evaluar el desempeño de la mezcla explosiva SAN-G APU tanto en el aspecto técnico como económico, para ello se realizaron una prueba de 7 voladuras en zona de desmonte en taladros de diámetro $12\frac{1}{4}$ inch., en rocas: Toba Cristal (TC), Andesita Basáltica Propílica (BA-PRO), Andesita Basáltica Argílica (BA-ARG). Se evaluó el factor de potencia, la fragmentación, velocidad de detonación (VOD) y se realizó un análisis económico. Los resultados de esta evaluación serán comparados con los obtenidos usando la mezcla explosiva del actual proveedor. En líneas generales durante el período de prueba usando la SAN-G APU se obtuvo resultados favorables, se logró reducir el factor de potencia en un 1.32%, se consiguió una fragmentación (P80) que se encuentra dentro del tamaño requerido por mina, la velocidad de detonación (VOD) promedio de la SAN-G APU con respecto a la mezcla explosiva comercial "Q" 73 y mezcla explosiva comercial "Q" 82 fue mayor en 9.92% y 0.59%, respectivamente. Durante el periodo de pruebas técnicas con respecto a la mezcla explosiva comercial "Q" 82 se alcanzó un ahorró de $ 22,828.56 y mezcla explosiva comercial "Q" 73 se ahorró $ 20,251.14 lo cual nos indica que económicamente es viable la aplicación de la emulsión SAN-G APU. Se minimizó la presencia de humos naranjas, teniendo como nivel de humos igual a cero del total de taladros disparados.

Palabras clave: Emulsión gasificable, fragmentación, velocidad de detonación.

ABSTRACT

The SAN-G APU gasifiable emulsion is made up of 100% emulsion and gasifying solution, and was born in response to the need of sector customers for an eco-friendly product that, at the same time, maximizes productivity in the process. With lower operating costs, this new technology offers a solution to the most important mining companies in the country because the product offers a higher VOD, improves fragmentation, minimal appearance of orange fumes and lower costs than traditional explosive mixtures. The Cuajone mine has been using the commercial explosive mixture "Q" 73 (composed of 70% emulsion and 30% ANFO, 30% of ANFO is composed of 97% ammonium nitrate and 3% diesel) and the mixture commercial explosive "Q" 82 (composed of 80% emulsion and 20% ANFO, 20% of ANFO is composed of 97% ammonium nitrate and 3% diesel). The main objective of this research work is to evaluate the performance of the explosive mixture SAN-G APU both in the technical and economic aspects, for this, a test of 7 blasts was carried out in the waste area in holes of diameter $12\frac{1}{4}$ inch., in rocks: Tuff Cristal (TC), Basalt Propyl Andesite (BA-PRO), Basalt Argilic Andesite (BA-ARG) h. Power factor, fragmentation, velocity of detonation (VOD) were evaluated and an economic analysis was performed. The results of this evaluation will be compared with those obtained using the explosive mixture from the current supplier. In general lines, during the test period using the SAN-G APU, favorable results were obtained, it was possible to reduce the power factor by 1.32 %, a fragmentation (P80) was achieved that is within the size required by mine, the speed average detonation (VOD) of the SAN-G APU with respect to the commercial explosive mixture "Q" 73 and commercial explosive mixture "Q" 82 was higher by 9.92% and 0.59%, respectively. During the period of technical tests with respect to the commercial explosive mixture "Q" 82, savings of $ 22,828.56 were achieved and commercial explosive mixture "Q" 73 saved $ 20,251.14, which indicates that the application of the SAN-G APU emulsion is economically viable. The presence of orange fumes was minimized, having as a level of fumes equal to zero of the total of drilled holes.

Key words: Gasificable emulsion, fragmentation, detonation velocity

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA……i
AGRADECIMIENTO……ii
RESUMEN……iii
ABSTRACT……iv
CONTENIDO……v
LISTA DE ABREVIATURAS……xii
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN……1
1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA……1
1.1.1 Interrogante General……1
1.1.2 Interrogantes Específicas……2
1.2 ANTECEDENTES……2
1.2.1 Antecedentes internacionales……2
1.2.2 Antecedentes nacionales……3
1.2.3 Antecedentes locales……4
1.3 OBJETIVOS……4
1.3.1 Objetivo General……4
1.3.2 Objetivos Específicos……5
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA……5
1.5 HIPÓTESIS……6
1.5.1 Hipótesis General……6
1.5.2 Hipótesis Específicas……6
1.5.3 Variables……6
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO……9
2.1 BASES TEÓRICAS……9
2.1.1 Ubicación del proyecto……9
2.1.2 Accesibilidad……9
2.1.3 Clima……9
2.1.4 Geología……10

2.1.5 Fallas regionales 12
2.1.6 Litología 13
2.1.7 Geotecnia 15
2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 19
2.2.1 Minería a tajo abierto 19
2.2.2 Voladura de rocas 19
2.2.3 Explosivos 20
2.2.4 Características y propiedades de desempeño de los explosivos 21
2.3 AGENTES DE VOLADURA 24
2.3.1 ANFO 24
2.3.2 ANFO Pesado 24
2.3.3 Emulsión 25
2.3.4 Emulsión gasificante 26
2.3.5 Emulsión gasificable SAN-G APU 27
2.3.6 Sensibilización y gasificación de la emulsión SAN-G APU 29
2.3.7 Solución gasificante 30
2.3.8 Factores que afectan la gasificación 31
2.3.9 Fabricación de la emulsión gasificada en campo 31
2.3.10 Fragmentación de roca 32
3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 34
3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 34
3.1.1 Tipo de investigación 34
3.1.2 Diseño de la investigación 34
3.1.3 Nivel de la investigación 36
3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 36
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA 37
3.3.1 Población 37
3.3.2 Muestra 37

3.4 PROCEDIMIENTO 38
3.4.1 Descarga y abastecimiento de agentes de voladura al camión fábrica. 38
3.4.2 Traslado del camión fábrica al proyecto de voladura 40
3.4.3 Primado de taladros 42
3.4.4 Carguío de taladros 43
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 46
3.5.1 Técnica de recolección 46
3.5.2 Instrumentos 56
3.6 ANÁLISIS DE DATOS 56
3.6.1 Observación Directa 56
3.6.2 Tratamiento estadístico de datos 56
4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....57
4.1 CONTROL DE DENSIDADES 57
4.2 FACTOR DE POTENCIA 58
4.2.1 Factor de potencia de diseño 58
4.2.2 Factor de potencia usado 68
4.3 ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN 70
4.3.1 Velocidad de excavación o dig rate 72
4.4 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN (VOD).....77
4.5 NIVEL DE GASES.....82
4.6 ANÁLISIS ECONÓMICO.....83
4.6.1 Análisis de costos durante periodo de pruebas SAN-G APU vs MEQ 82 84
4.6.2 Análisis de costos durante periodo de pruebas SAN-G APU vs MEQ 73 85
4.6.3 Análisis anual de costo SAN-G APU vs MEQ 82 86
4.6.4 Análisis anual de costo SAN-G APU vs MEQ 73 86

5 CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS……88

5.1 FACTOR DE POTENCIA 88

5.2 FRAGMENTACIÓN (P80). 88

5.2.1 Velocidad de excavación y dig rate.....88

5.3 VELOCIDAD DE DETONACIÓN (VOD). 89

5.4 GASES NITROSOS 89

6 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES……90

7 CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES……92

8 REFERENCIAS……93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Operacionalización de variables* 8
Tabla 2 *Ruta de acceso a mina en estudio* 9
Tabla 3 *Clases RQD* 17
Tabla 4 *Clasificacion RMR básico* 17
Tabla 5 *Propiedades de la roca intacta y macizo rocoso* 18
Tabla 6 *Escala de clasificación por grado de toxicidad* 23
Tabla 7 *Densidades según tipo de explosivo* 24
Tabla 8 *Dimensiones de los oxidantes en los explosivos* 26
Tabla 9 *Características técnicas del SAN-G APU* 28
Tabla 10 *Características de la solución gasificante* 30
Tabla 11 *Promedio de cada control de densidad por proyecto ejecutado del camión FAM 03* 57
Tabla 12 *Factor de potencia de los proyectos ejecutados* 70
Tabla 13 *Tabla de resumen P80* 71
Tabla 14 *Promedio P80 por fases y proyectos* 72
Tabla 15 *Análisis de velocidad de excavación del Proyecto 3565-0822-0823 pala 06* 73
Tabla 16 *Promedio velocidad de excavación vs P80* 74
Tabla 17 *Análisis de velocidad de excavación del proy. 3565-0827 pala 06* 75
Tabla 18 *Promedio del análisis de P80 y velocidad de excavación Famesa vs proveedor actual* 76
Tabla 19 *Cuadro resumen de VOD por cada proyecto ejecutado* 79
Tabla 20 *Promedio de VOD vs MEQ82 y MEQ 73* 80
Tabla 21 *Cuadro resumen de escala de gases nitrosos por cada proyecto ejecutado* 82
Tabla 22 *Costos de materias primas* 83
Tabla 23 *Costo de las mezclas explosivas por tonelada* 84
Tabla 24 *Ahorro con una proyección anual* 86
Tabla 25 *Ahorro con una proyección anual* 87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Clasificación de explosivos industriales rompedores* 20
Figura 2 *Influencia del diámetro sobre el VOD*..... 22
Figura 3 *Estructura del ANFO pesado* 25
Figura 4 *Diseño de carga con ANFO pesado y emulsión gasificable* 27
Figura 5 *Matriz SAN-G APU inerte gasificable*..... 29
Figura 6 *Sensibilizante (Solución N-30)* 29
Figura 7 *Reacción química entre la emulsión y gasificante* 30
Figura 8 *Fabricación de emulsión gasificable*..... 32
Figura 9 *Ubicación de la Unidad Minera Cuajone* 37
Figura 10 *Personal de mina colocando referencia*..... 50
Figura 11 *Tablet PortaMetrics*..... 50
Figura 12 *Personal de la mina usando sensor 3D*..... 51
Figura 13 *Imagen 3D* 51
Figura 14 *Análisis de tamaño de partículas*..... 52
Figura 15 *Instalación del MicroTrap*..... 53
Figura 16 *Medición de la VOD*..... 54
Figura 17 *Calificación visual Gases Nitrosos* 55
Figura 18 *Curva de gasificación camión FAM 03*..... 58
Figura 19 *Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3580-0833*..... 59
Figura 20 *Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3580-0822_0823*.... 60
Figura 21 *Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3355-0705*..... 61
Figura 22 *Cálculo de Factor de Potencia taladro producción Proyecto 3550-0801*..... 62
Figura 23 *Cálculo de Factor de Potencia taladro buffer Proyecto 3550-0801* 63
Figura 24 *Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3580-0831* 64
Figura 25 *Cálculo de Factor de Potencia taladro de producción Proyecto 3565-0827*..... 65
Figura 26 *Cálculo de Factor de Potencia taladro buffer Proyecto 3565-0827*..... 66

Figura 27 *Cálculo de Factor de Potencia taladro producción Proyecto 3565-0825*..... 67
Figura 28 *Cálculo de Factor de Potencia taladro buffer Proyecto 3565-0825*..... 68
Figura 29 *Factor de potencia promedio* 70
Figura 30 *P80 desmonte por fases y proyecto* 72
Figura 31 *P80 vs dig rate Proy. 3565-0822-0823 pala 06* 74
Figura 32 *Promedio velocidad de Excavación y P80* 75
Figura 33 *P80 vs dig rate proy. 3565-0827 pala 06*..... 76
Figura 34 *Promedio P80 y velocidad de excavación*..... 77
Figura 35 *VOD por Proyecto*..... 80
Figura 36 *Comparativo VOD SAN-G APU vs VOD ME Q82 y MEQ 73* 81
Figura 37 *Costo de las mezclas explosivas por tonelada* 84
Figura 38 *Ahorro de costos SAN-G APU vs MEQ 82*..... 85
Figura 39 *Ahorro de costos SAN-G APU vs MEQ 37*..... 85
Figura 40 *Ahorro de costo en proyección anual SAN-G APU vs MEQ 82* 86
Figura 41 *Ahorro de costo en proyección anual SAN-G APU vs MEQ* 73 87

LISTA DE ABREVIATURAS

Inch :Pulgada

$:Dólares

t :Tonelada métrica

m/s :Metros por segundo

Kg :Kilogramo

g/cc :Gramo por centímetro cúbico.

$/t :Dólares por tonelada

KWhr :Kilovatio-hora

t/hr :Tonelada por hora

kg/t : Kilogramo por tonelada

m :Metro

km :Kilometro

mm :Milímetro

cm :Centímetro

t/m^3 :Tonelada por metro cúbico

MPa :Megapascal

GPa :Gigapascal

m.s.n.m :Metros sobre nivel del mar

ohm/m :Ohmio por metro

HA :Heavy ANFO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La cadena de valor de la industria minero-metalúrgico empieza con las operaciones unitarias binomiales de perforación y voladura, y culmina con la obtención de los metales y/o concentrados. El presente trabajo de investigación está enfocado en el proceso de voladura, teniendo en cuenta que los explosivos son la energía más barata para fragmentar la roca se debe elegir la mejor mezcla explosiva para la optimización de esta operación.

La operación minera unitaria de voladura, para realizar un análisis y conocer que tan óptimo en su proceso, precisa de cotejar los resultados alcanzados aplicando diversas mezclas explosivas para los distintos parámetros dentro de sus operaciones. En consecuencia, se necesita un análisis extenso de las variables vinculadas a la operación unitaria de voladura, considerando de que el éxito de ese proceso depende del buen manejo de los mismos (Berto Zamora, 2019).

En la industria minera no solo se busca generar mayores ganancias, sino que también está la preocupación por el cuidado del medio ambiente y las poblaciones aledañas y; es por ello las empresas del sector se encuentran en una constante búsqueda de nuevas tecnologías. La emulsión gasificable SAN-G APU reúne las características necesarias para obtener buenos resultados post voladura tales como, mejorar la fragmentación de la roca, reducción de factor de potencia, minimizar y /o reducir el nivel de los gases nitrosos.

En el presente trabajo de investigación titulado “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA DE LA FASE 7 Y 8 CON LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G APU, MINA CUAJONE” realizado en el año 2019, se compararán los resultados obtenidos de las pruebas usando la emulsión gasificable SAN-G APU frente a la mezcla explosiva comercial “Q” 73 (MEQ 73) y mezcla explosiva comercial “Q” 82 (MEQ 82) y analizar cuál sería la mejor mezcla explosiva para optimizar el proceso de voladura.

1.1.1 Interrogante General

¿Cuál es el mejor explosivo que se debe usar para optimizar el proceso de voladura en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone?

1.1.2 Interrogantes Específicas

- ¿Aplicando la emulsión SAN-G APU se obtiene la granulometría homogénea en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone?

- ¿La aplicación de la emulsión de SAN-G APU influye sobre el factor potencia en la voladura en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone?

- ¿Con la aplicación de la emulsión SAN-G APU se obtiene una mejor velocidad de detonación?

- ¿Con la aplicación de la emulsión SAN-G APU se obtiene menores costos en el proceso de voladura?

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Antecedentes internacionales

Según Hernández Correa (2019), en su tesis "Estudio comparativo de la sobreexcavación en desarrollos horizontales con ANFO versus desarrollados con emulsión en la mina esmeralda, división El Teniente, Codelco Chile", para este estudio y aplicación de la emulsión se identifica el problema de sobreexcavación, por lo cual el principal objetivo de su investigación es minimizar la sobreexcavación y en consecuencia reducir los costos en esta operación minera, pues, existe una relación directa entre la sobreexcavación y el consumo de explosivos, el investigador concluye que utilizando el ANFO se obtuvo una sobreexcavación de 30.19% y utilizando la emulsión se obtuvo un 18%, generando una disminución considerable de un 12.19%.

Según De la Ossa Jiménez (2019), en su monografía "Estrategia de prevención, control y mitigación de las emisiones atmosféricas provenientes de actividades de explotación minera de carbón a cielo abierto", precisa que uno de los problemas en la operación de voladura de la minería de carbón es la emisión de material particulado, es por ello que se busca, prevenir, controlar y mitigar las emisiones producto de esta actividad, para ello busca alternativas y productos que contribuyan a lograr este propósito, los resultados que se obtenidos usando la mezcla explosiva gasificada Quantex 73, no se generó gases nitrosos y económicamente se logró un ahorro de 10% por

tonelada de material fragmentado comparándolo con el explosivo que se usa en mina cerrajón.

Según Pereira de Freitas & Souza Moraias (2020), en su trabajo de investigación titulado "Comparação da eficiência entre os explosivos emulsão bombeada e ANFO no processo de desmonte de rochas" menciona que el objetivo principal del trabajo de investigación es identificar los privilegios técnicos del uso de la emulsión bombeada en comparación con el ANFO granulado, y que brinda mayor costo beneficio durante el desmantelamiento de cuerpos rocosos realizado con explosivos, los investigadores concluyen que durante el proceso de prueba de la emulsión frente al ANFO se generaron ganancias de 76,58 1.91 Reales, garantizando un ahorro anual de 900,000.00 Reales.

1.2.2 Antecedentes nacionales

Según Berto Zamora (2019), en su tesis "Análisis del uso de emulsión gasificable SAN-G APU para optimizar la fragmentación de voladuras primarias-Compañía Minera Antamina S.A. - Huaraz", precisa que la finalidad principal de la de investigación es la de cotejar el ANFO 73 respecto a la emulsión gasificable SAN-G APU, lográndose una disminución del factor de potencia en un 3.5%, aplicando la SAN-G APU los costos disminuyeron en un 8.42 % y post voladura no hubo presencia de gases nitrosos.

Según Alcalde Ruiz (2019) en su tesis "Emulsión gasificada en reemplazo del Heavy ANFO para reducir el P80 en la fragmentación e incrementar la productividad en carguío, acarreo y chanchado en mina Shougang Hierro Perú", su trabajo de investigación está enfocado en la comparación de la aplicación del Heavy ANFO 55 frente a la emulsión gasificable SAN-G APU, el investigador concluye que empleando la emulsión gasificada SAN-G APU se alcanzó reducir un 24.1% la fragmentación con respecto al uso de HA 55 en consecuencia se logró un incremento en la productividad en los procesos de carguío, acarreo y chancado del 4.2%, 6.3% y 3.2% respectivamente.

Según Tenorio Acuña & Palma Jambo (2019) en su tesis "Influencia de la emulsión gasificable SAN-G y HA 73 G en la fragmentación de la roca en Chaviña, Ayacucho - 2018", la finalidad de la investigación fue el estudio para conocer la influencia que tiene la emulsión gasificable SAN-G y Heavy Anfo 73 G en la fragmentación de la roca, concluyendo que todos los proyectos de voladura cargados con la mezcla explosiva SAN-G consiguieron mejor factor de potencia (0.42 a 0.55 kg/t), a pesar de ello se consiguió un

P80 promedio con granulometría de 3.76 inch mayor al P80 requerido por mina (2.50 inch); mientras que todos los proyecto de voladura cargados y ejecutados con Heavy Anfo 73 G dieron como resultado un factor de potencia de 0.48 a 0.61 kg/t, obteniéndose un P80 promedio de 2.84 inch, valor cercano al requerido por mina. La velocidad de detonación que se logró con el uso de la SAN-G se encontró en el intervalo de 4,958 m/s a 5,343 m/s con un promedio de 5,143 m/s aplicando una densidad promedio de 1.05 g/cc. La velocidad de detonación que logró obtener el Heavy Anfo 73 G estuvo en el intervalo de 5,082 m/s a 5,215 m/s con un promedio de 5,148.50 m/s aplicando una densidad promedio de 1.08 g/cc. El costo de voladura promedio que se logró con la mezcla explosiva SAN-G está en 0.22 $/t por debajo del costo de voladura del Heavy Anfo 73 G que está en 0.24 $/t esto simboliza una reducción de 7.22 %.

Según Zavala Loli (2017) en su tesis titulada “Empleo de agente de voladura gasificado para minimizar costos de voladura en la Compañía Minera Antamina S.A. – Año 2017”, el trabajo de investigación tiene como finalidad analizar, evaluar, y demostrar que el empleo de agente de voladura gasificado posee mejores propiedades con relación a las mezclas convencionales de HA, obteniendo una reducción del factor de potencia de 36% respecto al HA, también se observó la reducción de humos naranjas.

1.2.3 Antecedentes locales

Según Chugá Pozo (2017) en su tesis “Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la Mina Cuajone – Southern Perú”, se centra en el análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada, con el fin de seleccionar el mejor método para fragmentar la roca al menor costo, los explosivos objeto de estudio serán: HA 55, HA 46, HA 37, HA 28 frente a la MEQ 73, tomando en cuenta los diferentes tipos rocas: roca andesita basáltica, latita porfirítica, aglomerado gris y riolita porfirítica, concluyendo que para roca andesita y latita la mejor alternativa es usar la voladura tradicional porque sus costos son menores, y para el aglomerado gris y roca riolita es mejor usar la mezcla gasificada MEQ 73.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar cuál de las mezclas explosivas es la más adecuada para optimizar el proceso de voladura en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone, teniendo en consideración que

las mezclas explosivas que actualmente se vienen utilizando en mina son la MEQ 73 y MEQ 82, y la mezcla que se quiere implementar es la emulsión gasificable SAN-G APU.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar si con la aplicación de la emulsión gasificable SAN-G APU en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone se obtiene una granulometría homogénea.

- Determinar si con la aplicación de la emulsión gasificable SAN-G APU en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone se obtiene un menor factor de potencia.

- Determinar si con la aplicación de la emulsión gasificable SAN-G APU en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone se obtiene una mayor VOD en comparación de las mezclas explosivas del proveedor actual.

- Determinar si con la aplicación de la emulsión gasificable SAN-G APU en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone se obtiene menores costos.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Muchos investigadores a nivel mundial han demostrado y enfatizan la importancia de la fragmentación alcanzada producto de la perforación y voladura, ya que este proceso tiene un gran impacto en el costo global del ciclo de minado. Es decir, es mejor invertir más en kilogramos de una buena mezcla explosiva, pues, los procesos que utilizan energía (kWhr) generan un elevado costo en las operaciones mineras (Camara Minera del Perú [CAMIPER], 2019).

El sector minero día a día busca mejores tecnologías para poder aplicarlas en sus procesos, que no solo tengan ventajas económicas, sino también que sean amigables con el medio ambiente, he aquí la importancia de la aplicación de la emulsión SAN-G APU, qué además de generar ahorros en el proceso de voladura puede minimizar y/o reducir la presencia de gases post voladura.

Para el presente trabajo de investigación se desarrollaron 7 proyectos de voladuras de producción en zona de desmonte en fase 7 y 8 de la mina Cuajone, que representan un total de 1,856 taladros cargados, la investigación se justifica dado a que realizando un comparativo de los resultados obtenidos en campo entre la SAN-G APU y la MEQ 73 y MEQ 82, los beneficios de este nuevo producto de la empresa FAMESA

EXPLOSIVOS S.A.C. es notable, ya que los resultados muestran mejoras en los aspectos de reducción del factor de carga, la reducción de gases nitrosos, la fragmentación homogénea y menores costos.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General

- La emulsión gasificable SAN-G APU es una mezcla explosiva con la cual se optimizará el proceso de voladura en la fase 7 y 8 de la mina Cuajone, y esto se reflejará en los resultados obtenidos en granulometría, VOD, factor de potencia, gases nitrosos y costos, respectivamente.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- El análisis comparativo mostrará un menor factor de potencia usando la emulsión gasificable SAN-G APU con respecto a la MEQ 73 y MEQ 82.
- Se logrará una granulometría homogénea usando SAN-G APU.
- El análisis comparativo conseguirá una mayor VOD usando SAN-G APU en relación a las mezclas explosivas del proveedor actual.
- El análisis comparativo demostrará que se obtiene un menor costo usando la emulsión gasificable SAN-G APU con respecto a la MEQ 73 y MEQ 82.

1.5.3 Variables

1.5.3.1 Variable independiente

- Aplicación de la emulsión SAN-G APU.

DIMENSIONES

- Densidad del explosivo.
- Litología.
- Velocidad de excavación.
- Nivel de gases.

1.5.3.2 Variables dependientes

- Optimización del proceso de voladura.

DIMENSIONES

- Factor de potencia.
- Granulometría homogénea.
- Velocidad de detonación (VOD).
- Costos.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta la operacionalización de variable.

Tabla 1

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
INDEPENDIENTE	Aplicación de la emulsión SAN-G APU	La SAN-G APU es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante (Famesa Explosivos S.A.C., 2009)	Densidad del explosivo	0.80 a 1.20 g/cc	Kit de densidades (Balanza, vaso cubicado, termómetro y cronometro).
			Litología	Toba cristal, andesita basáltica propilítica, Latita porfiritica fresca y andesita basáltica argilica).	Propiedades y características del macizo rocoso
			Velocidad de excavación	Bajo: <2000 t/hr Medio: 2000-4000 t/hr Alto: >4000 t/hr	Registros de producción por pala.
			Nivel de gases nitrosos	Tabla de clasificación visual de gases nitrosos, según los niveles.	Cámara fotográfica de alta definición
DEPENDIENTE	Optimización del proceso de voladura	Optimización: Es una palabra que en el contexto de la planificación industrial y en particular del planeamiento de mina es una descripción de conjuntos de técnicas que con la ayuda de métodos matemáticos y analíticos que facilitan al planeamiento creando modelos matemáticos y el establecimiento de criterios al desarrollo de algoritmos para encontrar un conjunto de valores que nos otorguen un máximo valor bajo un criterio elegido (Calderon Navarro, 2015).	Fragmentación adecuada (P80)	Desmonte Regular: P80>12 inch. Buena: P80<12 inch.	Porta MetricTM.
			Velocidad de detonación (VOD)	Bajo: <4800 m/s Medio: 4800 – 5800 m/s Alto: >5800 m/s	Microtrap MREL.
			Factor de potencia	kilogramos de explosivo por tonelada de material fragmentado (Kg/t).	Cálculos en Excel
			Costos ($)	Ahorro SAN-G APU frente a la MEQ 73 y MEQ 82.	Cálculos en Excel

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 BASES TEÓRICAS

2.1.1 Ubicación del proyecto

La unidad minera en estudio es un yacimiento minero tipo pórfido de cobre, demarcado en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua entre los cuadrángulos de (35U) y Moquegua (35U), ubicado en la zona UTM 19, con coordenada central: 318,000E; 814,842N; con elevación de 3500 m.s.n.m. (INGEMMET, 2018).

2.1.2 Accesibilidad

El acceso al yacimiento minero se realiza desde Moquegua por la carretera interoceánica sur con dirección al distrito de Torata donde está ubicada la mina en estudio, las distancias promedio desde las ciudades más importantes se muestran en la Tabla 2 (Curo Quispe, 2019).

Tabla 2

Ruta de acceso a mina en estudio

RECORRIDO	DISTANCIA (km)	VIA
LIMA-MINA EN ESTUDIO	1,191	Terrestre
AREQUIPA-MINA EN ESTUDIO	272	Terrestre
TACNA-MINA EN ESTUDIO	205	Terrestre
MOQUEGUA-MINA EN ESTUDIO	45	Terrestre

Nota: (Curo Quispe, 2019)

2.1.3 Clima

Las condiciones climáticas varían con la altitud, desde moderadamente templadas hasta el frío intenso. En la zona de Moquegua, el clima es cálido durante todo el año. En las partes media y alta, la temperatura se torna cada vez más baja, las mañanas tardes son muy frías y en las noches la temperatura desciende por debajo de 0° (Curo Quispe, 2019).

2.1.4 Geología

2.1.4.1 Génesis del yacimiento tipo pórfido

Los yacimientos minerales ubicados al Norte de Chile y al sur del Perú, son principalmente el resultado del avance de la Placa Continental Sudamericana sobre la Placa Subductora del Pacífico Oriental, con características de Pórfidos de Cobre en su gran mayoría. La Placa del Pacífico subductora a la Placa Continental generó una gran energía por rozamiento que permitió el derretimiento de rocas con altos contenidos de cobre. La presencia de energía, causó la apertura de zonas débiles en la corteza (fisuras, fallas, etc.) por los cuales se desplazaron los magmas, fluidos y gases a grandes presiones y temperaturas, causando que se depositen soluciones hidrotermales en zonas propicias para las alteraciones (Concha, 1999).

2.1.4.2 Génesis de la mina en estudio

El yacimiento se encuentra emplazado dentro de la "Subprovincia Cuprífera del Pacífico" en el Flanco Occidental de los Andes; Cerro Verde, Quellaveco y Toquepala son depósitos de gran envergadura alineados en una dirección Noroeste. En la zona de la mina en estudio afloran rocas antiguas que pertenecen al Grupo Toquepala, cuyas edades se estiman entre 34 y 100 millones de años. El basamento más antiguo que se constituye en la mina en estudio está representado por una andesita que localmente se le llama andesita basáltica que alcanza una potencia que excede los 800.00 m. Se la relaciona como varios flujos andesíticos pertenecientes posiblemente a la formación paralaque, últimamente cobra mayor firmeza la teoría que relaciona esta roca como un intrusivo somero perteneciente al Batolito Andino del Sur que se relaciona con la diorita que se tiene en el yacimiento Toquepala. Sobreyaciendo a la andesita basáltica, posteriormente se depositó la secuencia volcánica perteneciente al Volcánico Quellaveco.

Tanto la andesita basáltica como el Volcánico Quellaveco que pertenecen al Grupo Toquepala, los cuales se habrían depositado entre 70 y 100 millones de años (Fines del Cretáceo – comienzos del Terciario). Entre 60 y 65 millones de años se tiene la intrusión de un cuerpo Diorítico-Granodiorítico elongado con una dirección predominante hacia el Norte que aflora al Oeste de la mina. Posteriormente, entre 50 y 60 millones de años. La intrusión de la Latita Porfirítica se da en tres eventos o pulsos magmáticos, destacando el Primer Pulso Intrusivo que causó un gran fracturamiento y

alteración en la roca intrusiva como en la roca encajonante que generó las condiciones apropiadas para la mineralización de la mina en estudio.

El Segundo Pulso Intrusivo presenta una baja importancia porque mineralizó las rocas presentes en una menor cantidad. El Tercer Pulso Intrusivo pierde relevancia puesto que casi no aportó mineral. Una vez formado el Cuerpo Mineralizado de la mina en estudio, se presentó un largo proceso erosivo que duró entre 24 y 50 millones de años aproximadamente. El proceso de erosión afectó a gran parte del Grupo Toquepala e inclusive rocas pertenecientes al Volcánico Quellaveco. Generado todo este proceso, el nivel freático descendió de tal forma que permitió lixiviar parcialmente el cuerpo, oxidar y enriquecer en el lapso de tiempo.

Se reanuda la actividad magmática aproximadamente entre 17 y 23 millones de años, depositándose una secuencia de rocas de la formación Huaylillas, iniciándose un nuevo proceso de erosión que trajo la formación de paleo valles que posterior en su fase final fue rellenado con aglomerados y conglomerados. Se presenta un tercer proceso erosivo entre 14 y 17 millones de años, en lo que actualmente se conoce como las quebradas Chuntacala y Torata. En esta se llega a exponer una superficie de rocas perteneciente al Grupo Toquepala. Por el descenso del nivel freático también se da un proceso de lixiviación, oxidación y enriquecimiento del sector, pero en menor magnitud.

Posteriormente entre 9 y 14 millones de años. Se reanudó nuevamente la actividad magmática con periodos erosivos intraformacionales que permitieron la deposición de los volcánicos de la Formación Chuntacala. Se presenta un cuarto periodo erosivo entre los últimos 9 millones de años, este proceso da como resultado la topografía de la mina en estudio antes de iniciar su proceso de minado. Las principales manifestaciones son los valles formados por las quebradas Torata, Cocotea y Chuntacala (Concha, 1999).

2.1.4.3 Geología estructural

En la fosa Oceánica del Pacifico se puede apreciar la tendencia estructural del Sur del Perú, que en su mayoría tiene una orientación Noroeste Sureste. Asimismo, se puede apreciar el Batolito de la Costa, la Depresión Tectónica formada entre los cerros de la Cadena Costanera y el Pié del Frente Andino, el Flanco Occidental de los Andes y las grandes Fallas Regionales como es el caso de Incapuquio, Micalaco, Viña Blanca y Botiflaca (Concha, 1999).

2.1.5 Fallas regionales

2.1.5.1 Sistema de fallas Incapuquio

Identificadas cerca al límite de la frontera de Chile, pasan por el departamento de Tacna y gran parte del departamento de Moquegua. Mantienen un rumbo preferencial entre 290° y 310° con una distancia aproximada de 140 Km de largo. Tienen hasta un Km de ancho compuesta de rocas alteradas y trituradas y un buzamiento subvertical (Concha, 1999).

2.1.5.2 Falla Micalaco

Identificada en las inmediaciones de la mina Toquepala con un afloramiento de 21 Km de longitud y llega a tener potencias de hasta 500 m en zonas de cizalla entre el pueblo de Micalaco y la quebrada Cortadera, rellenada principalmente por cuarzo, turmalina, sulfuros, diques, brechas, rocas trituradas, ligera alteración hidrotermal, material fracturado y material cizallado. Presenta un buzamiento subvertical. En la zona Sur de la mina, esta estructura limita la mineralización con un rumbo de 290° (Concha, 1999).

2.1.5.3 Falla Viña Blanca

Aflora aproximadamente 5.5 Km en la Riolita Porfirítica a 3 Km al Este Sureste de la mina Cuajone. Por las características presentes como no atravesar las rocas volcánicas postminerales de la Formación Huaylillas, indica que no ha tenido reactivaciones posteriores su ocurrencia que se dio probablemente en el Terciario Inferior. Presenta una dirección predominante de 290° y un buzamiento preferencialmente subvertical. Tiene una variación de potencia de hasta 2 m y en conjunto pueden llegar hasta 20 m. Se presenta como un conjunto de estructuras paralelas y sinuosas. Rocas fracturadas, rocas cizalladas, brechas y fragmentos de rocas de diferente y variada composición son parte del relleno acumulado en esta zona (Concha, 1999).

2.1.5.4 Falla Botiflaca

Aflora aproximadamente a 2.5 Km al Suroeste de la mina en estudio en forma sinuosa con una longitud de aproximadamente 20 Km cruzando las quebradas de Cocotea y Torata. Tiene un rumbo generalizado de 280° a 300° y presenta un buzamiento subvertical. La potencia llega hasta 40 m

(Manrique y Plazoles 1974) y está compuesta por roca fuertemente fracturada, brechas heterolíticas compuestos por clastos y fragmentos subangulares a subredondeados. Atraviesa rocas pertenecientes al Grupo Toquepala y por posibles reactivaciones posteriores también atraviesan rocas postminerales volcánicas pertenecientes a la Formación Huaylillas (Concha, 1999).

2.1.6 Litología

Como es el caso de muchos pórfidos de cobre, una intensa alteración hidrotermal ha destruido parcial y totalmente la textura original de la roca y la agrupación mineralógica en las rocas premineral e intrusivas de la mina en estudio (Esteban Ingaroca, 2018).

2.1.6.1 Volcánicos Premineral

Las rocas más antiguas de la mina son los miembros inferiores de los volcánicos del Grupo Toquepala, la Andesita Basáltica y Riolita Porfirítica. La correlación de estos dos flujos volcánicos con otros miembros del grupo encontrados en Quellaveco y Toquepala, se reconoció entre los volcánicos premineral de la mina en estudio, intermedio tanto en posición como en composición a la andesita basáltica básica y a la riolita porfirítica acida.

Aunque la andesita basáltica le debe en parte su color verde a la biotita de origen probablemente hidrotermal, se han identificado un anfíbol (tentativamente antofilita) y un piroxeno (hedenbergita). Se pueden encontrar algo textura porfirítica remanente, en forma de manchitas anhedrales blancas muy finas (menos de 1 mm de diámetro, posiblemente arcilla formada a partir de feldespatos) (Esteban Ingaroca, 2018).

2.1.6.2 Complejo Intrusivo

El principal cuerpo intrusivo de la mina en estudio es un stock de Latita Porfirítica, que ocupa un afloramiento nor-central con una extensión de 800 metros (Nor Oeste-Sur Este). A medida que progresa el minado y los cuerpos laterales los cuerpos de andesita son removidos, este stock dominará la geología de la mina. Latita porfirítica no alterada y no mineralizada se extiende actualmente a 4 Km al norte de la mina. En la zona del tajo y estrictamente hablado, es un pórfido de Latita Porfirítica Cuarcífera, con cuarzo libre sub redondeado. Cuerpos de latita "fresca", menos alterada y no

mineralizada se encuentran dentro de la zona de brecha central; esta es la llamada Latita Porfirítica Estéril.

Los contactos entre la latita y los volcánicos pre-mineral, especialmente la Andesita Basáltica, pueden ser transicionales debido a asimilación; los contactos de Latita - Andesita lntrusiva son generalmente bien definidos y estructurales. La Andesita lntrusiva ha asimilado a la Andesita Basáltica al Sur de la mina, y por lo tanto tiene textura transicional, en la cual se han preservado manchas oscuras del basalto porfirítico. En otros lugares, la textura de la Andesita lntrusiva ha quedado totalmente destruida, aunque se cree que esta haya sido originalmente afanítica (Esteban Ingaroca, 2018).

2.1.6.3 Brecha Post-mineral

Un cuerpo central de brecha aproximadamente tabular *y* con buzamiento alto hacia el oeste, 50 m. de espesor promedio, aflora con rumbo Nor Oeste-Sur Este por aproximadamente 500 m. dentro de la mina, en la zona de mineral. Consiste en clastos redondeados a sub-redondeados de rocas volcánicas e intrusivas locales alteradas y mineralizadas contenidas en una matriz relativamente fresca de latita porfirítica; localmente la matriz puede estar silicificada, o está parcialmente compuesta de vacíos conteniendo incrustaciones de cuarzo. Al sur de la zona mineral, cuerpos aislados más irregulares de la brecha tienen una matriz de arcilla a polvo de roca, y pueden contener clastos de traquitas y andesitas que no se encuentran en la mina (Esteban Ingaroca, 2018).

2.1.6.4 Volcánicos Post Mineral

La primera deposición post mineral fue la de Aglomerado Gris, volcánico masivo consistente en cantos sub angulares a angulares de andesita, en una matriz tobácea compactada. Este se encuentra separado del volcánico superior pre mineral, por el conglomerado Riolítico y ha rellenado un paleovalle de orientación Oeste-Este que aproximadamente coincide con la Quebrada Chuntacala. En la mina en estudio se reconocen dos secuencias piroclásticas principales; separadas por la antigua Quebrada Chuntacala, y actualmente por la mina. Estas consisten en los volcánicos Huaylillas y Chuntacala de los lados Sur y Norte de la mina, respectivamente.

El principal constituyente del Huaylillas de la mina en estudio es la traquita bien silicificada, vesicular y con bandeamiento de flujo. El conglomerado verde y amarillo, en el Sur-Oeste y Sur-Este dé la mina, respectivamente, derivaron de la traquita y toba. Encima de la traquita y en los niveles más

altos del Sur-Oeste de la mina, se encuentra la Toba blanca y el conglomerado Tobáceo (Esteban Ingaroca, 2018).

2.1.7 Geotecnia

Los parámetros geotécnicos son estudiados por consultores con toda la información de campo y laboratorio (grado de cohesión, permeabilidad, porosidad de las rocas), monitoreo de piezómetros e inclinómetros, información de los logueo de taladros diamantinos (RQD, grado de fracturamiento, geomecánica de rocas, pruebas uniaxiales), mapeos de celdas, mapeo estructural de la mina, información geológica (tipos de roca, mineralización, alteración) (Ortiz Chambi, 2016).

2.1.7.1 Unidades Geotécnicas Básicas

En la definición de unidades geotécnicas básicas (UGB), se estimó las propiedades de resistencia y deformación para cada una de ellas, basado en la información geológica y geotécnica disponible y en los resultados de ensayos de laboratorio de muestras provenientes de los sondajes geotécnicos pertenecientes a campañas ejecutadas durante los años 2001 al 2013. Las UGB están definidas por aquellas características que influyen en el macizo rocoso y que al mismo tiempo pueden ser registradas en los mapeos geológicos-geotécnicos de sondajes, especialmente: litología, alteración y zona mineral (Southern Perú Copper Corporation, 2016). En el estudio realizado por la consultara SKR Consulting (Chile) S.A. se definieron 19 UGB. Para el presente trabajo de investigación se tomará en consideración las UGB 8 y UGB 14 las cuales pertenecen al tipo de roca donde se realizaron las pruebas de voladura.

2.1.7.2 Propiedades de la Roca Intacta y Macizo Rocoso

Considerando toda la información disponible, se estimaron las propiedades de resistencia y deformabilidad para las distintas UGBs utilizando el Criterio Generalizado de Hoek & Brown (Hoek *et.al*., 2002), que define la resistencia del macizo rocoso según las Ecuaciones 1, 2, 3 y 4 (Guillen Linares, 2016):

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} + s\right)^a \quad (1)$$

$$m_b = (m_i e)^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)} \quad (2)$$

$$S = (e)^{(\frac{GSI-100}{9-3D})} \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (4)$$

Donde:

σ'_1 y σ'_3: esfuerzos principales efectivos mayor y menor

m_i: parámetro asociado a la pendiente de la envolvente de falla de la roca intacta

m_b: Es un valor reducido de la constante del material m_i

σ_{ci}: resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta

s y a: constante del macizo rocoso

GSI: índice de Resistencia Geológica del macizo rocoso propuesto por Hoek (1994)

D: Factor de perturbación, depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

A continuación, se resume la metodología usada para la estimación de las propiedades:

- La estimación de los parámetros que definen la envolvente de la falla de Hoek & Brown para roca intacta fueron obtenidos de los resultaos de los ensayos de laboratorio.

- Para la estimación de m_i y σ_{ci} se utilizó el software Roc Data

- Para la determinación del GSI se usó la Ecuación 5, los valores de RQD y RMR fueron proporcionados por SPCC.

$$GSI_{2013} = 1.5xJC_{89} + RQD/2 \quad (5)$$

Donde:

RQD: Índice de calidad geotécnica del Sistema RQD de Deere (1967).

JC_{89}: Parámetro condición de las discontinuidades en el Sistema RMR de Bieniawski (1989).

D: 0.8

- El módulo de la deformabilidad del macizo rocoso, se determinó de acuerdo a la ecuación de Hoek y Diederichs (2005):

$$E_m = Ei(0.02 + \frac{1-D/2}{1+e^{((60+15D-GSI)/11)}}) \quad (6)$$

- La Razón de Poisson del macizo rocoso, se determinó de acuerdo a la siguiente expresión (Karzulovic, 2006):

$$V=0.40-0.01X GSI^{(0.7)} \quad (7)$$

- El RQD es el porcentaje de trozos de testigos intactos y sólidos con longitudes mayores que 10 cm, en un tramo de perforación (Deere, 1967) o en un intervalo geotécnico (ASTM, 2002). En el tajo Cuajone se representa un modelo de bloques del índice RQD. La clasificación del RQD se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Clases RQD

CLASE	RQD (%)	DESCRIPCIÓN
A	91-100	Macizo de muy buena calidad
B	76-90	Macizo de buena calidad
C	51-75	Macizo de moderada
D	26-50	Macizo de mala calidad
E	0-25	Macizo de mala

Nota: Deere (1967)

- RMR (Bieniawski, 1989): Para clasificar el macizo rocoso mediante el Sistema RMR (Rock Mass Rating), el macizo rocoso se agrupó en UGBs, con propiedades similares de roca intacta y condición de las discontinuidades. Luego cada UGB fue modelada por su Resistencia a la compresión simple (UCS), RQD, espaciamiento y JC_{89}. Cada uno de estos parámetros otorga un puntaje y la suma de estos puntajes entrega el RMR básico. En la Tabla 4 se muestra la clasificación del RMR de Bieniawski.

Tabla 4

Clasificacion RMR básico

CLASE	RMR	DESCRIPCIÓN
I	81-100	Macizo de muy buena calidad
II	61-80	Macizo de buena calidad
III	41-60	Macizo de regular calidad
IV	21-40	Macizo de mala calidad
V	0-20	Macizo de muy mala

Nota: Bieniawski (1973, 1989)

Tabla 5

Propiedades de la roca intacta y macizo rocoso

			ROCA INTACTA							MACIZO ROCOSO						
			Y (t/m^3)	ɳ (%)	m_i	σ_{ci} (MPa)	UCS (MPa)	E_i	V	GSI	m_b	s	a	E_m (GPa)	RQD (%)	RMR
UNIDADES GEOTÉCNICAS BÁSICAS	UGB 8	Andesita Basáltica Propílica	2.75	1.33	15.77	135.4	133.9	56.4	0.23	67	2.56	0.0084	0.5	16.57	76-90	61-80
		Andesita Basáltica Argílica	2.60													
	UGB 14	Toba Cristal	2.33	7.7	28.6	80.4	83.7	26.2	0.29	58	2.84	0.0023	0.5	4.66	51-75	46-60

Nota: Geotecnia Cuajone

Donde:

Y: Peso especifico

ɳ: Porosidad

2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.2.1 Minería a tajo abierto

La minería a tajo abierto radica en extraer minerales/materiales económicamente valiosos (por ejemplo, oro, plata, cobre, plomo, cinc, uranio, carbón, etc.) mediante la excavación de tajos inmensos en la superficie de la tierra, en lugar de la construcción de galerías o túneles. Las minas a tajo abierto modernas pueden medir de 1.5 km a 3 km de largo y de ancho y, ocasionalmente, pueden tener más de 600 metros de profundidad. La mayoría de los minerales metálicos se encuentran naturalmente, ya sea en vetas de elevada concentración, o en depósitos ampliamente diseminados, de menor concentración. Esto es lo que llamamos minerales en alta ley o en baja ley (Moran, 2013).

2.2.2 Voladura de rocas

Conforme a los criterios de la mecánica de rotura, la operación de voladura es un proceso tridimensional, en dicho proceso las presiones generadas por los explosivos confinados dentro de barrenos perforados en la superficie rocosa, producen una zona de elevada concentración de energía que genera dos resultados dinámicos: fragmentación y desplazamiento (Instituto de Seguridad Minera [ISEM], 2014).

El primero alude al tamaño de los fragmentos generados, a su distribución y tanto por ciento por tamaños, en tanto el segundo hace referencia al movimiento de la masa de roca fragmentada. Una apropiada fragmentación es crucial porque facilitará la remoción y el acarreo del material volado y se encuentra en relación directa con el uso al que se destina dicho material, esto será calificado como una fragmentación “ideal” (ISEM, 2014).

Así, en la extracción de minerales se requiere de preferencia fragmentación homogénea, pues esto facilita subsiguientes procesos de conminución en concentradora, en cambio que en la de rocas algunas ocasiones se necesita que sea en grandes bloques, como los que necesitan para la construcción de ataguías o rompeolas (ISEM, 2014). El desplazamiento y la manera en la que se acumula el material volado se proyecta de la forma más idónea para el paleo o transporte, acorde al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles. El desplazamiento en voladura de rocas cambia con la profundidad, en relación de las distintas áreas de una voladura (ISEM, 2014).

Tomando en consideración los diferentes criterios que relacionan un trabajo de voladura de rocas, como el objetivo o uso final del lugar a excavar o el del material a alcanzar el volumen a ser excavado, el porcentaje de fragmentación promedio demandado, si la roca excavada permaneciera en el lugar será acarreada a otro lugar, el modelo y el tamaño del equipo de remoción y transporte apto, la cercanía a instalaciones considerables que puedan ser dañadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es imprescindible una planificación minuciosa de la voladura teniendo en cuenta hasta los mínimos detalles que podrían intervenir para lograr los objetivos deseados (ISEM, 2014).

2.2.3 Explosivos

Los explosivos son sustancias químicas, con la cualidad de cambiar a un estado más estable, a través de una reacción química exotérmica de manera inmediata, liberando toda la energía que almacena en forma de gases, sonido y calor de una forma violenta. Una parte de esta energía desprendida es aplicada en la fragmentación de roca, de manera especial la producción de gases a presión y temperatura muy elevadas. En el sector minero, en la operación de voladura de rocas es el proceso más beneficioso para la excavación en roca con una dureza significativa. Hay diferentes clasificaciones para los explosivos teniendo en consideración sus características o aplicaciones. En la Figura 1 se muestra una clasificación de los explosivos de uso industrial, que son aplicados en la actividad minera (Berto Zamora, 2019, pág. 32).

Figura 1

Clasificación de explosivos industriales rompedores



Nota: En la figura se muestran los explosivos que se utilizan en minería y obras civiles. (Exsa, 2019).

2.2.4 Características y propiedades de desempeño de los explosivos

2.2.4.1 Potencia

Este término hace referencia a la cantidad de energía que contiene un explosivo que al mismo tiempo representa la dimensión de la fuerza que puede desarrollar y su destreza para realizar un trabajo. La potencia ha sido clasificada por diferentes productores en función de un peso o volumen igual, y generalmente es llamado potencia en peso y potencia en volumen. No hay un criterio de medida que sea empleado para todos los productores de explosivos, existen otros procedimientos tales como, por ejemplo: prueba balística de mortero, prueba de trauzl, craterización, método de potencia sísmica (Konya & Albarrán, 1998, pág. 45).

2.2.4.2 Brisance o poder rompedor

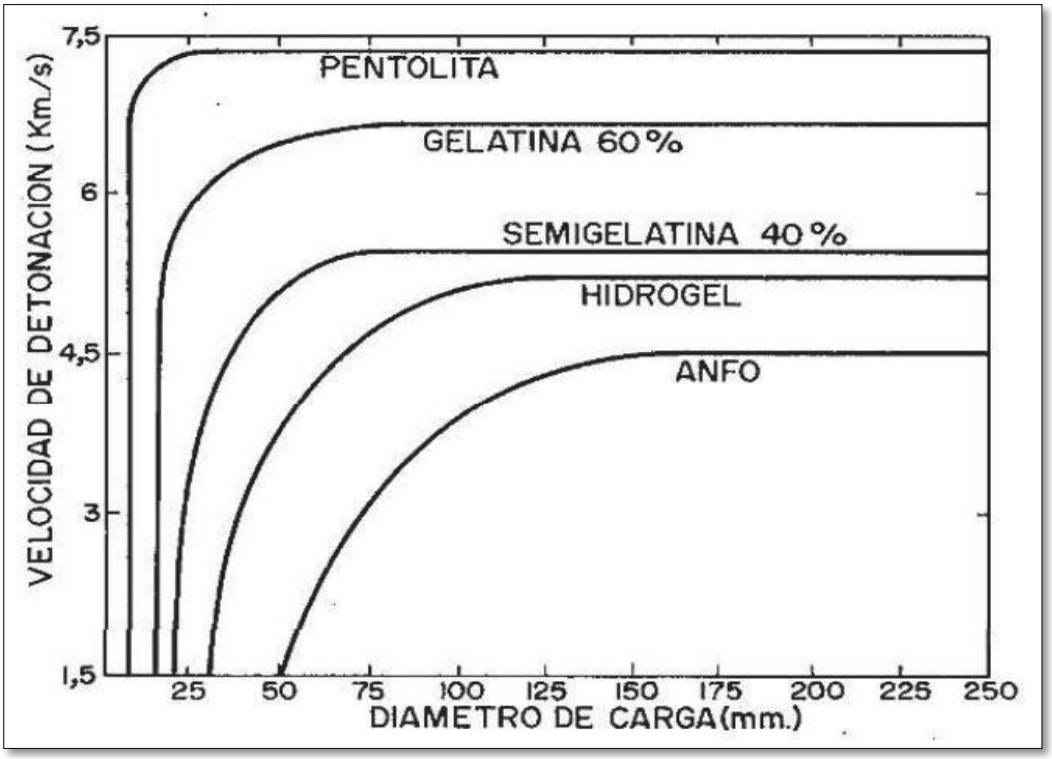
Se le conoce así al resultado rompedor que aplica el explosivo sobre la roca para dar inicio a su proceso demoledor. Como factor dinámico de trabajo es resultado de la onda de choque y se encuentra asociado a la densidad y a la velocidad de detonación que en muchas ocasiones es empleada como fundamento comparativo. Cabe indicar que el poder rompedor en consecuencia tritura la roca y potencia el efecto de expansión y empuje del material volado, para desplazarlo y formar la pila de escombros. Ambos se relacionan en el proceso de la voladura de rocas (Exsa S.A., 2019, pág. 31).

2.2.4.3 Velocidad de detonación (VOD)

Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga por medio del explosivo, y en consecuencia es el parámetro que determina el ritmo de desprendimiento de energía. Es también la velocidad con que viaja la onda a lo largo de una columna explosiva, sea a la intemperie o en confinamiento dentro de un barreno de voladura. Los factores que la afectan son: la densidad de la carga, el diámetro, el confinamiento, la iniciación y el envejecimiento (Exsa S.A., 2019, pág. 32 y 33). En la Figura 2 se puede observar la influencia que tiene el diámetro del taladro sobre la velocidad de detonación (VOD).

Figura 2

Influencia del diámetro sobre el VOD



Nota: En la figura se muestran las velocidades típicas de detonación (Ash, 1977).

2.2.4.4 Resistencia al agua.

Es la capacidad que tiene un explosivo de soportar el contacto al agua sin perder sus características y su desempeño. Los explosivos presentan dos tipos de resistencia al agua: interna y externa (Konya & Albarrán, 1998, pág. 32).

- La resistencia interna es determinada como la resistencia al agua que proporciona los componentes característicos del explosivo.

- La resistencia externa se provee no por la composición del explosivo sino por el empaque dentro donde se coloca el material.

2.2.4.5 Categoría de humos / balance de oxígeno

La detonación de todo explosivo comercial produce polvo, vapor de agua (H_2O), óxidos de nitrógeno (NO-NO_2) óxidos de carbono (CO-CO_2) y ocasionalmente gases sulfurosos (H_2S, SO_3 y

AlO_2) si contenía azufre o aluminio. Entre los gases inofensivos producidos existe siempre un porcentaje de productos irritantes tóxicos o letales conocidos en conjunto como “humos”, tales como el monóxido de carbono y el bióxido de nitrógeno. Acorde a la relación que contienen dichos gases tóxicos se ha visto a bien determinar escalas de clasificación por niveles de toxicidad para la exposición del personal que trabaja en los frentes de voladura después del disparo. El factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y NO en diferentes proporciones). En la Tabla 6 se muestra una escala establecida para conocer los niveles de toxicidad, cuya equivalencia métrica según ISO es (Exsa S.A., 2019, pág. 38):

Tabla 6

Escala de clasificación por grado de toxicidad

CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO_2)
1^{ra}	De 0 a 4.53 dm^3
2^{da}	De 4.53 a 9.34 dm^3
3^{ra}	De 9.34 a 18.96 dm^3

Nota: Para la clasificación del grado de toxicidad se toma como ejemplo la USBM (Buró de Minas de Usa). Manual de voladura Exsa S.A., 2019.

2.2.4.6 Densidad.

La densidad es un indicador crítico en los explosivos, de este indicador dependen muchas características como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras. Además, los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base a su peso. Por tal motivo, la cantidad de explosivo que se diseña para cada taladro está basada en la densidad y por ende sus características para las cuales se diseñó dependen de la calidad del carguío (Vilela Sangay, 2014).

La calidad para los agentes de voladura es un factor muy crítico debido a que, si la densidad es muy baja, la columna explosiva se vuelve muy sensible y puede ser iniciada por el cordón detonante, antes de que el booster inicie la detonación desde el fondo del taladro. Por otro lado, si la densidad es muy alta, el agente de voladura pierde la sensibilidad al booster y no inicia (Vilela Sangay, 2014).

La densidad de la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 y 1.6 g/cc y; a mayor densidad incrementa el poder rompedor del explosivo, en la Tabla 7 podemos observar las densidades de algunos explosivos (Vilela Sangay, 2014).

Tabla 7
Densidades según tipo de explosivo

TIPO DE EXPLOSIVOS	DENSIDAD (g/cc)
Emulsión a granel	1.1 – 1.6
ANFO cargado neumáticamente	0.8 - 1
ANFO vaciado	0.8 – 0.9
ANFO encartuchado	1.1 – 1.2
ANFO pesado	1.1 – 1.4
Dinamitas	1.05 – 1.5
Hidrogeles	1.15 – 1.30

Nota: Konya & Albarrán, 1998

2.3 AGENTES DE VOLADURA

Los agentes de voladura son insensibles al fulminante N°8 y necesitan un iniciador más potente o cebo.

2.3.1 ANFO

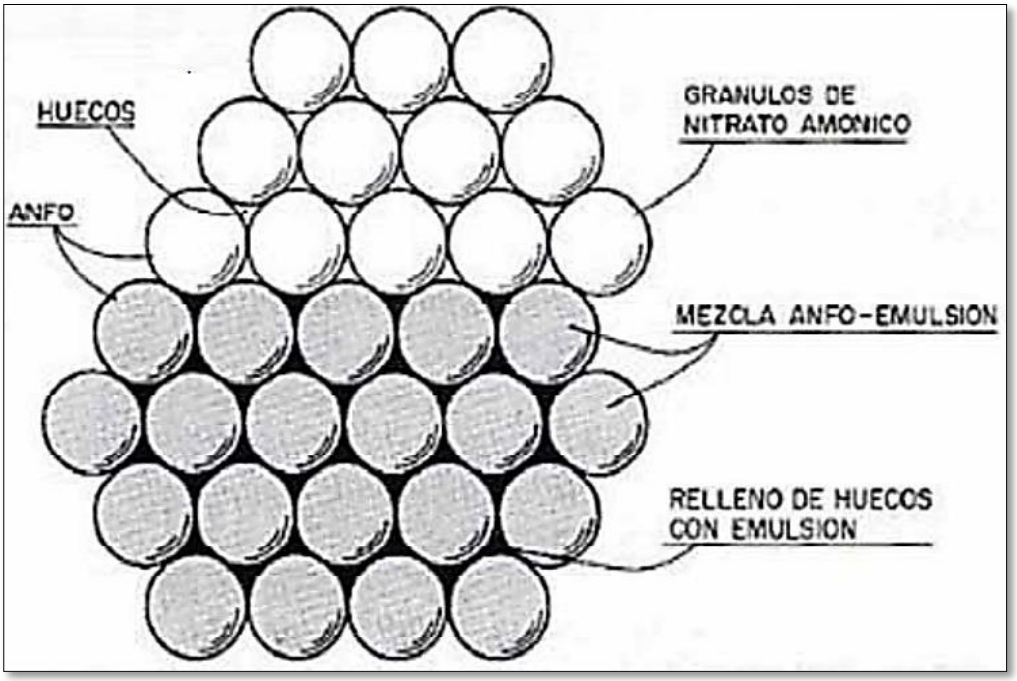
El ANFO está compuesto de manera general por de nitrato de amonio que es sensibilizado por un compuesto orgánico, líquido o sólido que, por lo regular no explosivos, el nitrato debe ser perlado y lo suficientemente poroso para asegurar la absorción y detención del combustible. La distribución está comprendida: 94 % de nitrato de amonio y 6% combustible (Exsa S.A., 2019).

2.3.2 ANFO Pesado

El ANFO pesado es un compuesto entre el ANFO y la emulsión matriz, donde la función de la emulsión es envolver los prills del ANFO y se conforma una matriz energética con características propias, en la Figura 3 se observa la estructura del ANFO pesado.

Figura 3

Estructura del ANFO pesado



Nota: La emulsión se utiliza para rellenar los huecos que existen entre los prills de ANFO, y así forma una matriz energética (Du pont, 1986).

2.3.3 Emulsión

Las emulsiones son agentes de voladura tipo denominado “agua en aceite” en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado, comúnmente diésel 2 (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, 2003, pág. 155). La magnitud de la composición del oxidante y combustible influye de forma directa en la velocidad de detonación y generalmente en el performance (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, 2003, pág. 155). En la Tabla 8 se muestra las dimensiones de los oxidantes en los explosivos, teniendo en cuenta al ANFO, dinamita, hidrogel y emulsión.

Tabla 8

Dimensiones de los oxidantes en los explosivos

EXPLOSIVO	TAMAÑO (mm)	ESTADO	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (km/s)
ANFO	2	Sólidos	3.2
Dinamita	0.2	Sólido	4.0
Hidrogel	0.2	Solido/líquido	3.3
Emulsión	0.001	líquido	5.0-6.0

Nota: Las emulsiones tienen una VOD de entre 5,000 y 6, 000 m/s (Bampfield & Morrey, 1984)

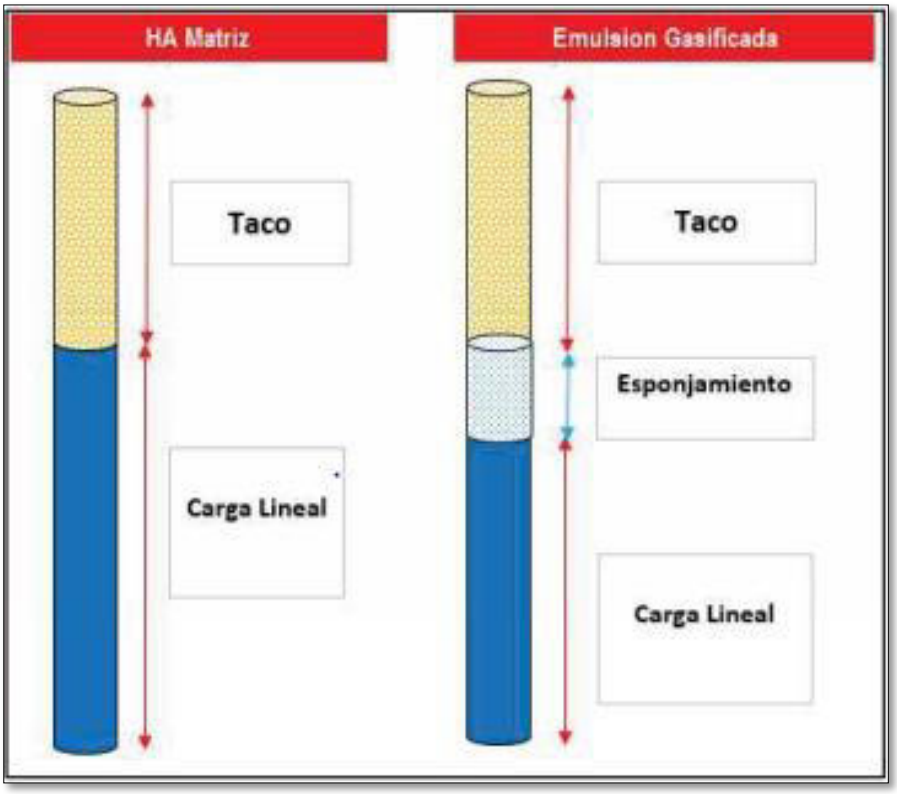
La emulsión pura no es un agente de voladura, pues no es sensible ni siquiera al booster por poseer una su densidad elevada. Para ser sensibilizada, se puede aplicar un mecanismo físico como por ejemplo producir burbujas de gas, éstas son comprimidas adiabáticamente y se comportan como puntos calientes, este comportamiento favorece a la iniciación y propagación de la detonación. Estos agentes gasificantes pueden ser poliestireno expandido o microesferas de vidrio (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, 2003, pág. 158).

2.3.4 Emulsión gasificante

Es un explosivo que se basa en emulsión y es sensibilizado a través de una solución gasificante, su sensibilidad es desarrollada en el interior del barreno de voladura. Químicamente, está formulada para reaccionar con nitrito de sodio, que es el agente gasificante y físicamente está preparada para retener burbujas de gas dentro de su masa (Famesa Explosivos S.A.C., 2009, pág. 9). El esponjamiento que se logra en el interior del barreno a consecuencia de la sensibilización hace que se necesite una menor carga de explosivo en el barreno y se alcance la misma altura de carga de diseño. En la Figura 4 se observa la gasificación que acontece en el interior del barreno cargado con emulsión gasificable en relación al barreno cargado con ANFO pesado compuesto por emulsión matriz, cuya carga lineal no cambia pues su densidad es constante (Berto Zamora, 2019, pág. 4).

Figura 4

Diseño de carga con ANFO pesado y emulsión gasificable



Nota: El esponjamiento que se logra aplicando la emulsión gasificable hace que se necesite una menor carga lineal a comparación del ANFO pesado. (Berto Zamora, 2019).

2.3.5 Emulsión gasificable SAN-G APU

La mezcla explosiva SAN-G APU es una emulsión gasificable compuesta por una solución microscópica oxidante discontinua en un estadio combustible continuo y estabilizada por un emulsificante.

La mezcla explosiva SAN-G APU puede ser sensibilizada en los frentes de voladura antes de ser cargada en el barreno con la solución gasificante, creando una mezcla explosiva de densidad menor, la cual presentará mayor resistencia al agua, viscosidad elevada y una alta velocidad de detonación en comparación al ANFO, también puede ser sensibilizada con ANFO en distintos porcentajes y ser gasificada (Famesa Explosivos S.A.C, 2019). La emulsión SAN-G APU ha sido creada de manera especial para ser empleada en minas a cielo abierto en macizos rocosos cuya temperatura se encuentra en el intervalo de 0 °C y 40 °C.

La emulsión SAN-G APU es cargada a través de los camiones fábrica con el sistema bombeable hacia el interior de los barrenos. Después de que los barrenos han sido cargados el esponjamiento demorará

unos 20 minutos para luego proceder a la colocación del “taco” en el barreno. Dentro de las ventajas de la aplicación de la SAN-G APU se tiene (Famesa Explosivos S.A.C, 2019):

- Puede emplearse en terrenos secos, húmedos o inundados y con rocas de distinta dureza.
- Al cargar los barrenos, las columnas explosivas se acoplan por completo, desarrollando con dicha condición toda la energía que se deposita en ellas.
- Su aplicación simboliza un trabajo seguro, toda vez que la emulsión matriz se sensibiliza al final de la unidad mecanizada; es importante mencionar que se trata de un producto no explosivo antes de ingresar en los taladros.
- Puede ser cargado a diferentes densidades y energías, teniendo en consideración que la finalidad es generar una fragmentación adecuada y mejorar el proceso productivo desde la mina, chancadora primaria y hasta concentradora.
- Por su alto poder rompedor es factible agrandar las mallas de perforación y de disminuir los costos asociados.
- Permite reducir el tiempo del carguío por su practicidad.

Las características técnicas del SAN-G APU se muestran en la Tabla 9:

Tabla 9

Características técnicas del SAN-G APU

Densidad relativa de la matriz (g/*cc*)	1,32 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (g/cc)	0,80 a 1,20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales, (cP)	Min. 12 000
Viscosidad de la detonación de la matriz sensibilizada (m/s)	4 800 a 5 800
Presión de detonación (Kbar)	51 a 98
Energía (kcl/kg)	805
Volumen normal de gases (L/kg)	1 025
Potencia relativa en peso (%)	90
Potencia relativa en volumen (%)	152
Resistencia relativa al agua	Excelente
Categoría de humos	Primera
Diámetro crítico (mm)	76 (3 pulgadas)
Tiempo de permanencia en el taladro (día)	7

Nota: Famesa Explosivos S.A.C.

2.3.6 Sensibilización y gasificación de la emulsión SAN-G APU

El gasificado de la SAN-G APU, se produce justo antes de ser bombeado al taladro, mediante una reacción química entre la matriz oxidante gasificable (Figura 5) y el sensibilizante (Figura 6).

Figura 5

Matriz SAN-G APU inerte gasificable



Nota: Famesa Explosivos S.A.C.

Figura 6

Sensibilizante (Solución N-30)

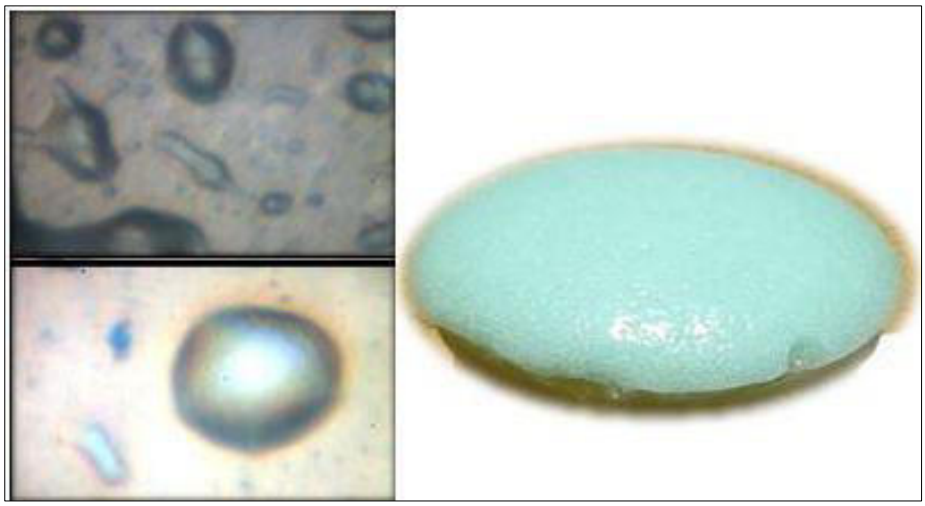


Nota: Famesa Explosivos S.A.C.

Como resultado de la reacción química entre la emulsion matriz inerte y la solución N-30, se produce gas nitrógeno que queda atrapado en las burbujas dentro de la matriz y son estas burbujas las que sensibilizan la emulsion, así como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Reacción química entre la emulsión y gasificante



Nota: Famesa Explosivos S.A.C.

2.3.7 Solución gasificante

Es un agente sensibilizante conformado por una solución acuosa de sales oxidantes químicamente balanceada de naturaleza iónica, es inerte "no detonable" que se mezcla en el lugar en distintos porcentajes con la emulsión SAN-G APU gasificable antes de ser cargada en los taladros generando una mezcla homogénea de menor densidad. En la Tabla 10 se presentar las características de la solución gasificante (Famesa Explosivos S.A.C., 2009):

Tabla 10

Características de la solución gasificante

	Aspecto	Densidad	PH
Solución Gasificante	Líquido acuoso	1.12 g/cc	4.5

Nota: Famesa Explosivos S.A.C.

2.3.8 Factores que afectan la gasificación

2.3.8.1 Solución gasificante.

La mayor o menor añadidura de la solución gasificante ocasionará que la gasificación cambie y en consecuencia la densidad. A mayor inyección el esponjamiento adquirido será mayor pero las propiedades de energía y velocidad de detonación reducirán proporcionalmente (Famesa Explosivos S.A.C., 2009).

2.3.8.2 Temperatura

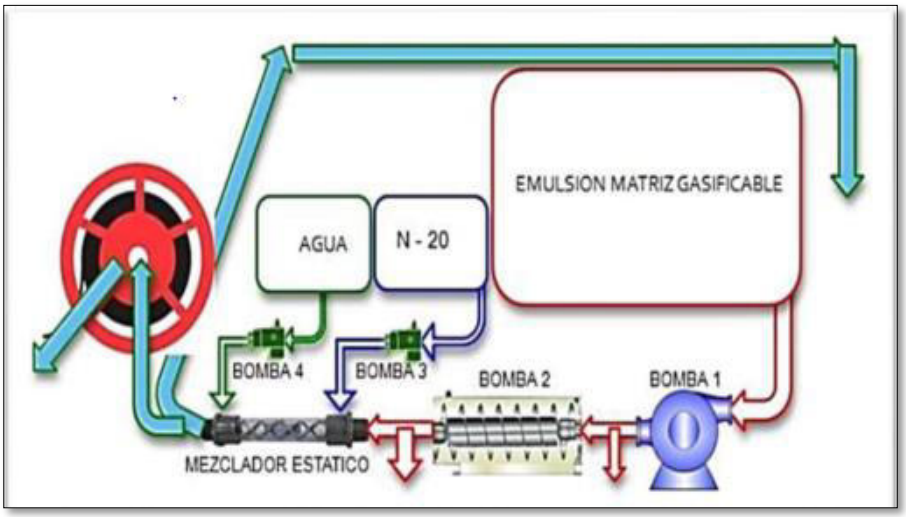
La temperatura es un factor que influye directamente a la gasificación. Al tener una temperatura elevada se requerirá menor inyección de solución gasificante para lograr densidad anhelada y esto sucede de manera inversa si se trata de una baja temperatura (Famesa Explosivos S.A.C., 2009).

2.3.9 Fabricación de la emulsión gasificada en campo

La mezcla explosiva SAN-G APU es cargada por camiones fábrica de Famesa Explosivos S.A.C. que a diferencia de los camiones tradicionales que cargan ANFO pesado, están dotado de un sistema de gasificación de la emulsión matriz, formado por una unidad de programación lógica (PLC) que con la cual se puede planificar la cantidad de emulsión matriz, solución gasificante y agua a dosificar; así como controlar en tiempo real la temperatura del agente y la presión de bombeo. Posee un sistema de seguridad que suspende automáticamente el proceso de bombeo y gasificación cuando la presión de la bomba de trabajo alcanza 160 psi (Famesa Explosivos S.A.C, 2019).

Figura 8

Fabricación de emulsión gasificable



Nota: Proceso de gasificación en el camión fábrica (Famesa Explosivos)

Como se muestra en el diagrama de la Figura 8, la emulsión gasificable es bombeada desde su compartimento hasta un mezclador estático donde se dosifica la solución gasificante y se combinan homogéneamente. Luego se procede a agregar un porcentaje de agua con el fin de liberar presión en la última bomba que bombea el producto hacia el taladro.

2.3.10 Fragmentación de roca

La fragmentación de rocas engloba el acto de un explosivo y a la consecuente reacción del macizo rocoso, incluyendo factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción. Este mecanismo aún no está absolutamente determinado, existiendo diversas teorías que tratan de explicarlo, las teorías se mencionan a continuación (Exsa S.A., 2019, pág. 114):

- Teoría de reflexión (ondas de tensión reflejadas en una cara libre).
- Teoría de expansión de gases.
- Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases).
- Teoría de torque (torsión) o de cizallamiento.
- Teoría de craterización.
- Teoría de energía de los frentes de onda de comprensión y tensión.

- Teoría de liberación de cargas.
- Teoría de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.

Estas teorías se basan en criterios sobre distribución de energía, acción de fuerzas de compresión-tensión, reflexión de ondas de choque en la cara libre, efectos de corte y cizallamiento por movimiento torsional entre taladros, presión de gases súbitamente aplicadas sobre la roca y liberación de cargas, ruptura de microfracturas en fisuras y fallas, colisión de fragmentos en el aire y otros.

Una explicación simple, comúnmente aceptada, estima que el proceso sucede en diversas etapas que se desarrollan casi simultáneamente en un tiempo reducido, de pocos milisegundos, durante el cual ocurre la completa detonación de una carga confinada, comprendiendo desde el inicio de la fragmentación hasta el total desplazamiento de material volado (Exsa S.A., 2019, pág. 114).

Estas etapas son:

- Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.
- Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provoca el fracturamiento y movimiento de la roca.
- Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

Según la finalidad de la investigación es aplicada, pues, busca dar solución a los problemas prácticos en el proceso de voladura, utilizando una nueva mezcla explosiva para optimizar los resultados. Según el método de manipulación de datos el enfoque es de tipo cuantitativo, debido a que, para lograr los objetivos del presente trabajo de investigación, se realiza la recolección y análisis de datos obtenidos en las pruebas realizadas con la mezcla explosiva SAN-G APU en la mina en estudio.

3.1.2 Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación es descriptiva comparativa y ésta consiste en recolectar información relevante en varias muestras a un mismo fenómeno o aspecto de interés y luego caracterizar este fenómeno en base a la comparación de datos recogidos, pudiendo hacerse esta comparación en los datos generales o en una categoría de ellos (Condori Ojeda & Paniagua Machicao, 2018, pág. 34).

El esquema de la investigación descriptiva comparativa es el siguiente:

$M_1 \rightarrow \quad O_1$ $M_2 \rightarrow \quad O_2$ $M_3 \rightarrow \quad O_3$ $M_n \rightarrow \quad O_n$	$O_1 \backsim \quad O_2$ $O_1 = \quad O_2$ $O_1 \neq \quad O_2$

Donde:

$M_1, M_2, M_3 \ldots\ldots\ldots M_n$: Muestras

$O_1, O_2, O_3 \quad O_n$: Observaciones

O_1 a O_2: comparaciones entre cada una de las muestras

($=$): observaciones, resultados o información iguales

($\backsim$): resultados semejantes

($\neq$): resultados diferentes

La muestra 1(M_1) estará representado por los proyectos en los cuales se aplicó el uso de la emulsión SAN-G APU durante el periodo de pruebas donde se realizó la voladura de 7 proyectos con el propósito de conocer su desempeño, a continuación, se detalla la distribución de los proyectos para el análisis comparativo:

- **Factor de potencia:** Es importante conocer la cantidad de explosivos que se usa para fragmentar una tonelada de material volado en cada proyecto y, es por ello que para términos estadístico debe tomarse en cuenta todos los proyectos volados (3580-0833, 3565-0822-0823, 3550-0801,3580-0831, 3565-0827, 3565-0825 y 3355-0705) en este periodo de pruebas con la emulsión SAN-G APU.
- **Fragmentación**: Para el análisis de fragmentación se consideró necesario evaluar 4 proyectos (3565-0822_0823, 3580-0833, 3355-0705 y 3580-0831) como muestra representativa, los tres proyectos no incluidos son del mismo tipo de roca y tienen los mismos parámetros de diseño que el proyecto 3565-0822-0823.
- **Velocidad de excavación**: Se tomó en cuenta la velocidad de excavación o dig rate como un indicador complementario al P80, pues, el P80 es uno de los indicadores que influye en este parámetro, se consideró necesario evaluar 2 proyectos (3565-0822-0823 y 3565-0827) que contienen el mismo tipo de roca como una muestra representativa, pues, uno de ellos presentó el P80 mayor al solicitado por mina y fue considerado para verificar y comparar la influencia de este sobre la velocidad de excavación.
- **Velocidad de detonación**: Se tiene valores establecidos como se describió en la Tabla 8 por tipo de mezcla explosiva, las empresas han demostrado que la variabilidad se encuentra dentro del rango, para ello, realizan diversas pruebas, las cuales indican que solo se requiere realizar mediciones de manera aleatoria, por otro lado, dichas mediciones de la VOD son costosas, por lo mismo el número de mediciones son solicitadas por la unidad minera, durante el periodo de pruebas en mina Cuajone se realizaron 6 mediciones en 5 proyectos (3565-0822-0823, 3355-0705, 3580-0831, 3565-0827, 3565-0825).
- **Costos:** Es importante conocer el costo total (3580-0833, 3565-0822-0823, 3550-0801,3580-0831, 3565-0827, 3565-0825 y 3355-0705) que se obtienen utilizando la SAN-G APU y la mezcla explosiva del proveedor actual para poder conocer las ventajas.

La muestra 2 (M_2) está conformada por los proyectos en donde se aplicó la mezcla explosiva del proveedor actual y los resultados obtenidos son proporcionados por la unidad minera para finalmente, hacer el análisis comparativo.

Se realizará la observación de las muestras antes mencionadas y finalmente se compararán los resultados.

3.1.3 Nivel de la investigación

El nivel de investigación aplicada es aquella que se concentra en mejorar y/o resolver problemas del mercado, la industria o los servicios. En la presente tesis se busca optimizar el proceso de voladura para ello se aplica la emulsión SAN-G APU en el proceso de voladura con el propósito de alcanzar una reducción de costos, pero sin descuidar el aspecto técnico (Schwarz, 2017).

3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

La Unidad Minera Cuajone, se ubica al sur del Perú en:

- Distrito: Torata.
- Provincia: Mariscal Nieto.
- Departamento: Moquegua.
- Altura: 3500 m.s.n.m.

La Ubicación de proyecto de la unidad minera Cuajone se ubica en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, cuyas instalaciones se distribuyen en plataformas que van desde los 2,600 a 3,500 m de altitud. La unidad minera de Cuajone tiene una vía asfaltada de 33 km que la une con la ciudad de Moquegua, transitando por la carretera binacional con dirección de Moquegua hacia Torata. La distancia total que la separa del Puerto de Ilo es de 135 km de tránsito carretero por la vía Binacional (Schlumberger Water Services (Perú) S.A., 2012). En la Figura 9 se muestra un mapa con la ubicación de mina Cuajone.

Figura 9

Ubicación de la Unidad Minera Cuajone



Nota: Mina Cuajone, 2019

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

Para esta investigación, la población está conformada por los proyectos de voladura realizados en la unidad minera Cuajone ejecutadas en el año 2019.

3.3.2 Muestra

La muestra está conformada por un total de 7 proyectos de voladura disparados entre el 29 de agosto al 05 de octubre del 2019 los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

- En la fase 7 se disparó el proyecto 3355-0705 el 05 de septiembre, en tipo de roca andesita basáltica argílica, clasificada como roca dura.
- En la fase 8 se dispararon los proyectos: 3580-0833 (roca andesita basáltica argílica, roca dura, 29 de agosto 2019), 3565-0822-0823 roca toba cristal, roca media, 02 de septiembre 2019), 3550-0801 (roca toba cristal, roca media, 12 de septiembre de 2019), 3580-0831 (roca andesita basáltica propílica, roca dura, 12 de septiembre de 2019), 3565-0827 (roca toba cristal, roca media, 27 de septiembre de 2019) y 3565-0825 (roca toba cristal, roca media, 05 de octubre de 2019).

3.4 PROCEDIMIENTO

La perforación y voladura es un proceso binomial, es por ello que primero se realiza la perforación, se perforan de 3 tipos de taladros descritos a continuación:

- **Precorte:** Se realiza esta perforación de una sola fila, estos taladros contienen una baja carga de explosivo para proteger el talud.
- **Buffer:** Se realiza esta perforación de una sola fila, estos taladros contienen una mediana carga para amortiguar el impacto de los taladros de producción contra el talud.
- **Producción:** Estos taladros contiene son cargados de acuerdo a la resistencia de la roca.

A continuación, se describe el procedimiento realizado en la etapa de voladura hasta el carguío, dichos procedimientos se encuentran establecido por el área de asistencia técnica (Famesa Explosivos S.A.C, 2019).

3.4.1 Descarga y abastecimiento de agentes de voladura al camión fábrica.

PERSONAL

- Supervisor de voladura.
- Operador de camión cisterna de emulsión.
- Operador de camión fábrica

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

- Zapatos punta de acero.
- Chaleco.
- Guantes de cuero, neopreno, fibra kevlar o anticorte.
- Lentes.
- Casco.
- Protector de oídos.
- Barbiquejo (si realiza labores sobre 1.80 m).
- Protector respiratorio para polvo.
- Arnés y línea de vida dual, con absorbedor de impacto (labores sobre 1.80 m); excepto en plataforma de camiones fábrica donde usará línea de vida simple sin absorbedor de impacto.

EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES

- Camión cisterna.
- Camión fábrica.

PROCEDIMIENTO ABASTECIMIENTO DE EMULSIÓN MATRIZ

- Primero se estacionará el camión cisterna y colocará sus conos reflectantes a una distancia adecuada para que se estacione el camión fábrica, a no menos de 2 m.
- El abastecimiento de los camiones fábrica se hará previa coordinación con los operadores y el supervisor de campo.
- Aplicar sistema de bloqueo (parqueo temporal) y colocar las cuñas.
- El operador subirá a la parte superior del camión cisterna (conectarse a la línea de vida del camión), para proceder a destapar las tapas y romper los sellos de seguridad.
- El operador descenderá y procederá a conectar la manguera a la bomba del camión cisterna, con apoyo del supervisor y demás operadores de ser necesario, verificando antes las conexiones de acoples y seguros. Se colocará siempre una bandeja debajo de la bomba para evitar contaminar por derrame.
- El operador del camión fábrica accederá a la parte superior de su camión en forma correcta (3 puntos de apoyo, siempre) y conectará (enganchará) la línea de vida a la línea de anclaje del camión.
- Abrir la tapa del compartimiento del camión e Instalar la manguera en la boca del compartimiento.
- Abrir la llave de paso del ducto inferior de salida de emulsión del sistema del cisterna.
- Apertura la llave inferior gradualmente.
- Revisar el sistema general de trasvase para confirmar que todo está conforme.
- Dar inicio al trasvase en RPM mínimo del tracto para verificar la efectividad del sistema.
- El operador de cisterna debe estar en constante monitoreo de la bomba Bowie en caso de alguna emergencia (exceso de vibración, exceso de calor, goteo, etc.) detener la descarga y comunicar a su supervisión y al supervisor de Famesa.
- El operador del camión fábrica verificara el llenado y comunicara al operador del cisterna para pagar la bomba 50 cm antes del llenado.
- De la misma manera se realizará la descarga cuando el camión regrese hasta terminar de descargar el camión cisterna.
- Una vez descargado el camión cisterna, proceda a cerrar la válvula de descarga del cisterna y luego detener la bomba.
- Desacoplar la manguera flexible y colocarle el tapón al extremo libre.

- Cerrar la compuerta correctamente para evitar derrames en camino al tajo.
- El operador, desconectará su línea de vida y descenderá en forma correcta (3 puntos de apoyo).
- NUNCA, se retire sin la limpieza adecuada de la zona, Si hay poco de derrame trasladarlos dentro de una bolsa al campo para verter al taladro.

ABASTECIMIENTO SOLUCIÓN DE N-30

- El personal de apoyo debe recibir previamente la comunicación y/o indicación del operador de camión fábrica, para abastecer de N-30 el compartimiento de la unidad.
- El operador de camión fábrica debe verificar el área de trabajo (tránsito de otros vehículos, tránsito peatonal) y delimitarla con conos o cintas de seguridad, según la necesidad.
- El operador abastecerá el compartimiento del camión fábrica con N-30, el cual deberá estar permanentemente lleno. Para este paso se deberá restringir el acceso a dicha zona.
- Para esta operación, el personal de apoyo colocará el cilindro en posición vertical, luego procederá a retirar la tapa de dicho cilindro, para eliminar la presión existente en él; luego procederá a taparlo nuevamente.
- Para el trasegado del cilindro al compartimiento del camión fábrica se utilizará una bomba hidráulica, la cual se movilizará usando los EPP adecuados.
- El operador del camión fábrica verificara el llenado y comunicara al operador de la cisterna para pagar la bomba antes del llenado.

3.4.2 Traslado del camión fábrica al proyecto de voladura

PERSONAL

- Operador del camión fábrica.
- Personal FAMESA.

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

- Zapatos punta de acero.
- Chaleco.
- Guantes de cuero.
- Lentes.
- Respirador.
- Casco.

EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES

- Cuñas, conos.
- Radio Handy.
- Kit de Emergencia.
- Extintor.
- Bandeja.

PROCEDIMIENTO: INGRESO AL PROYECTO

- Cada operador realizará el Check List a su unidad (operatividad del equipo, cadena a tierra, letrero de identificación explosivo, pértiga, circulina, 2 extintores de polvo químico, candado y punto de bloqueo.
- Inspección del equipo (posibles fugas).
- El traslado del camión fábrica del polvorín hacia la mina, sólo se hará, con autorización del residente Famesa en coordinación con el supervisor o jefe de voladura del cliente.
- El operador del camión fábrica solicitará a su residente la ubicación del proyecto para dirigirse a la zona de carguío y luego solicitar autorización para trasladarse hacia la zona de carguío.
- Una vez autorizado el permiso de traslado, solicitar al O1 (del cliente) permiso para transitar por el área de Operaciones que involucre el traslado hacia la zona de carguío, conduciendo de acuerdo a las normas de seguridad vial de la mina y mantener un Manejo Defensivo, la circulación debe ser por el lado derecho dentro del área mina, a excepción de lugares donde se indique lo contrario.
- Antes de iniciar el descenso por una pendiente (rampa), el conductor del camión fábrica deberá de reducir la marcha (enganchar), aplicar freno de motor y no sobrepasar las revoluciones del motor.
- Ante una falla mecánica durante el traslado hacia la mina, avisar de inmediato al Jefe de Voladura y al Ingeniero Residente. Debe tratar de sacar el vehículo fuera de la vía donde no represente riesgos de colisión a otros equipos y colocar conos para destacar la presencia del camión.
- El traslado finaliza al llegar el camión fábrica a la zona de carguío o al lugar más cercano a este, determinado por el B1. El estacionamiento deber ser como en el caso anterior, fuera de las vías de circulación de otros equipos o vehículos.

- Para ingresar al proyecto de voladura, el operador del camión fábrica deberá ser orientado y/o dirigido por personal de piso, para evitar pase por encima de algún taladro y dañe los accesorios o conectores distribuidos en el proyecto.
- Una vez terminada su carga del camión retornará a la zona de los silos de emulsión cumpliendo todo lo indicado para su traslado.

3.4.3 Primado de taladros

PERSONAL

- Operarios de carguío.
- Personal FAMESA.

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

- Zapatos punta de acero.
- Chaleco.
- Guantes de cuero.
- Lentes.
- Respirador.
- Casco.

PROCEDIMIENTO

- El supervisor de Famesa coordinará con el supervisor o jefe de voladura para realizar el primado de la malla
- El personal de carguío recibirá el explosivo y los accesorios de voladura (Booster y detonadores).
- Estos materiales de voladura se colocarán por separado.
- El operario de carguío distribuirá los materiales de voladura en los taladros para su respectivo primado.
- El personal de carguío empezará con el primado previa coordinación con el supervisor de Famesa.
- Se cogerá el detonador y se colocará el fulminante dentro de los orificios del booster realizando un amarre.

- Una vez primado se introducirá a los taladros gradualmente hasta llegar a la base del taladro. Luego se asegurará uno de los extremos (conector plástico) del detonador alrededor del taladro.
- Se verificará el primado antes del carguío de los taladros

3.4.4 Carguío de taladros

PERSONAL

- Supervisor de Voladura.
- Operador camión fabrica.
- Operario de carguío.

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

- Zapatos punta de acero
- Chaleco
- Guantes de Neoprene
- Lentes
- Casco.
- Traje Químico (Tivek).

EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES

- Cuñas, conos.
- Teléfono móvil
- Radio Handy.
- Camión Fábrica.
- Kit de Emergencia.

PROCEDIMIENTO: CARGUIO DE TALADROS

- El supervisor de Famesa se comunicará a primera hora con el jefe de Perforación y Voladura para confirmar lo siguiente: El Proyecto de voladura a cargar, acceso por los cuales se llegará al proyecto de voladura, autorización para ingresar al proyecto de voladura asignado, diseño y planos de carga de las mallas asignadas.
- Una vez ubicados en el proyecto de voladura y antes de comenzar la operación, el Supervisor de Famesa inspeccionará el área de trabajo de carguío en cada proyecto de voladura. Cuando

se trabaje a menos de 10 m de la cresta o pié del talud se comunicará con el jefe de Perforación y Voladura para informar la condición anómala y corregirla. De ser necesario poner a un vigía.

- El operador de camión fábrica mantendrá una distancia mínima de 10 m hacia la perforadora o hacia cualquier otro equipo que se encuentre cerca de él; no realizará ninguna maniobra de retroceso ni giro hacia su lado ciego si no es dirigido por un operario de piso.
- El líder del grupo y el supervisor determinarán el mejor acceso para ingresar y salir de la malla de carguío, se tendrá cuidado con los cables eléctricos, cuando sea necesario usar los puentes pasacables para pasar encima de los cables sin dañarlos.
- Los vehículos se estacionarán al ingreso del proyecto de carguío, en una zona segura, alejada de las perforadoras, luego deben esperar la orden para ingresar en forma ordenada hacia la zona de carguío de taladros. Los camiones se estacionarán con el motor apagado.
- El Supervisor voladura coordinará con el supervisor de Famesa la ubicación de los camiones fábrica para iniciar el carguío e indicará claramente el tipo mezcla explosiva y la longitud de taco por taladro.
- Siempre estar atento a las comunicaciones radiales, según los canales que corresponda.
- El operador de camión revisará el plano de carguío, dosificará la carga solicitada antes de cargar el primer taladro.
- Antes de iniciar el proceso de carguío, descargará los kilos necesarios fuera del primer taladro para verificar que la dosificación de la mezcla sea la requerida; después esta mezcla sucia se descargará dentro del taladro cargado. Lubricar la manguera antes de iniciar el carguío.
- La secuencia de carguío debe ser ordenada (carguío por filas), a manera de evitar errores. En todo momento el operador de camión deberá iniciar el carguío previa coordinación con operarios de carguío. Por ningún motivo el operador de camión iniciará el carguío sin operarios de carguío.
- El operario de carguío medirá la longitud de taco con la wincha, el taco estará en función del diseño de carga previamente establecido por el B1; cuando se requiera aumentar carga para completar el taco diseñado se deberá tener cuidado en que dicho incremento no sea mayor a 100 kg, porque pueden existir geodas o fracturas por las cuales se pierde el explosivo y si se aumenta más de 100 kg podríamos tener el riesgo de Fly rock.
- Todo movimiento del camión fábrica dentro de la malla será guiado por operarios de carguío.

- Durante el turno de trabajo los operadores de camión deberán revisar continuamente el brazo telescópico, mangueras, bombas, llaves de paso, válvulas una vez finalizado el carguío de taladros y fuera de la zona de voladura. Cuando se presente una falla mecánica o eléctrica dentro de la malla de carguío, el operador de camión fábrica deberá usar los tacos de seguridad cuando se encuentre en sitio plano o con pendiente.
- Nunca pase sobre taladros cargados sin tapar, y sin carga, NO pise los detonadores o accesorios de voladura, el operario de carguío deberá retirar los detonadores del piso antes que el camión se mueva entre los taladros a cargar.
- Cuando exista algún problema de atoro de la mezcla explosiva dentro de la manguera bombeable, el operador del camión fabrica mantendrá 3 m de la manguera dentro del taladro, así también indicará al operario de carguío retirarse de la línea de fuego; luego de estas dos medidas preventivas recién el operador procederá a insuflar aire hacia la manguera para desatorar la mezcla explosiva.
- Todo taladro cargado deberá ser anotado en el reporte de carguío respectivo y verificado en el plano de la malla, individualizando el número de taladro que corresponda, altura, si tiene agua, cantidades de mezcla empleadas, número de boosters, detonadores y cualquier observación que se presente en la malla.
- Si el operador observa zonas de carguío con riesgo (cerca de crestas, taludes, etc.) se retirará de la zona y comunicará al supervisor de campo inmediatamente.
- Cuando durante el carguío se presente alguna falla mecánica o eléctrica mayor (más de 15 minutos), el operador de camión fábrica procederá a retirar el camión fuera de la zona de carguío, lo parquea, coloca tacos y conos de seguridad y procede a realizar la reparación respectiva con el mecánico.

CARGUIO DE TALADROS CON SISTEMA BOMBEABLE

- La manguera deberá estar marcada con un punto de referencia.
- Lubricar la manguera antes de iniciar el carguío.
- Ubicar el extremo de la manguera a ½ metro de la boca del taladro luego volcar la manguera hasta el fondo del taladro antes de iniciar el vertido de la carga explosiva.
- Bombear la emulsión con la adecuada dosificación de N-30 hasta llegar a la mezcla y densidad adecuada según los controles de campo.
- Cargar agua a la tina y bombear más aire a la manguera para limpiar y lubricarla.

- Regular el paso de rotación del carrete para que se enrolle automáticamente a una velocidad que permita el tiempo adecuado de reposo del explosivo y que desplace el agua evitando atraparla en su interior (afecta la energía y rendimiento del explosivo).
- En el transcurso de la guardia, los operadores de camión deberán revisar continuamente (brazos, mangueras, bombas, llaves de paso, válvulas, mangas, sistemas de: presión, aire, hidráulico, etc., para ello deberá descender de la cabina del camión con el motor encendido aplicando el freno de parqueo y le colocará tacos de seguridad en pendientes positivas y negativas.
- Recuerde no exceder los 150 PSI de presión, puede romper el sello de seguridad.
- Al finalizar calcule el espacio de altura del taladro adecuada para completar con la carga de soplado de la manguera y evitar derrames en el terreno, limpie con agua y aire hasta estar seguro de una limpieza eficiente.
- La dosificación explosiva e inyección de agua a la mezcla debe ser en promedio de 1.0 a 2.0% o 2.0 gpm, considerándola como lubricante entre la mezcla y la manguera. NUNCA exceda las presiones de bombeo establecidas por el fabricante, nunca trabaje las bombas en vacío, esto eleva temperatura y es muy peligroso.
- Finalizada la labor “limpie” el sistema de bombeo y manguera para evitar obstrucciones.
- Si la zona de carguío presenta en el interior "aguas dinámicas" y existe el riesgo de que los taladros no armen, se deberá coordinar con el supervisor de voladura para el carguío inmediato de estos taladros "en este caso se hará una excepción de distancia mínima", se cargará cuando la perforadora se retire para colocar la manguera, se considerará un vigía y/o apoyo de un operario de carguío.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnica de recolección

La técnica para la recolección de datos es de orden documental (reportes de voladura, mediciones directas y registros) se realizará antes, durante y después de cada voladura, el número de pruebas o muestras se realizan a solicitud de la unidad minera, después de obtener resultados se realiza un análisis comparativo para conocer cuál de las mezclas explosivas es la óptima, se busca recolectar datos de los proyectos de voladura tanto de emulsión gasificable SAN-G APU, de la MEQ 73 y MEQ 82.

Se considerarán los siguientes parámetros:

- Factor de potencia.
- Fragmentación (P80).
- Velocidad de detonación (VOD).
- Velocidad de excavación
- Gases nitrosos

3.5.1.1 Factor de carga y factor de potencia

Para calcular el factor de carga se usa la densidad de carga lineal de cada mezcla explosiva, tanto del explosivo de diseño como de la emulsión SAN-G APU. El cálculo se realiza con la fórmula de la Ecuación 8 (Berto Zamora, 2019):

$$DL = \rho\varepsilon \times \emptyset^2 \times 0.507 \quad (8)$$

Donde:

DL: Densidad de carga lineal

$\rho\varepsilon$: Densidad del explosivo (g/cc)

$\emptyset$: Diámetro del taladro (pulgadas)

Una vez encontrado el valor de la densidad de carga lineal se procede a multiplicar dicho valor por la altura de la columna explosiva y así obtenemos la cantidad necesaria de kilogramos de explosivo para un taladro. Luego se realiza el cálculo de la cantidad de metros cúbicos que van a ser disparadas por un taladro (el valor se encuentra realizando una multiplicación entre los valores de la altura de banco, el burden y el espaciamiento). Para encontrar el valor del factor de carga se procede a dividir la densidad de carga lineal (kg/tal) entre en valor de la cantidad de material volado (m^3/tal). Finalmente, el factor de potencia es el resultado de dividir el factor de carga por la densidad del material (Berto Zamora, 2019, pág. 73).

En este trabajo de investigación para el análisis estadístico se tomará en cuenta 7 proyectos de voladura (3580-0833, 3565-0822_0823, 3355-0705, 3550-0801, 3580-0831, 3565-0827, 3565-0825) tanto para la mezcla explosiva de la empresa Famesa Explosivos S.A.C. y el actual proveedor, los resultados del factor potencia para los proyectos cargados con SAN-G APU serán calculados después

de cada reporte de voladura, mientras que, para el cálculo del factor de potencia del proveedor actual los datos de diseño serán proporcionados por mina, posterior a ello se realizará la comparación de lo obtenido.

3.5.1.2 Fragmentación

Para el análisis granulométrico existen programas basados en el análisis digital de imágenes y al pasar de los años su uso va aumentando en el sector minero. El objetivo primordial de dichos programas es obtener la curva de distribución granulométrica a partir del análisis de fotografías del material rocoso fragmentado. Regularmente se usan sistemas en línea que dan datos de fragmentación en tiempo real sin tener que interrumpir el proceso productivo. Los programas más conocidos son: Split-Desktop, WipFrag, Split-Online PortaMetrics (Cheppe Aguirre, 2021). Para el análisis granulométrico de las pruebas realizadas para el desarrollo de este proyecto se usó el Portametrics.

Los programas convencionales de análisis granulométrico digital requieren del uso de objeto de referencia en su ubicación física para determinar una escala, esto requiere que el personal de mina se acerque al frente del banco y coloque el objeto de escala en la ubicación deseada (Figura 10), este proceso será repetitivo dependiendo de la cantidad de imágenes necesarias para representar estadísticamente el banco. El análisis de fragmentación se realiza a menudo en áreas recién voladas por lo tanto representan un mayor riesgo de rocas inestable y caída de material. Como resultado, las preocupaciones por la seguridad se trasladan a la vanguardia de las operaciones comerciales y las minas deben implementar restricciones de seguridad para prevenir accidentes. Algunas instalaciones y minas no permiten que su personal se acerque a una cierta distancia de la cara del banco/talud. Otras restricciones no permiten al personal para acercarse a diferentes caras del banco y colocar objetos de escala de referencia en el lugar deseado; por lo tanto, se utilizan herramientas como ganchos largos o pelotas de baloncesto con cuerdas para lanzar el objeto en la escena (MOTION METRICS, 2016).

“Porta MetricTM” es un tablet portátil, se muestra en la Figura 11. PortaMetrics utiliza inteligencia artificial e imágenes 3D para proporcionar información precisa, datos sin la necesidad de un objeto de escala de referencia (Figura 12). Para mejorar la precisión de la estimación del tamaño de la roca y eliminar las restricciones de uso escalar objetos, un sensor de imágenes 3D (Figura 13), como una cámara estereoscópica, se combina con una potente unidad de procesamiento para crear un

dispositivo portátil de análisis de fragmentación de rocas (Figura 14). En imágenes estéreo, se utilizan dos cámaras separadas espacialmente para capturar un objeto tridimensional, donde los ejes ópticos de las dos cámaras son paralelos y separados por una distancia conocida. La imagen estereoscópica permite extracción de información de profundidad de la imagen y proporciona las coordenadas del mundo real (x, y, z) de cada píxel. Adquirir las coordenadas del mundo real y las medidas de tamaño de objetos en las imágenes mediante el uso de un sensor 3D elimina la necesidad de un objeto de escala para estar presente en la escena. El uso de este método reduce los peligros potenciales asociados con acercarse a la cara del banco o caminar hacia arriba o hacia abajo por la pila de material. El uso de un sensor 3D para capturar una escena se basa en la presencia de miles de puntos de referencias. El cálculo de las medidas de tamaño mediante una nube de puntos 3D aumenta la precisión de fragmentación resulta al eliminar suposiciones sobre la geometría de la escena (es decir, escena plana, uniforme). Además, las restricciones en la línea de visión de una cámara se relajan. operando perpendicular a la escena porque el sensor 3D puede dar cuenta de la distancia a cada objeto individual y escala en consecuencia (MOTION METRICS, 2016)

En este trabajo de investigación para el análisis estadístico se tomará en cuenta 4 proyectos de voladura, el principal objetivo es comparar los resultados de P80 obtenidos en los proyectos disparados con el P80 límite requerido por concentradora (12 inch.)

Figura 10

Personal de mina colocando referencia



Nota: Motion Metrics

Figura 11

Tablet PortaMetrics



Nota: Con este equipo se puede seleccionar el área de interés, capturar y mostrar resultados al instante en campo (Motion Metrics).

Figura 12

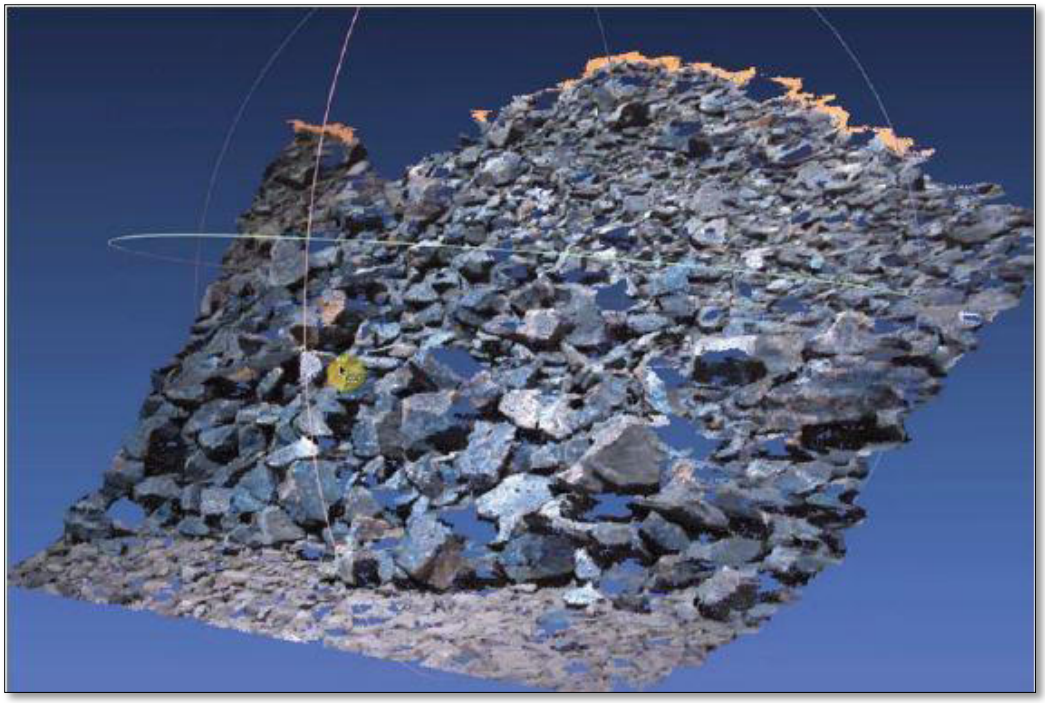
Personal de la mina usando sensor 3D



Nota: Motion Metrics

Figura 13

Imagen 3D



Nota: Motion Metrics

Figura 14

Análisis de tamaño de partículas



Nota: Motion Metrics

3.5.1.3 Velocidad de detonación (VOD)

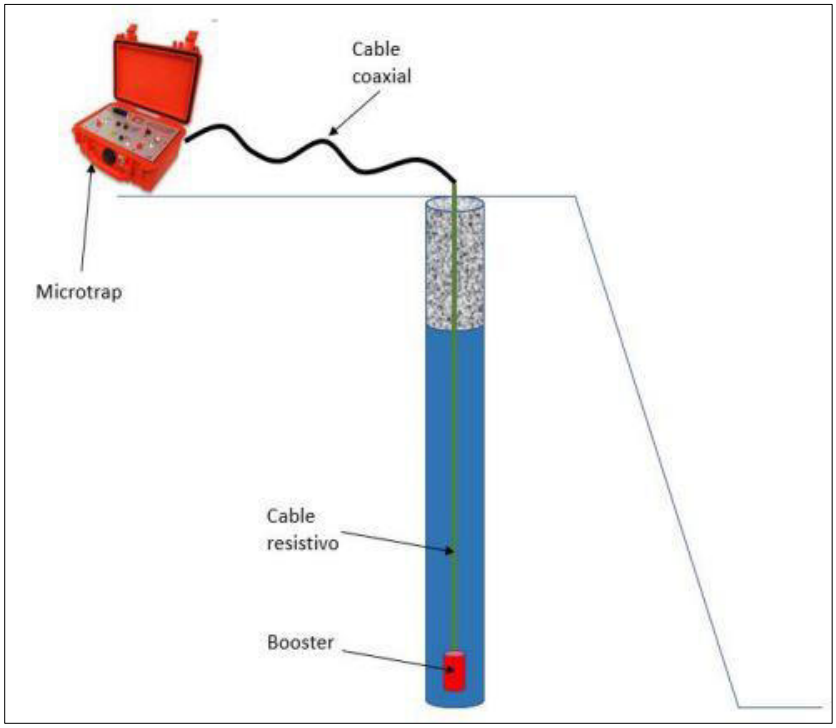
Para realizar el monitoreo de la velocidad de detonación (VOD), se utilizó un equipo MicroTrap de marca MREL

Ésta prueba consiste en medir la disminución de la resistencia de un circuito, a medida que el frente de detonación consume un cable resistivo, en la Figura 15 se muestra la instalación del MicroTrap. Esto se logra mediante la instalación de un cable de resistencia continuo (cable resistivo) cuya resistencia lineal es conocida (para este caso 10,8 ohm/m). El cable se adhiere al Booster o iniciador y se extiende a lo largo de la columna explosiva. A medida que el frente de detonación del explosivo consume el cable resistivo, la resistencia del corto circuito disminuirá en proporción a la reducción del largo del cable. De esta manera el MicroTrap registra la disminución resultante del ohmiaje en comparación con el tiempo. El software convierte los datos registrados en un gráfico de distancia versus tiempo, como se muestra en la Figura 16 La gradiente de este gráfico es la velocidad de detonación (Berto Zamora, 2019).

Durante las pruebas se realizaron mediciones de las velocidades de detonación de los explosivos empleados en el carguío, para determinar y evaluar el perfomance de la mezcla explosiva en los proyectos disparados. En el presente trabajo de investigación para el análisis estadístico se tomará en cuenta 5 proyectos de voladura (3565-0822_0823, 3355-0705, 3580-0831, 3565-0827, 3565-0825) tanto para la mezcla explosiva de la empresa Famesa explosivos S.A.C. y el actual proveedor, la comparación de resultados se realizará con el promedio de la VOD obtenida usando la mezcla explosiva SAN-G APU (usando el Microtrap), MEQ 73 y MEQ 82 (información proporcionada por mina).

Figura 15

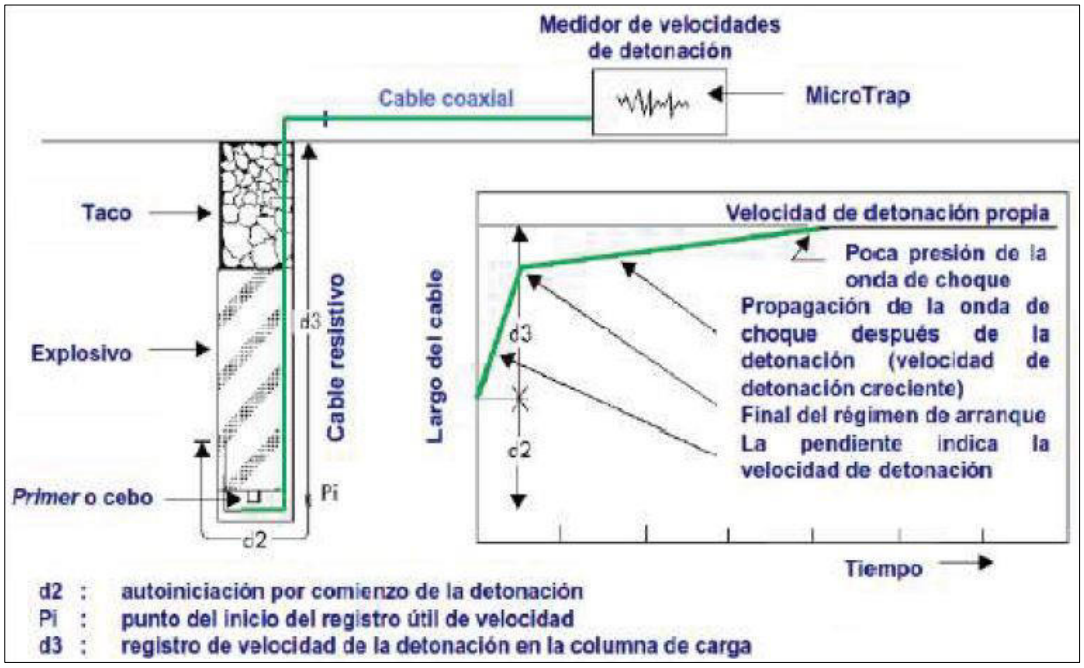
Instalación del MicroTrap



Nota: (Salas Flores, 2019)

Figura 16

Medición de la VOD



Nota: Medición de la VOD -Manual de voladura Exsa.

La Figura 16 muestra un esquema general del método de medición, donde el cable resistivo (en corto circuito) se coloca junto al Booster y posteriormente se conecta al cable coaxial, el cual finalmente se conecta con el MicroTrap (Salas Flores, 2019).

3.5.1.4 Velocidad de excavación o dig rate

La velocidad de excavación o DIG RATE está definida como la ratio entre el tonelaje o palyload y el tiempo de la excavación relevante y medida del tiempo de excavación es parte del ciclo, el cual es registrado en la base de datos de los sistemas de monitoreo de palas (Halatchev & Knights, 2007).

La fórmula para el cálculo de la velocidad de excavación o DIG RATE, se muestra en la Ecuación 9:

$$Velocidad\ de\ excavación\left(\frac{t}{hr}\right) = \frac{tonelaje\ nominal}{tiempo\ de\ carguio} \quad (9)$$

3.5.1.5 Gases nitrosos

Para evaluar la calidad de los gases nitrosos se toma en cuenta la calificación visual mostrada en la Figura 17 para la cual se toman fotografía o vídeos de la voladura.

Figura 17

Calificación visual Gases Nitrosos

Level	Typical Appearance
Level 0 No NOx gas	
Level 1 Slight NOx gas 1A Localised 1B Medium 1C Extensive	
Level 2 Minor yellow/orange gas 2A Localised 2B Medium 2C Extensive	
Level 3 Orange gas 3A Localised 3B Medium 3C Extensive	
Level 4 Orange/red gas 4A Localised 4B Medium 4C Extensive	
Level 5 Red/purple gas 5A Localised 5B Medium 5C Extensive	

Nota: Australian Explosives Industry And Safety Group Inc. (AEISG, 2011)

La intensidad de los Gases Nitrosos producidos se debe medir en una simple escala de 0 a 5 según la Figura 17. La extensión de los gases NOx también necesita ser evaluado y esto se realizará en una escala de A - C donde (AEISG, 2011):

A = Localizado (Es decir, los Gases Nitrosos son generados a partir de unos taladros de explosión).

B = Medio (Es decir, los Gases Nitrosos son generados de hasta el 50% de los taladros).

C = Extensivo (es decir, una amplia generación Gases Nitrosos en toda la explosión).

3.5.2 Instrumentos

- Equipo Microtrap usado para medir la velocidad de detonación.
- Balanza, vaso de 1 litro y espátula para medir la densidad.
- Equipo PortaMetrics para medir la fragmentación de la roca (P80).
- Software Fameware para el diseño de mallas de perforación.
- Cámara de alta definición.
- Drone para la filmación de voladura.
- Tabla de clasificación de gases nitrosos.

3.6 ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1 Observación Directa

Se observará los reportes obtenidos de los softwares utilizados para el desarrollo de este proyecto, el reporte de productividad de las palas, y fotografías, toda esta información es recabada con el objetivo de verificar los resultados de los parámetros de medición indicados en las técnicas de recolección de datos.

3.6.2 Tratamiento estadístico de datos

Se ejecutó la agrupación y análisis de datos de los resultados después de cada proyecto volado, donde se consideró, principios de estadística descriptiva, realizando la agrupación de los datos utilizando herramientas las cuales comprenden gráficos en barras, histogramas, de tal manera que nos permite visualizar, analizar y comparar los datos que forman parte de la muestra de este estudio.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 CONTROL DE DENSIDADES

La densidad es el resultado de dividir la masa entre el volumen. Para el control de densidad se toman muestras en toda la malla de manera aleatoria, para ello se utiliza el kit de densidades, el cual contiene un vaso volumétrico de 1 litro tarada, espátula, balanza calibrada y cronometro. Es necesario medir la densidad inicial y la densidad final después de 20 minutos de gasificación del explosivo, se recomiendan tomar las medidas cada 5 minutos, pero de ser necesario se puede tomar muestras en un intervalo menor, el propósito del control de la densidad es cumplir con la calidad del explosivo pues su valor está ligado a las características del mismo como por ejemplo la velocidad del explosivo, el poder rompedor, la resistencia al agua entre otras.

El control de densidades durante el desarrollo de estas pruebas fue de vital importancia para cumplir con la calidad del producto y obtener resultados satisfactorios en la voladura. En la Tabla 11 se detalla los resultados obtenidos relacionando la densidad y el tiempo para obtener la densidad final. En la Figura 18 se puede apreciar la curva de gasificación, se puede observar que en el transcurso de 20 minutos la densidad disminuye.

Tabla 11

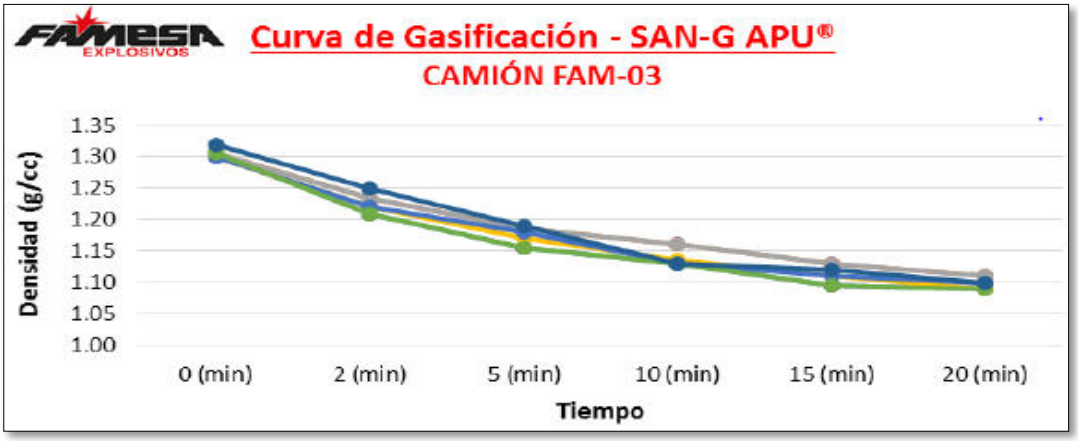
Promedio de cada control de densidad por proyecto ejecutado del camión FAM 03

PROYECTO	3580 833	3565 822-823	3355 705	3550 801	3580 831	3565 827	365 825
CONTROL DE GASIFICACIÓN	DENSIDAD (g/cc)	DENSIDAD (g/cc)	DENSIDAD (g/cc)	DENSIDAD (g/cc)	DENSIDAD (g/cc)	DENSIDAD (g/cc)	DENSIDAD (g/cc)
0 (min)	1.31	1.31	1.31	1.30	1.30	1.31	1.31
2 (min)	1.21	1.24	1.24	1.22	1.22	1.21	1.25
5 (min)	1.16	1.19	1.19	1.17	1.18	1.16	1.19
10 (min)	1.13	1.16	1.16	1.14	1.13	1.13	1.13
15 (min)	1.10	1.13	1.13	1.11	1.11	1.10	1.12
20 (min)	1.09	1.11	1.11	1.09	1.10	1.09	1.10

Nota: en la tabla se observa la densidad obtenida después del proceso de gasificación desde 0 minutos hasta los 20 minutos – Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Figura 18

Curva de gasificación camión FAM 03



Nota: En la figura se puede observar la variación de la densidad en función del tiempo-Camión fábrica FAM 03.

4.2 FACTOR DE POTENCIA

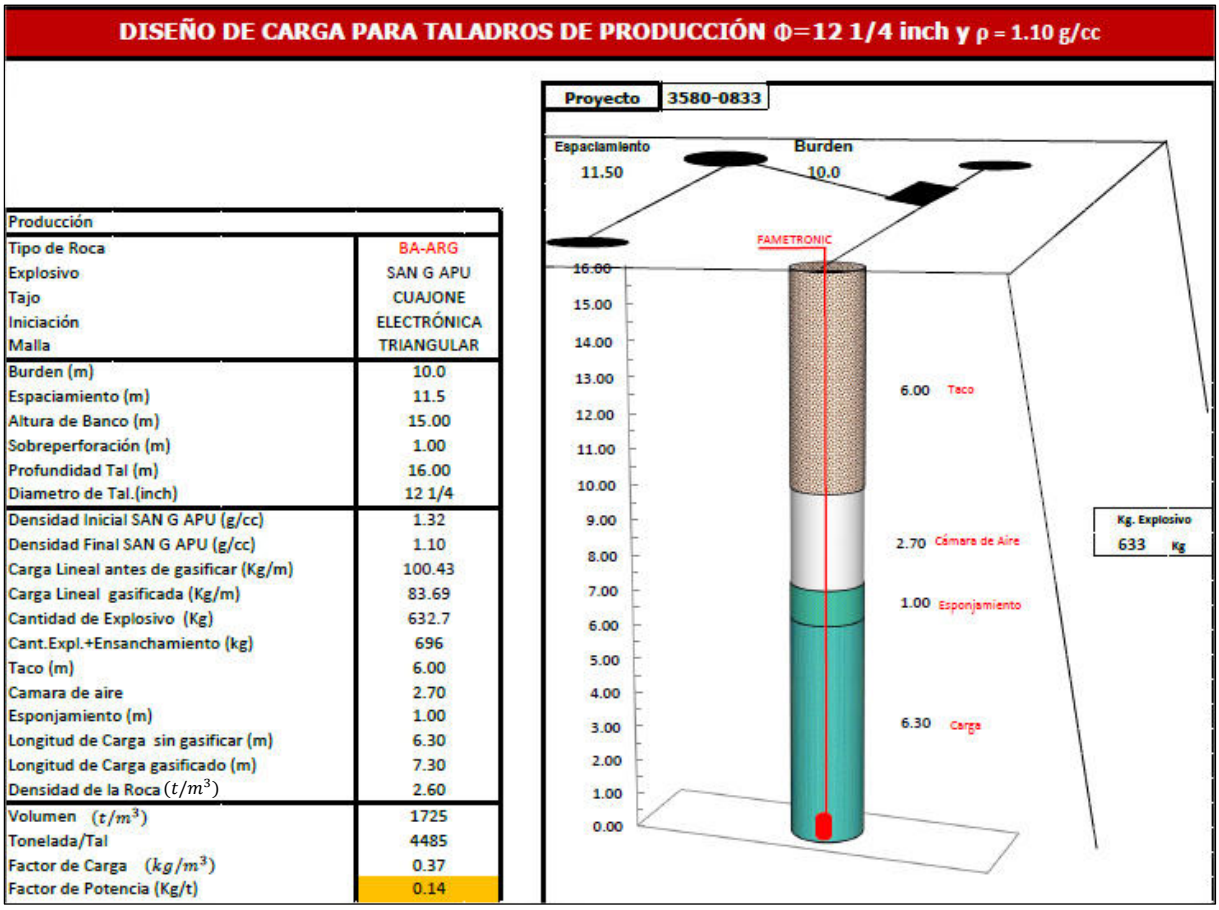
4.2.1 Factor de potencia de diseño

Para encontrar el factor de potencia de diseño se tomará como datos de línea base a los cálculos realizados con los parámetros de diseño del explosivo del actual proveedor.

En el proyecto 3580-0833 se diseñó una malla con un total de 160 taladros de producción (ANEXO 1). Para encontrar el valor del factor de potencia se realizó el cálculo de 1 taladro de producción, así como se muestra en la Figura 19 donde también se detalla los parámetros de diseño, se obtiene que son necesarios 632.7 kg de explosivo para volar 4,485 toneladas material, teniendo este dato se procede a multiplicar por la cantidad total de los taladros que conforman la malla de voladura, en consecuencia, se necesita 101,232 kg de explosivo para fragmentar 717,600 toneladas. Finalmente se divide la cantidad de explosivo entre la cantidad de material a fragmentar, lo cual nos da un factor de potencia promedio de diseño de 0.141 kg/t para el proyecto 3580-0833.

Figura 19

Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3580-0833



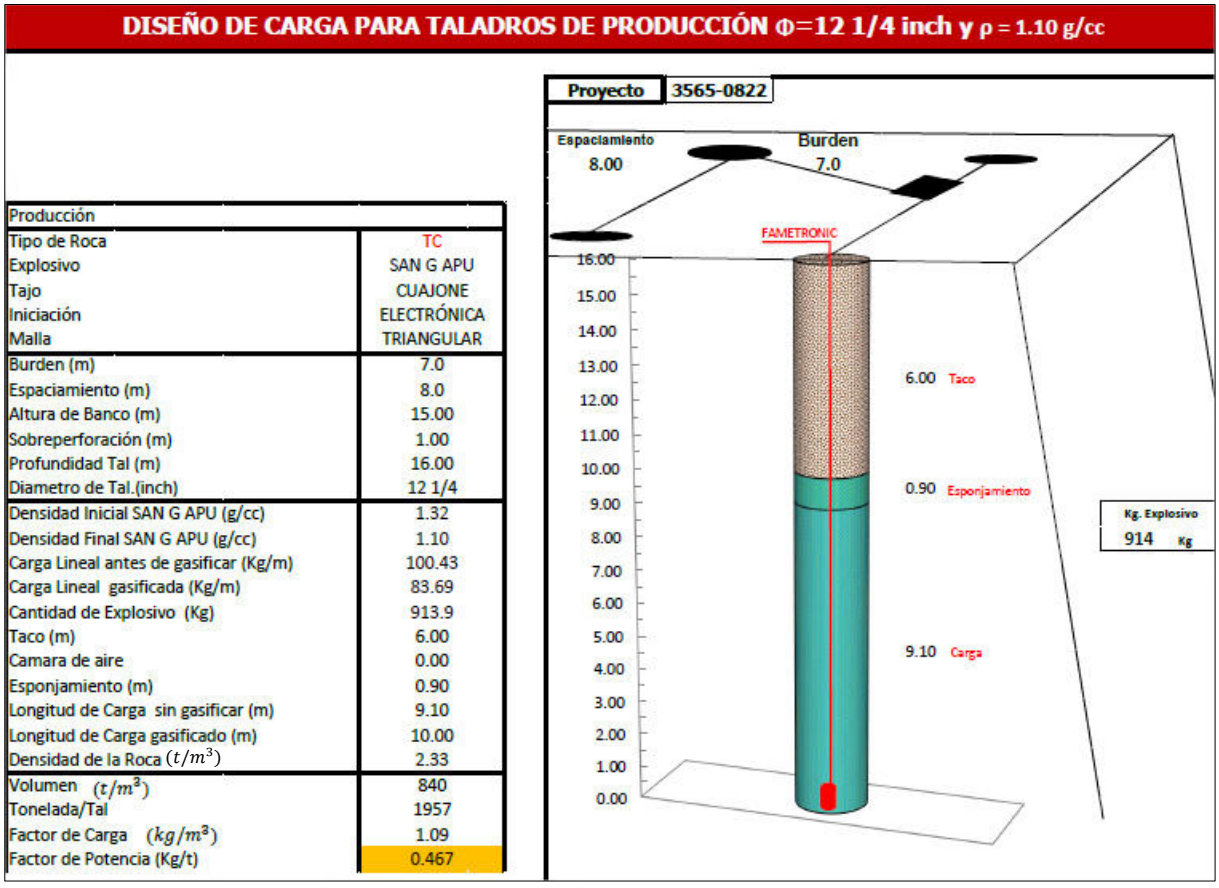
Producción	
Tipo de Roca	BA-ARG
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	10.0
Espaciamiento (m)	11.5
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	1.00
Profundidad Tal (m)	16.00
Diametro de Tal.(inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	632.7
Cant.Expl.+Ensanchamiento (kg)	696
Taco (m)	6.00
Camara de aire	2.70
Esponjamiento (m)	1.00
Longitud de Carga sin gasificar (m)	6.30
Longitud de Carga gasificado (m)	7.30
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.60
Volumen (t/m^3)	1725
Tonelada/Tal	4485
Factor de Carga (kg/m^3)	0.37
Factor de Potencia (Kg/t)	0.14

Nota: Elaboración propia

En el proyecto 3565-0822_0823 se diseñó una malla con un total de 226 taladros de producción (ANEXO 2). Para encontrar el valor del factor de potencia se realizó el cálculo de 1 taladro de producción, así como se muestra en la Figura 20 donde también se detalla los parámetros de diseño, el cálculo indica que son necesarios 913.9 kg de explosivo para volar 1957 toneladas material, teniendo este dato se procede a multiplicar por la cantidad total de los taladros que conforman la malla de voladura, en consecuencia, se necesita 206,541.4 kg de explosivo para fragmentar 442,327.2 toneladas. Finalmente, se divide la cantidad de explosivo entre la cantidad de material a fragmentar, lo cual nos da un tenemos un factor de potencia promedio de diseño de 0.467 kg/t para el proyecto 3565-0822_0823.

Figura 20

Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3580-0822_0823



Producción	
Tipo de Roca	TC
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	7.0
Espaciamiento (m)	8.0
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	1.00
Profundidad Tal (m)	16.00
Diametro de Tal.(inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	913.9
Taco (m)	6.00
Camara de aire	0.00
Esponjamiento (m)	0.90
Longitud de Carga sin gasificar (m)	9.10
Longitud de Carga gasificado (m)	10.00
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.33
Volumen (t/m^3)	840
Tonelada/Tal	1957
Factor de Carga (kg/m^3)	1.09
Factor de Potencia (Kg/t)	0.467

Nota: Elaboración propia

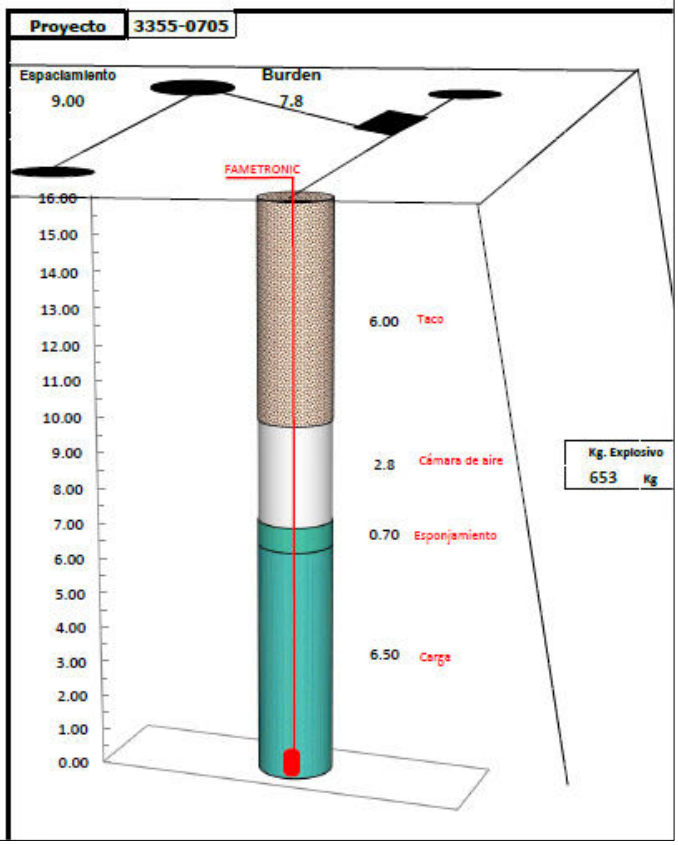
En el proyecto 3355-0705 se diseñó una malla con un total de 265 taladros de producción (ANEXO 3). Para encontrar el valor del factor de potencia se realizó el cálculo de 1 taladro de producción, así como se muestra en la Figura 21 donde también se detalla los parámetros de diseño, se obtiene que son necesarios 652.8 kg de explosivo para fragmentar 2,738 toneladas material, teniendo este dato se procede a multiplicar por la cantidad total de los taladros que conforman la malla de voladura, en consecuencia, se necesita 172,992 kg de explosivo para volar 725,570 toneladas. Finalmente, se divide la cantidad de explosivo entre la cantidad de material a fragmentar, lo cual nos da un factor de potencia promedio de diseño de 0.238 kg/t para el proyecto 3355-0705.

Figura 21

Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3355-0705

DISEÑO DE CARGA PARA TALADROS DE PRODUCCIÓN Φ=12 1/4 inch y ρ = 1.10 g/cc

Producción	
Tipo de Roca	BA-ARG
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	7.8
Espaciamiento (m)	9.0
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	1.00
Profundidad Tal (m)	16.00
Diametro de Tal.(inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	652.8
Cant.Expl.+Ensanchamiento (kg)	718
Taco (m)	6.00
Camara de aire	2.80
Esponjamiento (m)	0.70
Longitud de Carga sin gasificar (m)	6.50
Longitud de Carga gasificado (m)	7.20
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.60
Volumen (t/m^3)	1053
Tonelada/Tal	2738
Factor de Carga (kg/m^3)	0.62
Factor de Potencia (Kg/t)	0.238



Nota: Elaboración propia

En el proyecto 3550-0801 se diseñó una malla con un total de 542 taladros (ANEXO 4), conformado por 486 taladros de producción y 56 taladros de buffer. Para encontrar el valor del factor de potencia de los taladros de producción se realizó el cálculo para 1 taladro, así como se muestra en la Figura 22 tomando en cuenta los parámetros de diseño, donde se obtiene que son necesarios 954.1 kg de explosivo para fragmentar 1957 toneladas material, teniendo este dato se procede a multiplicar por la cantidad total de taladros de producción que conforman la malla de voladura, en consecuencia, se necesita 463,692.6 kg de explosivo para volar 951,102 toneladas. Para encontrar el valor del factor de potencia de los taladros de buffer se realizó el cálculo para 1 taladro mostrado en la Figura 23, según el cálculo se necesitan 201 kg de explosivo para fragmentar 1223 toneladas de material, teniendo este dato se procede a multiplicar por la cantidad total de taladros de buffer que conforman

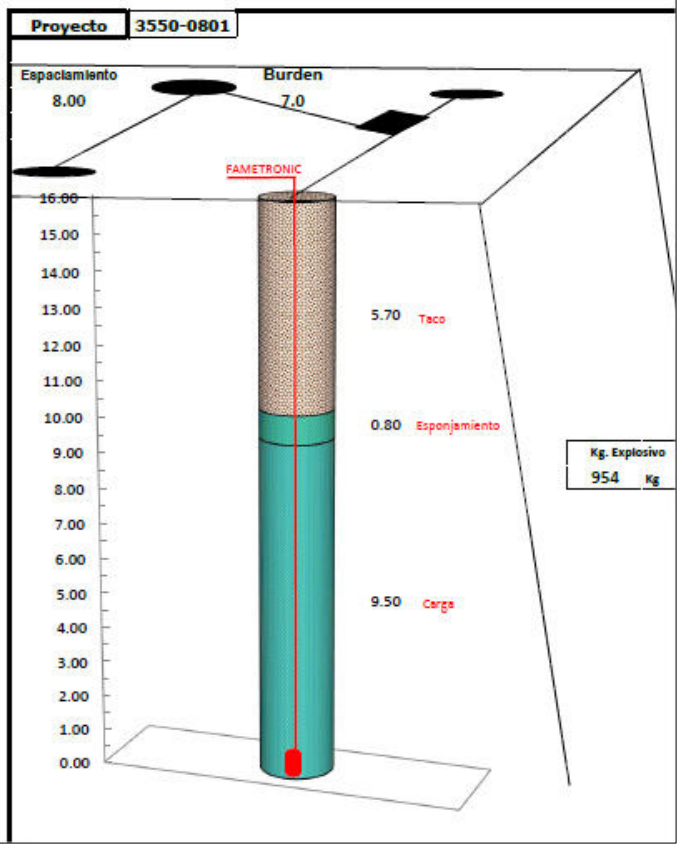
la malla de voladura, en consecuencia, se necesita 11,256 kg de explosivo para fragmentar 68,488 toneladas. Por lo tanto, se necesitan en promedio 474,948.6 kg de explosivo para fragmentar 1,019,590 toneladas de material en el proyecto 3550-0801. Finalmente, se divide la cantidad de explosivo entre la cantidad de material a fragmentar, lo cual nos da un factor de potencia promedio de 0.466 kg/t para el proyecto 3550-0801.

Figura 22

Cálculo de Factor de Potencia taladro producción Proyecto 3550-0801

DISEÑO DE CARGA PARA TALADROS DE PRODUCCIÓN Φ=12 1/4 inch y ρ = 1.10 g/cc

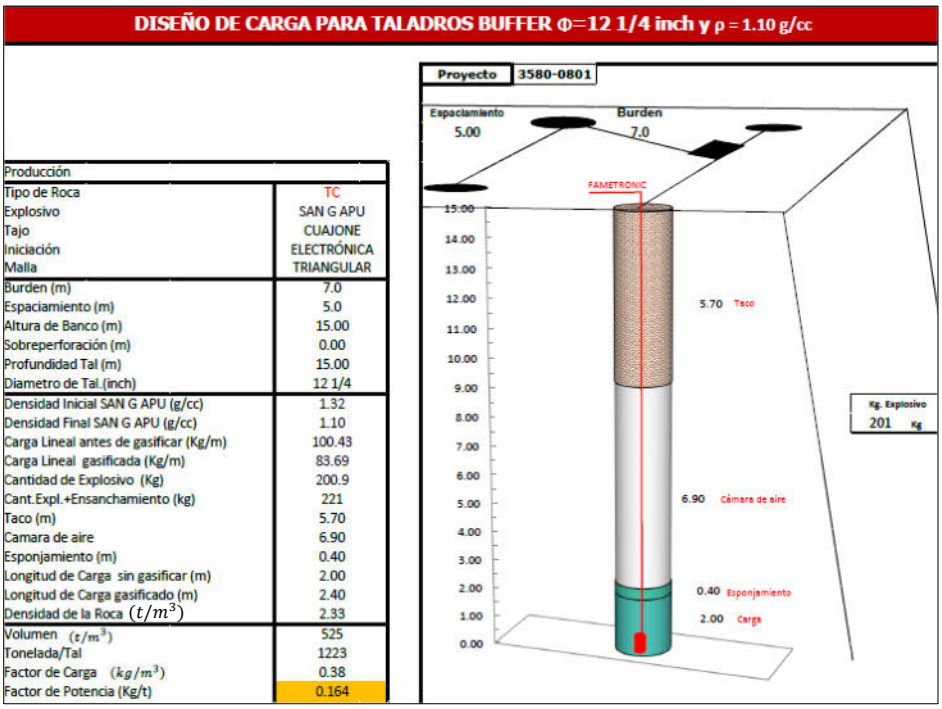
Producción	
Tipo de Roca	TC
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	7.0
Espaciamiento (m)	8.0
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	1.00
Profundidad Tal (m)	16.00
Diametro de Tal.(inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	954.1
Cant.Expl.+Ensanchamiento (kg)	1049
Taco (m)	5.70
Camara de aire	0.00
Esponjamiento (m)	0.80
Longitud de Carga sin gasificar (m)	9.50
Longitud de Carga gasificado (m)	10.30
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.33
Volumen (t/m^3)	840
Tonelada/Tal	1957
Factor de Carga (kg/m^3)	1.14
Factor de Potencia (Kg/t)	0.487



Nota: Elaboración propia

Figura 23

Cálculo de Factor de Potencia taladro buffer Proyecto 3550-0801

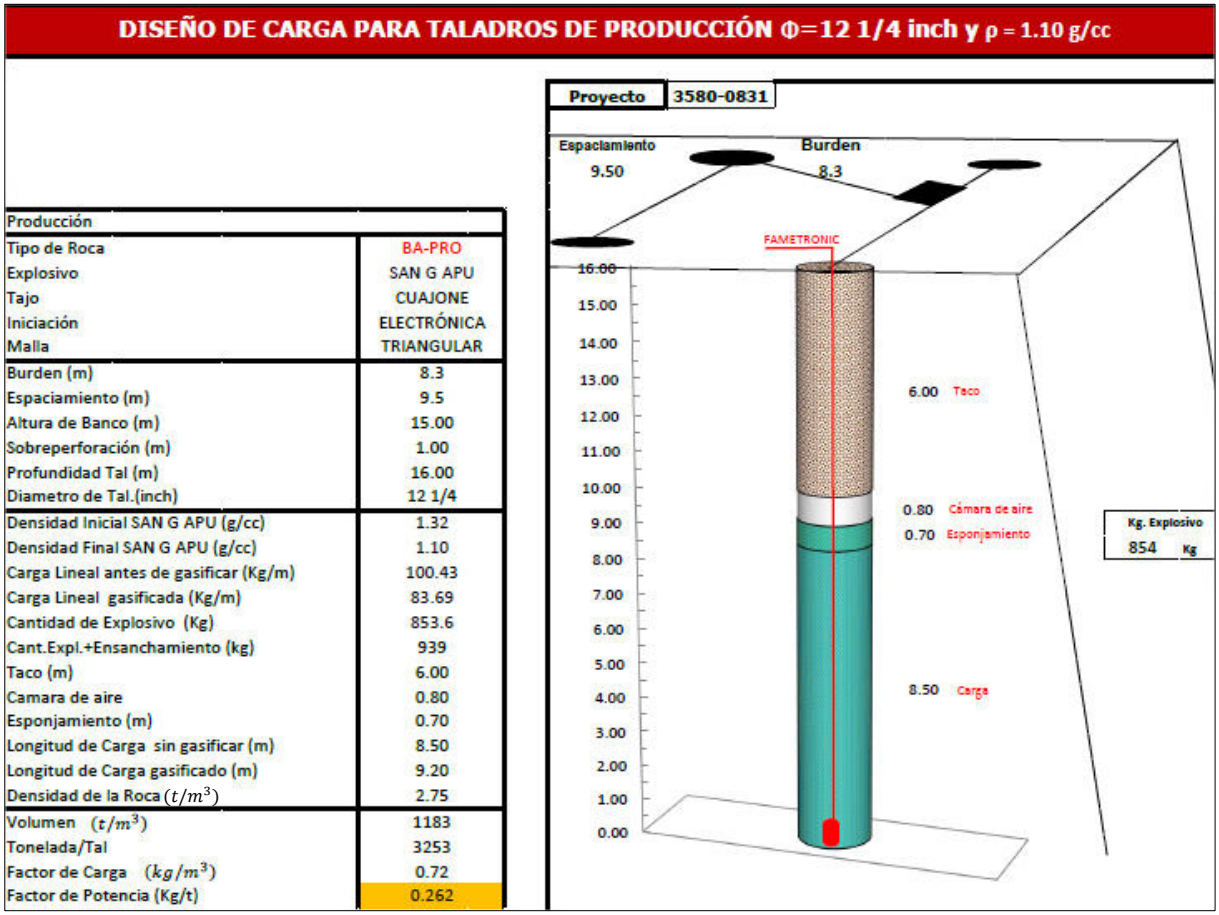


Nota: Elaboración propia

En el proyecto 3580-0831 se diseñó una malla con un total de 80 taladros de producción (ANEXO 5). Para encontrar el valor del factor de potencia se realizó el cálculo de 1 taladro de producción, así como se muestra en la Figura 24 donde también se detalla los parámetros de diseño, de acuerdo a los cálculos realizados nos indica que son necesarios 853.6 kg de explosivo necesarios para volar 3,253 toneladas material, teniendo este dato se procede a multiplicar por la cantidad total de los taladros que conforman la malla de voladura, en consecuencia, se necesita 68,288 kg de explosivo para volar 260,240 toneladas. Finalmente, se divide la cantidad de explosivo entre la cantidad de material a fragmentar, lo cual nos da un factor de potencia promedio de diseño de 0.262 kg/t para el proyecto 3580-0831.

Figura 24

Cálculo de Factor de Potencia Proyecto 3580-0831



Producción	
Tipo de Roca	BA-PRO
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	8.3
Espaciamiento (m)	9.5
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	1.00
Profundidad Tal (m)	16.00
Diametro de Tal.(inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	853.6
Cant.Expl.+Ensanchamiento (kg)	939
Taco (m)	6.00
Camara de aire	0.80
Esponjamiento (m)	0.70
Longitud de Carga sin gasificar (m)	8.50
Longitud de Carga gasificado (m)	9.20
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.75
Volumen (t/m^3)	1183
Tonelada/Tal	3253
Factor de Carga (kg/m^3)	0.72
Factor de Potencia (Kg/t)	0.262

Nota: Elaboración propia

En el proyecto 3565-0827 se diseñó una malla con un total de 182 taladros (ANEXO 6), conformado por 165 taladros de producción y 17 taladros de buffer. Para encontrar el valor del factor de potencia se realizó el cálculo de 1 taladro de producción, así como se muestra en la Figura 25 donde también se detalla los parámetros de diseño, según el cálculo realizado son necesarios 853.6 kg de explosivo para volar 1957 toneladas material, teniendo este dato podemos multiplicarlo por los 165 taladros, en consecuencia, se necesita 140,844 kg de explosivo para volar 322,905 toneladas. Para encontrar el factor de potencia en la Figura 26 se muestra el cálculo de 1 taladro buffer, donde nos indica que se necesitan 201 kg de explosivo para fragmentar 1223 toneladas material, teniendo este dato podemos multiplicarlo por los 17 taladros, en consecuencia, se necesita 3,415.3 kg de explosivo para volar 20,791 toneladas. Por lo tanto, se necesitan 144,259.3 kg de explosivo para volar 343,696 toneladas de material. Finalmente, se divide la cantidad de explosivo entre la cantidad de material a

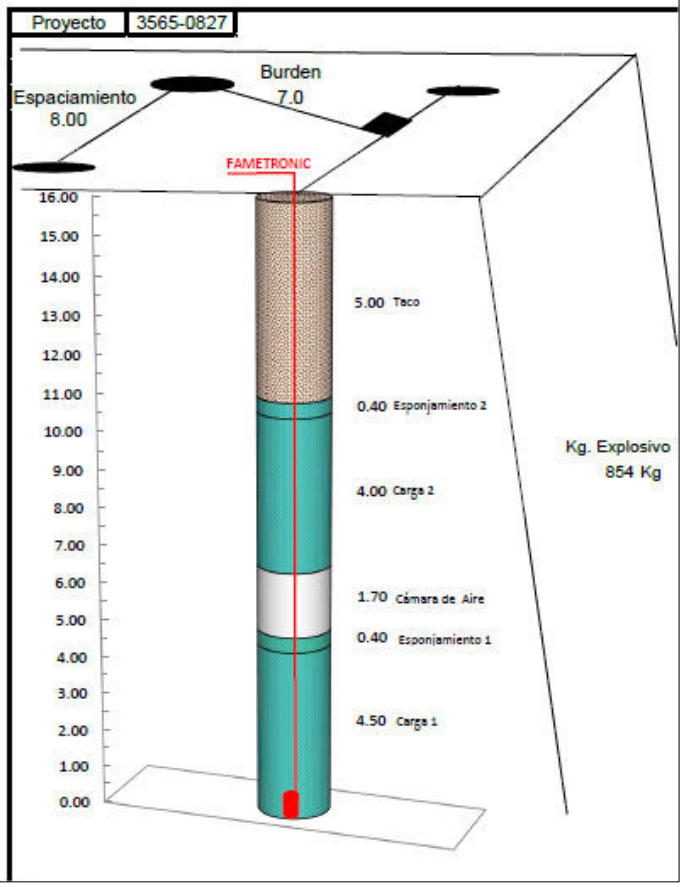
fragmentar, lo cual nos da un factor de potencia promedio de diseño de 0.420 kg/t para el proyecto 3565-0827.

Figura 25

Cálculo de Factor de Potencia taladro de producción Proyecto 3565-0827

DISEÑO DE CARGA PARA TALADROS DE PRODUCCIÓN Φ=12 1/4 inch y ρ = 1.10 g/cc

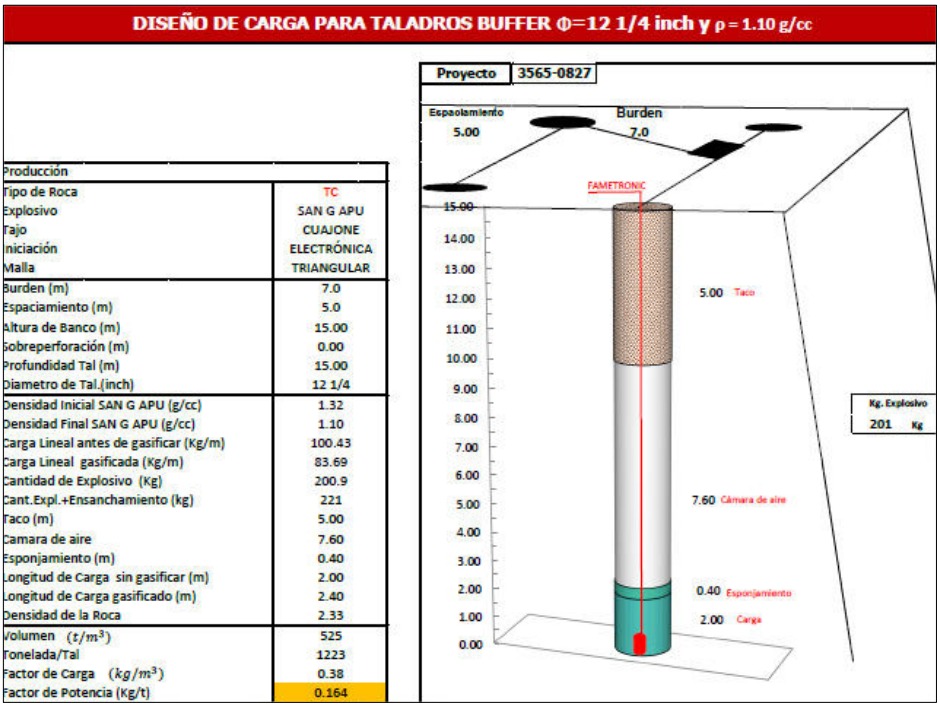
Producción	
Tipo de Roca	TC
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	7.0
Espaciamiento (m)	8.0
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	1.00
Profundidad Tal (m)	16.00
Diametro de Tal (inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	853.6
Cant.Expl.+Ensanchamiento (kg)	855
Taco (m)	5.00
Camara de aire	1.70
Esponjamiento 2 (m)	0.40
Longitud de Carga 2 sin gasificar (m)	4.00
Esponjamiento 1 (m)	0.40
Longitud de Carga 1 sin gasificar (m)	4.50
Longitud de Carga gasificado (m)	9.30
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.33
Volumen (t/m^3)	840
Tonelada/tal	1957
Factor de Carga (kg/m^3)	1.02
Factor de Potencia (Kg/t)	0.436



Nota: Elaboración propia

Figura 26

Cálculo de Factor de Potencia taladro buffer Proyecto 3565-0827



Nota: Elaboración propia

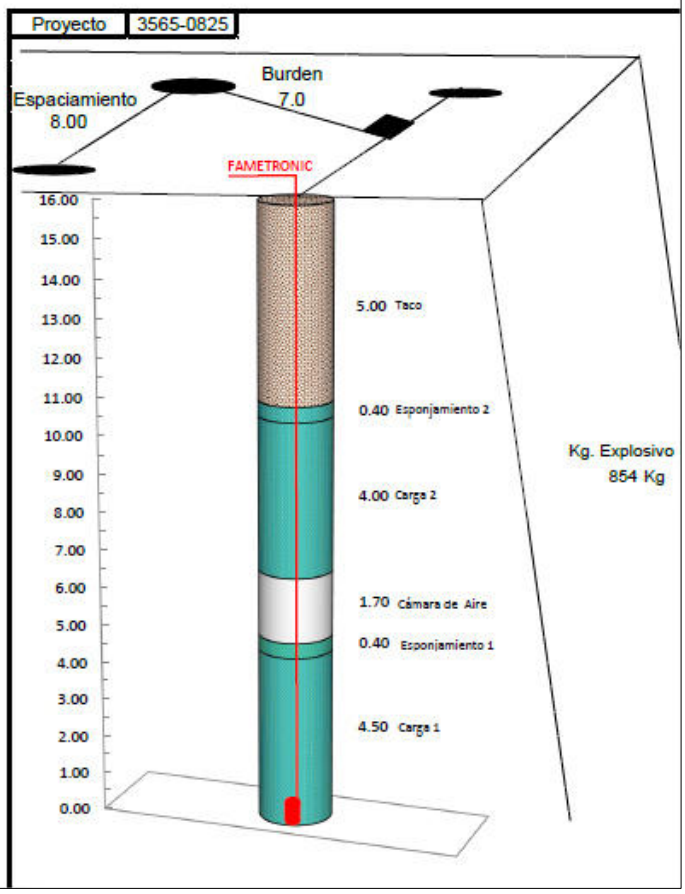
En el proyecto 3565-0825 se diseñó una malla con un total de 401 taladros (ANEXO 7), conformado por 370 taladros de producción y 31 taladros de buffer. Para encontrar el factor de potencia promedio, primero se realiza el cálculo de 1 taladro de producción el cual se muestra en la Figura 27 de acuerdo a los parámetros de diseño ya establecidos obteniendo 853.6 kg de explosivo necesarios para fragmentar 1,957 toneladas material, teniendo este dato podemos multiplicarlo por los 370 taladros, en consecuencia, se necesita 315,832 kg de explosivo para volar 724,090 toneladas. Para encontrar el valor del factor de potencia de los taladros de buffer se realizó el cálculo de 1 taladro como se muestra en la Figura 28, según el cálculo realizado son necesarios 201 kg de explosivo necesarios para fragmentar 1,223 toneladas material, teniendo este dato podemos multiplicarlo por los 31 taladros, en consecuencia, se necesita 6,227.9 kg de explosivo para volar 37,913 toneladas. Por lo tanto, se necesitan 322,059.9 kg de explosivo para volar 762,003 toneladas de material. Finalmente, se divide la cantidad de explosivo entre la cantidad de material a fragmentar, lo cual nos da un factor de potencia promedio teórico de 0.423 kg/t para el proyecto 3565-0825.

Figura 27

Cálculo de Factor de Potencia taladro producción Proyecto 3565-0825

DISEÑO DE CARGA PARA TALADROS DE PRODUCCIÓN Φ=12 1/4 inch y ρ = 1.10 g/cc

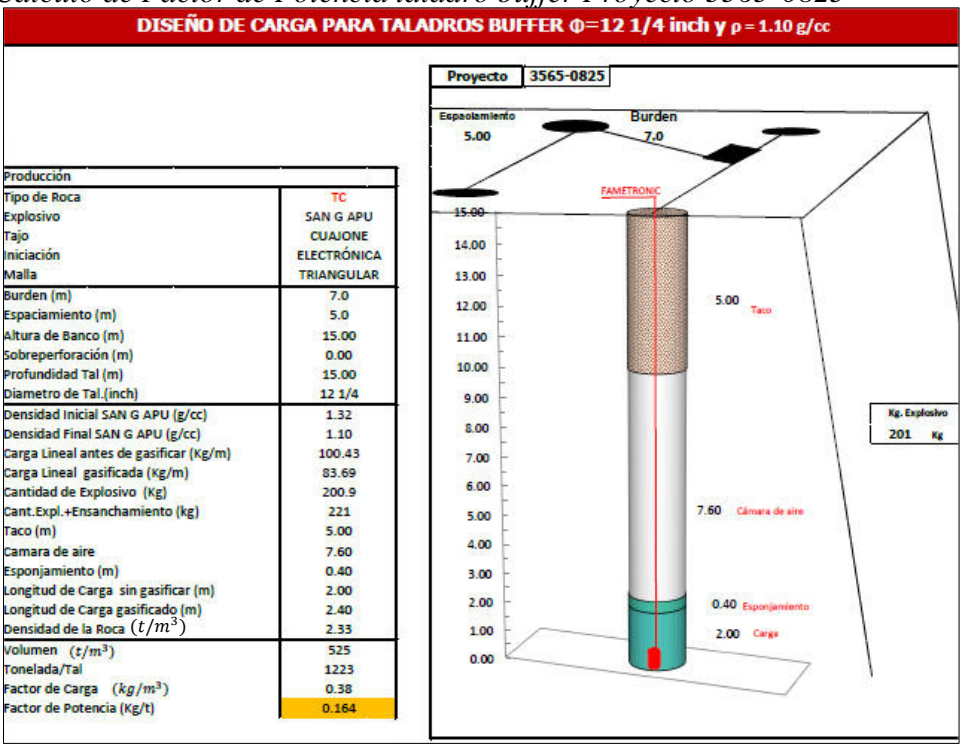
Producción	
Tipo de Roca	TC
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	7.0
Espaciamiento (m)	8.0
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	1.00
Profundidad Tal (m)	16.00
Diametro de Tal (inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	853.6
Cant.Expl.+Ensanchamiento (kg)	855
Taco (m)	5.00
Camara de aire	1.70
Esponjamiento 2 (m)	0.40
Longitud de Carga 2 sin gasificar (m)	4.00
Esponjamiento 1 (m)	0.40
Longitud de Carga 1 sin gasificar (m)	4.50
Longitud de Carga gasificado (m)	9.30
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.33
Volumen (t/m^3)	840
Tonelada/tal	1957
Factor de Carga (kg/m^3)	1.02
Factor de Potencia (Kg/t)	0.436



Nota: Elaboración propia

Figura 28

Cálculo de Factor de Potencia taladro buffer Proyecto 3565-0825



DISEÑO DE CARGA PARA TALADROS BUFFER Φ=12 1/4 inch y ρ = 1.10 g/cc

Producción	
Tipo de Roca	TC
Explosivo	SAN G APU
Tajo	CUAJONE
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	7.0
Espaciamiento (m)	5.0
Altura de Banco (m)	15.00
Sobreperforación (m)	0.00
Profundidad Tal (m)	15.00
Diametro de Tal.(inch)	12 1/4
Densidad Inicial SAN G APU (g/cc)	1.32
Densidad Final SAN G APU (g/cc)	1.10
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	100.43
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	83.69
Cantidad de Explosivo (Kg)	200.9
Cant.Expl.+Ensanchamiento (kg)	221
Taco (m)	5.00
Camara de aire	7.60
Esponjamiento (m)	0.40
Longitud de Carga sin gasificar (m)	2.00
Longitud de Carga gasificado (m)	2.40
Densidad de la Roca (t/m^3)	2.33
Volumen (t/m^3)	525
Tonelada/Tal	1223
Factor de Carga (kg/m^3)	0.38
Factor de Potencia (Kg/t)	0.164

Nota: Elaboración propia

4.2.2 Factor de potencia usado

El cálculo del factor de potencia se realiza después de tener el registro de la cantidad de explosivo consumido y la cantidad de material volado.

En el proyecto 3580-0833, se realizó una voladura con un total de 160 taladros de producción, se consumió una carga total de 107482 kg de explosivo y se fragmentó 717600 toneladas de roca. Como se describió en el capítulo de metodología, el factor de potencia es el resultado de dividir la cantidad de explosivo entre el material fragmentado, teniendo estos dos datos necesarios, se obtiene un factor de potencia de 0.15 kg/t.

En el proyecto 3565-0822_0823 se realizó una voladura con un total de 226 taladros, donde se utilizaron 195830 kg de emulsión SAN- APU para fragmentar 436455 toneladas de roca. Como se describió en el capítulo de metodología, el factor de potencia es el resultado de dividir la cantidad de explosivo entre el material fragmentado, teniendo estos dos datos necesarios, se obtiene un factor de potencia de 0.447 kg/t.

En el proyecto 3355-0705 se realizó una voladura con un total de 265 taladros donde se utilizaron 149959 kg de emulsión SAN- APU para fragmentar 644756 toneladas de roca. Como se describió en el capítulo de metodología, el factor de potencia es el resultado de dividir la cantidad de explosivo entre el material fragmentado, teniendo estos dos datos, se obtiene un factor de potencia de 0.233 kg/t.

En el proyecto 3550-0801 se realizó una voladura con un total de 542 taladros donde se utilizaron 457095 kg de emulsión SAN-G APU para fragmentar 958910 toneladas de roca. Como se describió en el capítulo de metodología, el factor de potencia es el resultado de dividir la cantidad de explosivo entre el material fragmentado, teniendo estos dos datos, se obtiene un factor de potencia de 0.477 kg/t.

En el proyecto 3580-0831 se realizó una voladura con un total de 80 taladros donde se utilizaron 60136 kg de emulsión SAN-G APU para fragmentar 260205 toneladas de roca. Como se describió en el capítulo de metodología, el factor de potencia es el resultado de dividir la cantidad de explosivo entre el material fragmentado, teniendo estos dos datos, se obtiene un factor de potencia de 0.231 kg/t.

En el proyecto 3565-0827 se realizó una voladura con un total de 182 taladros donde se utilizaron 145381 kg de emulsión SAN-G APU para fragmentar 343696 toneladas de roca. Como se describió en el capítulo de metodología, el factor de potencia es el resultado de dividir la cantidad de explosivo entre el material fragmentado, teniendo estos dos datos, se obtiene un factor de potencia de 0.423 kg/t.

En el proyecto 3565-0825 se realizó una voladura con un total de 401 taladros donde se utilizaron 321279 kg de emulsión SAN-G APU para fragmentar 762003 toneladas de roca. Como se describió en el capítulo de metodología, el factor de potencia es el resultado de dividir la cantidad de explosivo entre el material fragmentado, teniendo estos dos datos, se obtiene un factor de potencia de 0.422 kg/t.

En la Tabla 12 se muestran el resumen de los resultados obtenidos en los disparos con fecha 29 agosto, 02 septiembre, 05 de septiembre, 12 de septiembre, 27 de septiembre y 05 de octubre. Asimismo, en la Figura 29 se muestra un gráfico comparativo de los resultados obtenidos.

Tabla 12

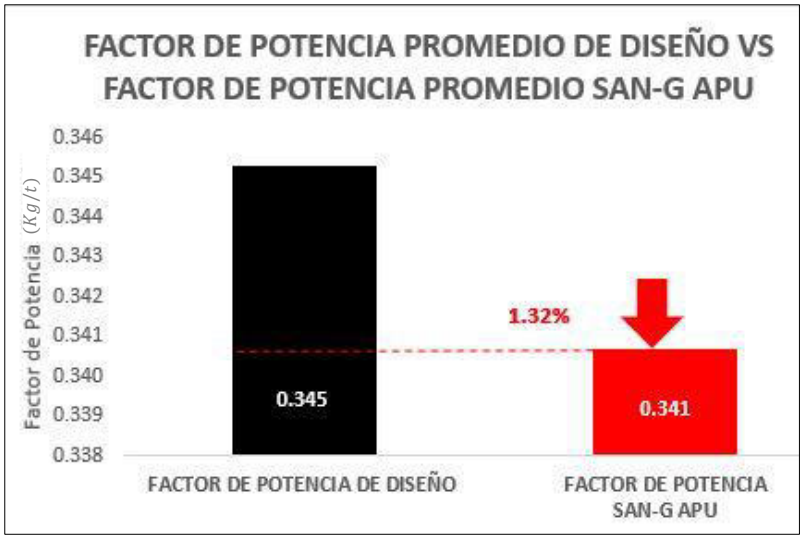
Factor de potencia de los proyectos ejecutados

FECHA	PROYECTO	FACTOR DE POTENCIA USADO (kg/t)	FACTOR DE POTENCIA DE DISEÑO (kg/t)
29-Ago	3580-0833	0.15	0.141
2-Set	3565-0822_0823	0.449	0.467
5-Set	3355-0705	0.233	0.238
12-Set	3550-0801	0.477	0.466
12-Set	3580-0831	0.231	0.262
27-Set	3565-0827	0.423	0.420
5-Oct	3565-0825	0.422	0.423
	Promedio	**0.341**	**0.345**

Nota: Resultado del Factor potencia usando SAN-G APU frente al factor de potencia de diseño-(Famesa Explosivos – Asistencia técnica)

Figura 29

Factor de potencia promedio



Nota: Elaboración propia

4.3 ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

El P80 es un indicador de granulometría de una muestra de material que nos indica si la muestra de material, en general, tiene fragmentación gruesa o fina. El P80 es obtenido a partir de la curva de distribución granulométrica, y representa al tamaño de partícula, tal que, el 80% de todos los fragmentos son menores a este tamaño. Así por ejemplo si el P80 de una distribución granulométrica es de 100 mm, esto indica que el 80% de todos los fragmentos son menores o iguales a 100 mm. El P80

es un proceso clave en la minería moderna, ya que es un indicador granulométrico que permite identificar la eficiencia del proceso de voladura. Para la determinación de la granulometría observada en una voladura (para evaluar si la voladura fue exitosa en términos de fragmentación), se emplea el término P80, que se define como el 80% del pasante de una muestra (Cruz Bermúdez, 2018).

Para el análisis de fragmentación se consideró necesario evaluar 4 proyectos (3565-0822_0823, 3580-0833, 3355-0705 y 3580-0831) como muestra representativa, los tres proyectos no incluidos son del mismo tipo de roca y tienen los mismos parámetros de diseño que el proyecto 3565-0822-0823. Para el comparativo de resultados se tomará como línea base el tamaño de P80 solicitado por mina, que nos indica que, para desmonte, si obtenemos un P80 mayor a 12 pulgadas se ha obtenida una fragmentación regular, en cambio sí, el P80 obtenido es menor a 12 pulgadas la fragmentación es ideal. Para el análisis granulométrico se realizó el seguimiento los días 06 de septiembre (ANEXO 8), 07 de septiembre (ANEXO 9), 08 de septiembre (ANEXO 10), 09 de septiembre (ANEXO 11), 10 de septiembre (ANEXO 12), 11 de septiembre (ANEXO 13), 13 de septiembre (ANEXO 15), 20 de septiembre (ANEXO 17) y 21 de septiembre (ANEXO 18). Para el análisis granulométrico de la fase 7 se realizó el seguimiento los días 12 de septiembre (ANEXO 14) y 14 de septiembre (ANEXO 16).

En la Tabla 13 se detalla los resultados obtenidos del análisis realizado en los frentes de minado cargados y disparados con SAN-G APU.

Tabla 13

Tabla de resumen P80

FECHA	FASE	MALLA	B (m)	S (m)	P80 (inch)	TIPO DE EXPLOSIVO	EQUIPO	FACTOR POTENCIA
06-sep	8	3565-0822_0823	7.00	8.00	24.92	SAN-G APU	PALA 06	0.45
07-sep	8	3565_0822_0823	7.00	8.00	14.84	SAN-G APU	PALA 06	0.45
08-sep	8	3565_0822_0823	7.00	8.00	18.07	SAN-G APU	PALA 06	0.45
09-sep	8	3565_0822_0823	7.00	8.00	12.48	SAN-G APU	PALA 06	0.45
10-sep	8	3565_0822_0823	7.00	8.00	24.80	SAN-G APU	PALA 06	0.45
11-sep	8	3580-0833	10.00	11.50	10.12	SAN-G APU	PALA 07	0.15
12-sep	7	3355-0705	7.80	9.00	8.11	SAN-G APU	PALA 04	0.23
13-sep	8	3580-0833	10.00	11.50	8.46	SAN-G APU	PALA 07	0.15
14-sep	7	3355-0705	7.80	9.00	5.28	SAN-G APU	PALA 04	0.23
20-sep	8	3580-0831	8.30	9.50	6.73	SAN-G APU	PALA 07	0.23
21-sep	8	3580-0831	8.30	9.50	10.55	SAN-G APU	PALA 07	0.23
		PROMEDIO			**13.12**			

Nota: Elaboración propia

RESULTADOS DEL P80 POR FASES

A continuación, en la Tabla 14 se muestra la fragmentación analizada por fase, nivel y proyecto. En la Figura 30 se presenta un histograma en el cual se realiza un comparativo entre el P80 promedio por fase y el P80 establecido por mina.

Tabla 14

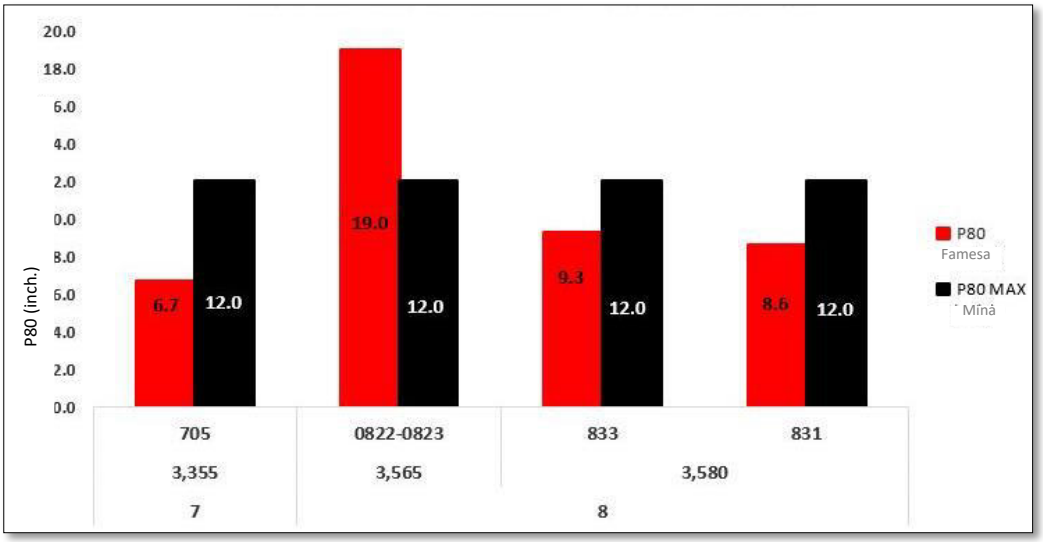
Promedio P80 por fases y proyectos

FASE	NIVEL	PROYECTO	P80 (inch.)	P80 MAX (inch.)	F.P. (kg/t)
7	3355	705	6.7	12.0	0.23
8	3565	0822-0823	19.02	12.0	0.45
	3580	833	9.3	12.0	0.15
		831	8.6	12.0	0.23
		PROMEDIO	**10.9**		

Nota: Elaboración propia

Figura 30

P80 desmonte por fases y proyecto



Nota: Elaboración propia

4.3.1 Velocidad de excavación o dig rate

Según (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, 2003), actualmente uno de los métodos tradicionales de evaluación de la calidad de las voladuras es el análisis de la productividad de los equipos de carguío; es decir cuando un equipo de carguío tenga una alta productividad indicará que la

fragmentación fue favorable, en cambio si la productividad es baja indicará que la fragmentación fue desfavorable para la operación. Sin embargo (Cotrado Cahui, 2017) indica que no existen estudios que respalden lo dicho anteriormente, por lo que es necesario verificar con datos reales que sucede cuando existe variación de la fragmentación con relación a la velocidad de excavación.

Se tomó en consideración 2 proyectos con el mismo tipo de roca como una muestra representativa, pues, uno de ellos presentó el P80 mayor al solicitado por mina (este proyecto, al momento del carguío de taladros presentó zonas con cavernas y fracturas) y fue considerado para verificar y comparar la influencia de este sobre la velocidad de excavación.

PROYECTO 3565-0822-0823

Para el análisis de velocidad de excavación se consideró el frente de minado de la pala 06 en el proyecto volado 3565-0822-0823 de la fase 8, en la Tabla 15 se muestra el resumen del seguimiento a la fragmentación y velocidad de minado desde el 06 de septiembre hasta el 10 de septiembre del 2019 (el registro y cálculo para este proyecto se muestra en el ANEXO 19 al ANEXO 23, obteniendo un P80 promedio de 19.02 inch., se obtuvo una velocidad de excavación promedio de 6190.3 t/hr. En la Figura 31 se muestra un gráfico donde se muestra la relación entre el P80 y la velocidad de excavación analizado.

Tabla 15

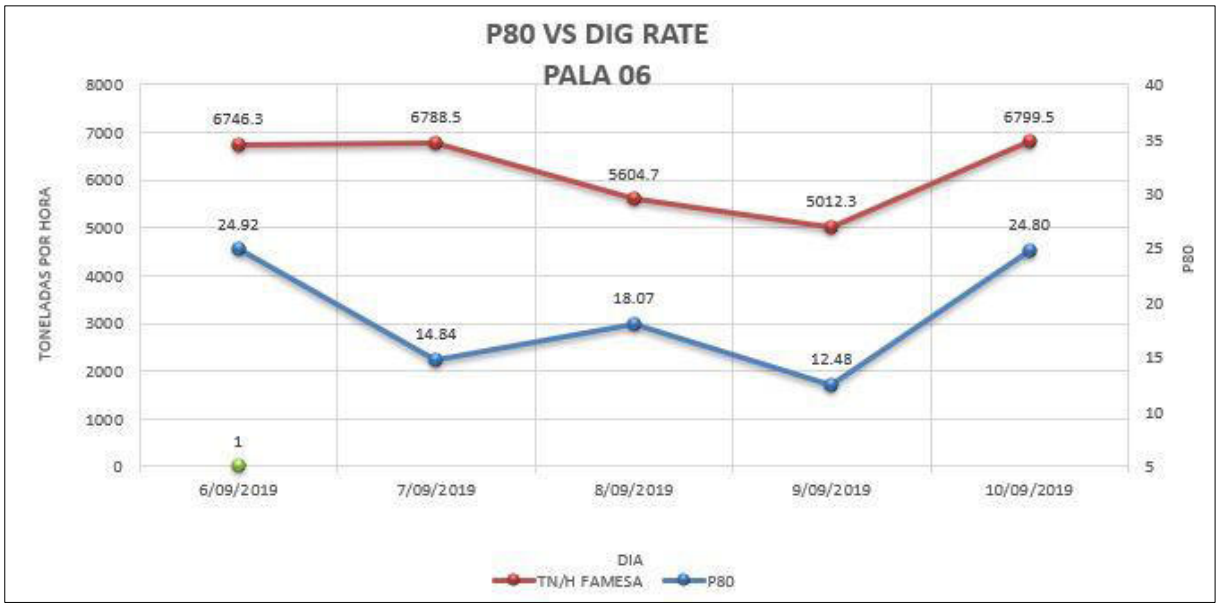
Análisis de velocidad de excavación del Proyecto 3565-0822-0823 pala 06

FECHA	ZONA CARGADA	P80 ANALIZADO (inch.)	VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN O DIG RATE (t/hr)
06/09/2019	FAMESA	24.92	6,746.3
07/09/2019	FAMESA	14.84	6,788.5
08/09/2019	FAMESA	18.07	5,604.7
09/09/2019	FAMESA	12.48	5,012.3
10/09/2019	FAMESA	24.80	6,799.5
PROMEDIO		**19.02**	**6190.3**

Nota: Elaboración propia

Figura 31

P80 vs dig rate Proy. 3565-0822-0823 pala 06



Nota: En la figura se muestra el análisis de velocidad de excavación frente al P80 obtenido.

En la Tabla 16 se muestra la velocidad de excavación promedio y el P80 promedio obtenido por Famesa y el P80 y velocidad de excavación establecido por mina. En la Figura 32 podemos observar que la velocidad excavación obtenida por Famesa es mayor a 4000 t/hr, según lo establecido por mina este es un indicador de que se ha logrado una velocidad de excavación alta.

Tabla 16

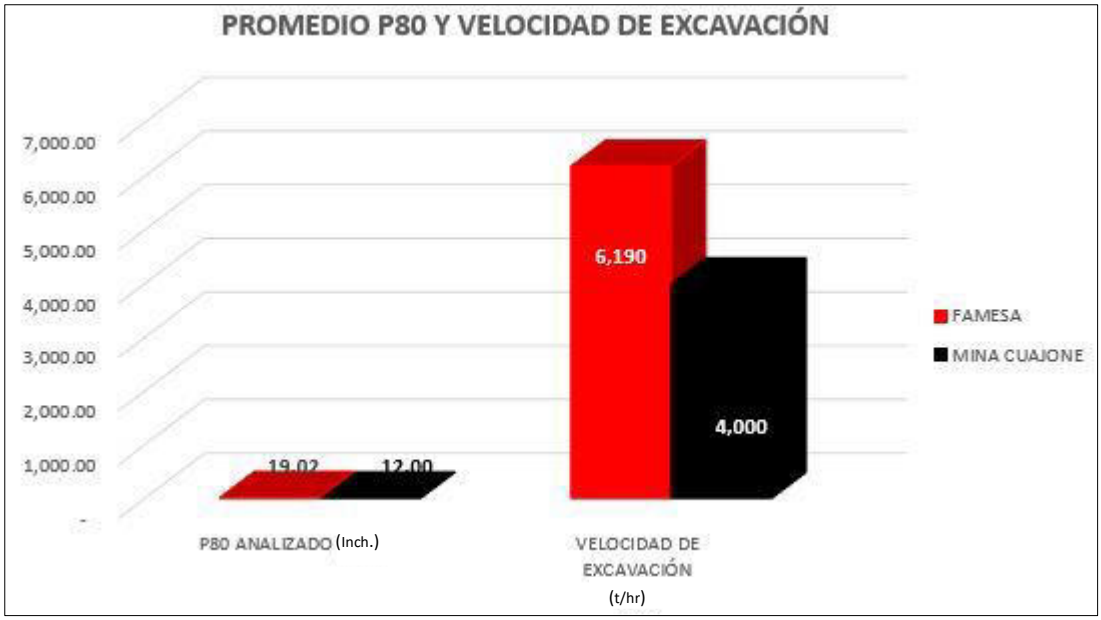
Promedio velocidad de excavación vs P80

	P80 ANALIZADO (inch.)	VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN (t/hr)
FAMESA	19.02	6,190
MINA CUAJONE	12.00	4,000

Nota: Elaboración propia

Figura 32

Promedio velocidad de Excavación y P80



Nota: Elaboración propia

PROYECTO 3565-0827

Para el análisis de velocidad de excavación se consideró el frente de minado de la pala 06 en el proyecto volado 3565-0827 de la fase 8, en la Tabla 17 se muestra el resumen del seguimiento realizado a la fragmentación y velocidad de minado desde 05 de octubre de 2019 (registro y cálculo en el ANEXO 24 al ANEXO 27), obteniendo un P80 promedio de 12.21 inch., una velocidad de excavación de 7115 t/hr. En la Figura 33 se muestra un gráfico comparativo teniendo en cuenta el P80 y la velocidad de excavación analizado.

Tabla 17

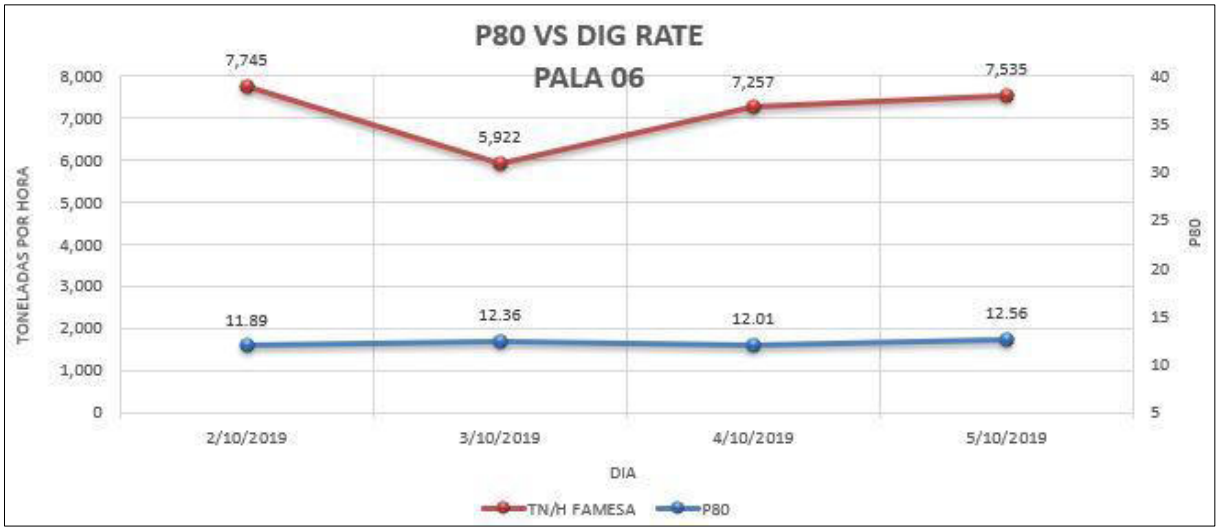
Análisis de velocidad de excavación del proy. 3565-0827 pala 06

FECHA	ZONA CARGADA	P80 ANALIZADO (inch.)	VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN ANALIZADO (t/hr)
02/10/2019	FAMESA	11.89	7,745
03/10/2019	FAMESA	12.36	5,922
04/10/2019	FAMESA	12.01	7,257
05/10/2019	FAMESA	12.56	7,535
PROMEDIO		**12.21**	**7115**

Nota: Asistencia técnica Famesa Explosivos.

Figura 33

P80 vs dig rate proy. 3565-0827 pala 06



Nota: Asistencia técnica Famesa Explosivos

En la Tabla 18 se muestra la velocidad de excavación promedio y el P80 promedio obtenido por Famesa y el P80 y velocidad de excavación establecido por mina. En la Figura 34 podemos observar que la velocidad excavación obtenida por Famesa es mayor a 4000 t/hr, según lo establecido por mina este es un indicador de que se ha logrado una velocidad de excavación alta.

Tabla 18

Promedio del análisis de P80 y velocidad de excavación Famesa vs proveedor actual

	P80 ANALIZADO (inch.)	VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN (t/hr)
FAMESA	12.21	7,115
MINA CUAJONE	12.00	4,000

Nota: Asistencia técnica Famesa Explosivos.

Figura 34

Promedio P80 y velocidad de excavación



Nota: Elaboración propia

4.4 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN (VOD)

Para realizar una prueba de la velocidad de detonación, se lleva a cabo el siguiente procedimiento (Chavez Ocsa, 2019):

- Se realiza la coordinación con el jefe a cargo del proyecto de voladura y con el operario del camión fábrica para conocer la ubicación del taladro donde se llevará a cabo la prueba de VOD.
- Se procede a separar el/los taladros para realizar la medición de la velocidad de detonación, se sugiere que deben ser los primero o últimos de la secuencia de salida de la malla y necesariamente en taladros donde no exista presencia de agua.
- Se realiza el cortocircuitado en un extremo del cable resistivo, luego se procede a aislar con la cinta aislante.
- Usando cinta aislante se adhiere el cable por el extremo cortocircuitado al iniciador para descenderlo al fondo del taladro, asegurando a la prima o iniciador para descenderlo al fondo del taladro, asegurando el cable resistivo al cable de los detonadores cada metro con cinta aislante.

- Se procede a cargar el taladro con la mezcla explosiva SAN-G APU, luego se coloca el taco con bastante cuidado para no perjudicar el cable resistivo. Se recomienda que el carguío del taladro sea el mismo día del disparo.
- Se empalma el cable resistivo con el cable coaxial.
- Se chequea y se estima la distancia y zona donde se conectará y dejará el equipo MicroTrap con el cable coaxial, la cual debe ser mayor de 50 metros en línea recta del último taladro de la malla de voladura, es importante asegurar que el equipo se encuentre fuera de alcance de proyección de voladura o algún equipo en movimiento.
- Se instala el equipo MicroTrap, conectando éste y el cable coaxial.
- Se activa el equipo, se cubre con la caja metálica y se señaliza con conos.
- Finalmente, después del disparo, se descarga el registro obtenido de la medición de la VOD.

Para el análisis comparativo se tomará como línea base los resultados proporcionados por mina: VOD promedio para la MEQ 82 es de 5,990 m/s y el VOD promedio para la MEQ 73 es de 5,428 m/s. Para el periodo de prueba con la emulsión SAN-G APU, el número de mediciones de VOD es solicitado por la unidad minera. La medición de la VOD para la mezcla explosiva SAN-G APU se muestra en el ANEXO 28 al ANEXO 33.

En la Tabla 19 y Figura 35 se muestra las mediciones de las velocidades de detonación obteniendo un VOD promedio de 6025.6 m/s**.**

Tabla 19

Cuadro resumen de VOD por cada proyecto ejecutado

RESUMEN DE VOD – MINA EN ESTUDIO 2019												
			PARÁMETROS DE DISEÑO					EXPLOSIVO				
FECHA	FASE	PROYECTO	ID TAL.	DIÁMERO (inch.)	PROF. (m)	CARGA (Kg)	BOOSTER (LB)	TIPO DE EMULSIÓN	DENSIDAD INICIAL (g/cc)	DENSIDAD FINAL (g/cc)	TIEMPO DE ESPONJAMIENTO	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)
29-Agost	8	3565-0822-0823	3470	$12\frac{1}{4}$	16.2	915	2.0	SAN-G APU	1.32	1.10	20.00	**6,078**
29-Agost	8	3565-0822-0823	3556	$12\frac{1}{4}$	16.2	914	2.0	SAN-G APU	1.32	1.10	20.00	**6,130**
05-sep	7	3355-0705	4861	$12\frac{1}{4}$	15.70	648	2.0	SAN-G APU	1.30	1.10	20.00	**5,818**
12-sep	8	3580-0831	2721	$12\frac{1}{4}$	16.0	758	2.0	SAN-G APU	1.30	1.11	20.00	**5,899**
27-sep	8	3565-0827	7595	$12\frac{1}{4}$	15.1	758	2.0	SAN-G APU	1.30	1.11	20.00	**6,168**
05-oct	8	3565-0825	6611	$12\frac{1}{4}$	15.0	861	2.0	SAN-G APU	1.32	1.11	20.00	**6,060.5**
											PROMEDIO	**6,025.6**

Nota: Registro de VOD, teniendo en cuenta los parámetros-Elaboración propia

Figura 35

VOD por Proyecto



Nota: Elaboración propia

Teniendo como dato el VOD de la MEQ 82 y MEQ 73 del proveedor actual proporcionado por la mina en estudio, el VOD de Famesa es superior en 9.92% con la MEQ 73 y 0,59% con la MEQ82, así como se muestra en la Tabla 20. En la Figura 36 se muestra un gráfico comparativo de los resultados obtenidos.

Tabla 20

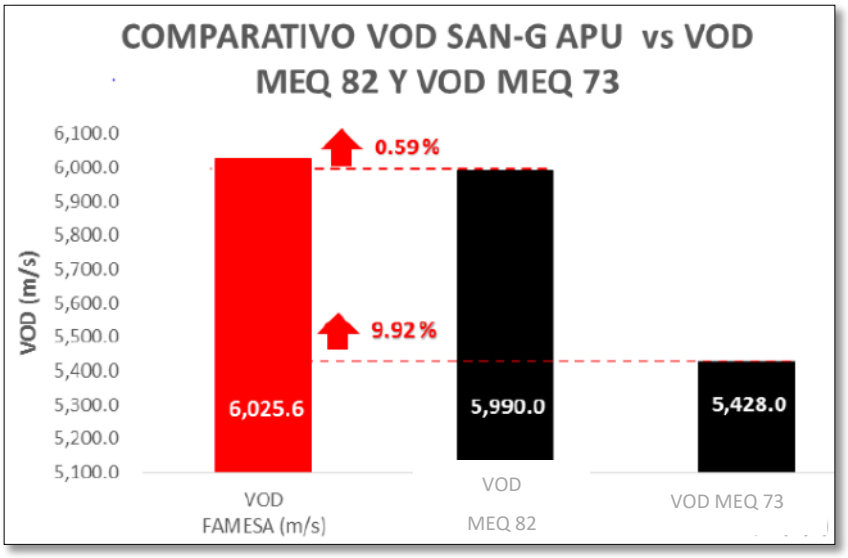
Promedio de VOD vs MEQ82 y MEQ 73

	VOD FAMESA (m/s)	**VOD MEQ 82 (m/s)**	**VOD MEQ 73 (m/s)**
PROMEDIO	6,025.6	5,990.0	5,428.0

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

Figura 36

Comparativo VOD SAN-G APU vs VOD ME Q82 y MEQ 73



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos.

4.5 NIVEL DE GASES

Para estas pruebas el explosivo SAN-G APU mostró resultados que fueron considerablemente positivos para el cuidado del medio ambiente, la clasificación de nivel de gases nitrosos se realizó de manera visual en cada proyecto volado (Anexo 34). A continuación, en la Tabla 21, se muestran los resultados medidos cualitativamente en mina, así como también la manera en que este producto reduce y mitiga la emisión de gases nitrosos, a través del uso de la Emulsión Matriz gasificable correctamente balanceada y de alta calidad SAN-G APU, con Camiones Fábrica con tecnología de punta que garantizaron la correcta mezcla explosiva y balance de oxígeno en la reacción de combustión.

Tabla 21

Cuadro resumen de escala de gases nitrosos por cada proyecto ejecutado

FECHA	NIVEL	FASE	PROYECTO	ESCALA DE GASES NITROSOS	DÍAS CARGADOS	TIPO DE ROCA	EXPLOSIVOS	DENSIDAD DE COPA	SOLUCIÓN GASIFICANTE
29/08/2019	3580	8	833	Nivel 0	2	BA-ARG	SAN-G APU	1.10	N30
02/09/2019	3565	8	0822-0823	Nivel 0	3	TC	SAN-G APU/MEQ 82	1.10	N30
05/09/2019	3355	7	705	Nivel 0	2	BA-ARG	SAN-G APU	1.10	N30
12/09/2019	3550	8	801	Nivel 0	5	TC	SAN-G APU	1.10	N30
12/09/2019	3580	8	831	Nivel 0	1	BA-PRO	SAN-G APU	1.11	N30
27/09/2019	3565	8	827	Nivel 0	3	TC	SAN-G APU/MEQ 82	1.11	N30
05/10/2019	3565	8	825	Nivel 0	6	TC	SAN-G APU	1.10	N30

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

4.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

Luego de haber realizado un análisis técnico sobre la aplicación de la emulsión SAN-G APU, se procede a estudiar las ventajas económicas que ofrece el uso de esta mezcla explosiva. Se realizará el cálculo para las 3 mezclas explosivas (SAN-G APU, MEQ 73 y MEQ 82). El costo unitario de la materia prima se muestra en la Tabla 22. Para la mezcla explosiva SAN-G APU se toma en cuenta el costo de materia prima: solución gasificante (N30) y emulsión matriz (El porcentaje de gasificante que se utilizará está en relación a la temperatura y a la densidad a la que se quiere llegar). Para la MEQ 73 se tomará en cuenta el precio de Nitrato de amonio, Emulsión y diésel, esta mezcla está compuesta por un 70% de emulsión y un 30% de ANFO. Mientras que la MEQ 82 se tomará en cuenta la el precio de Nitrato de amonio, Emulsión y diésel, esta mezcla está compuesta por un 80% de emulsión y un 20% de ANFO. El análisis económico está basado en la cantidad de explosivos consumido por cada proyecto y por la cantidad de material volado (Anexo 35 al Anexo 41), podremos obtener el costo de explosivos por el tonelaje roto, así como se muestra en la Tabla 23. En la Figura 37 se puede apreciar un histograma comparativo con los costos por tonelada de cada proyecto volado de las 3 mezclas explosivas.

Tabla 22

Costos de materias primas

COSTOS MATERIAS PRIMAS			
PRODUCTO	**UNIDAD**	**FAMESA**	**PROVEEDOR ACTUAL**
SOLUCION GASIFICANTE	$/KG	1.003	-
NITRATO DE AMONIO	$/KG	-	0.4212
EMULSIÓN	$/KG	0.445	0.4651
DIESEL	GAL	-	3.925

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

Tabla 23

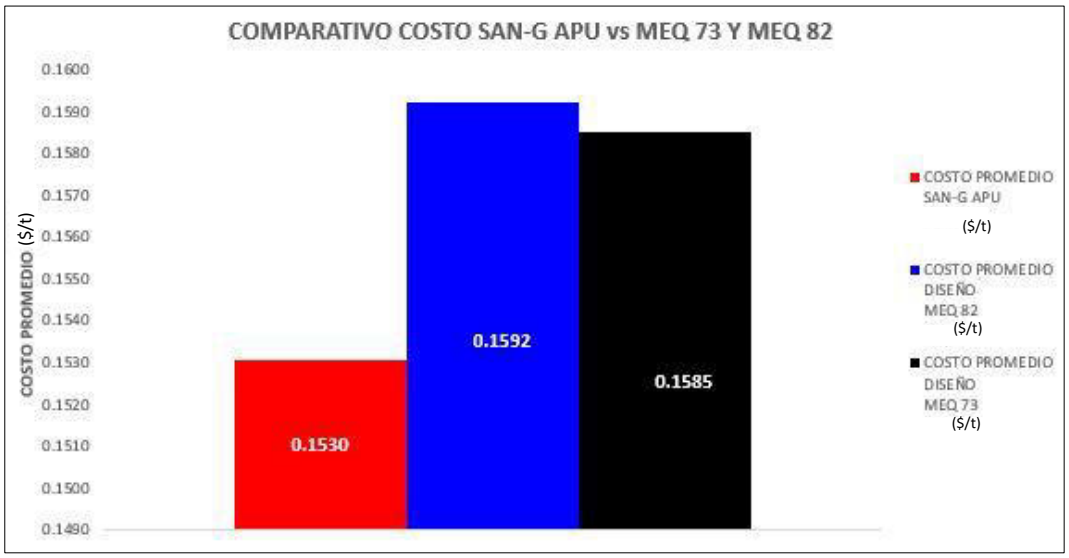
Costo de las mezclas explosivas por tonelada

PROYECTO	FASE	DIÁMETRO	N° TAL	TONELAJE	COSTO SAN-G APU $/t	COSTO DISEÑO MEQ 82 $/t	COSTO DISEÑO MEQ 73 $/t
3589-0833	8	12 1/4	160	276000	0.06745	0.06505	0.06477
3565-0822_0823	8	12 1/4	226	436455	0.19935	0.21532	0.21439
3355-0705	7	12 1/4	265	644756	0.10477	0.10994	0.10947
3550-0801	8	12 1/4	542	958910	0.21455	0.2148	0.21388
3580-0831	8	12 1/4	80	260205	0.1041	0.12102	0.1205
3565-0827	8	12 1/4	182	343696	0.19095	0.19355	0.19272
3565-0825	8	12 1/4	401	762003	0.19002	0.1949	0.19406
			1856	**3682025**	**0.1530**	**0.1592**	**0.1585**

Nota: Elaboración propia

Figura 37

Costo de las mezclas explosivas por tonelada



Nota: Elaboración propia

4.6.1 Análisis de costos durante periodo de pruebas SAN-G APU vs MEQ 82

El costo unitario promedio calculado para la mezcla SAN-G APU es de 0.1530 y 0.1592 para la MEQ 82. Haciendo un comparativo entre la SAN-G APU vs la MEQ 82 se ahorró $ 22,828.56 (3.89%) durante el periodo de pruebas técnicas, así como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Ahorro de costos SAN-G APU vs MEQ 82



Nota: Elaboración propia

4.6.2 Análisis de costos durante periodo de pruebas SAN-G APU vs MEQ 73

El costo unitario promedio calculado para la mezcla SAN-G APU es de 0.1530 y 0.1585 para la MEQ 73. Haciendo un comparativo entre la SAN-G APU vs la MEQ 73 se ahorró $ 20,251.14 (3.47%) durante el periodo de pruebas técnicas, así como se muestra en la Figura 39.

Figura 39

Ahorro de costos SAN-G APU vs MEQ 37



Nota: Elaboración propia

4.6.3 Análisis anual de costo SAN-G APU vs MEQ 82

Considerando la producción anual programada de 133,995,824 toneladas se estima un ahorro de 830,582.69 dólares como se muestra en la Tabla 24. En la Figura 40 se muestra un gráfico comparativo donde se puede observar la diferencia de costos entre ambas mezclas explosivas.

Tabla 24

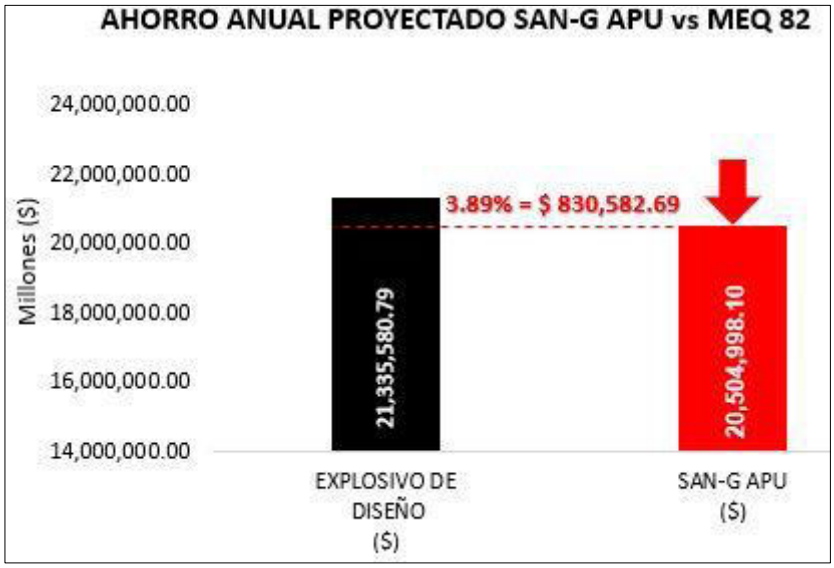
Ahorro con una proyección anual

COSTO ANUAL DE EXPLOSIVO		
PRODUCCIÓN ANUAL (t)	EXPLOSIVO DE DISEÑO ($)	SAN-G APU ($)
133,995,824.00	21,335,580.79	20,504,998.10
AHORRO	830,582.69	3.89

Nota: Elaboración propia

Figura 40

Ahorro de costo en proyección anual SAN-G APU vs MEQ 82



Nota: Elaboración propia

4.6.4 Análisis anual de costo SAN-G APU vs MEQ 73

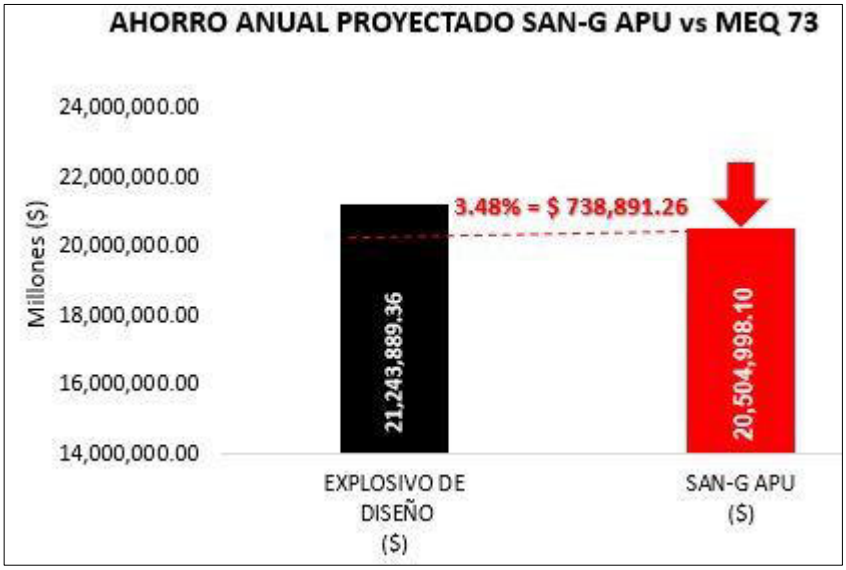
Considerando la producción anual programada de 133,995,824 toneladas se estima un ahorro de 738,891.26 dólares como se muestra en la Tabla 25. En la Figura 41 se muestra el costo anual para cada mezcla explosiva y el ahorro que generaría la utilización de la emulsión la SAN-G APU.

Tabla 25
Ahorro con una proyección anual

COSTO ANUAL DE EXPLOSIVO		
PRODUCCIÓN ANUAL (t)	EXPLOSIVO DE DISEÑO ($)	SAN-G APU ($)
133,995,824.00	21,243,889.36	20,504,998.10
AHORRO	738,891.26	3.48

Nota: Elaboración propia

Figura 41
Ahorro de costo en proyección anual SAN-G APU vs MEQ 73



Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 FACTOR DE POTENCIA

En este trabajo de investigación se obtuvo una disminución del factor de potencia de 1.32%, este resultado guarda relación con el hallado por Berto Zamora (2019) donde indica que la disminución del factor de potencia es de un 3.5 % utilizando la emulsión gasificable SANG APU en comparación al ANFO pesado 73 gasificado, se puede afirmar que la emulsión gasificable SAN-G APU es un producto que trae beneficio en la reducción del factor de potencia y por lo tanto influye en los costos del proceso de voladura.

5.2 FRAGMENTACIÓN (P80).

En la voladura de rocas uno de los parámetros importantes a considerar es la dureza de la roca y la calidad del explosivo, el objetivo principal es entregar una fragmentación homogénea para optimizar los posteriores procesos en el ciclo de minado. Según Alcalde Ruiz (2019) en su trabajo de investigación indica que usando emulsión gasificable SANG APU en comparación al HA 55, en roca muy dura se obtiene un P80 de 7.18 inch. siendo el requerido por concentradora 9 inch., mientras que en estas pruebas el promedio de P80 entre la fase 7 y 8 obtenido es este trabajo de investigación fue de un P80 de 10.9 inch. siendo el requerido por concentradora de 12 inch.

5.2.1 Velocidad de excavación y dig rate

El resultado de P80 es uno de los factores que influye en la velocidad de excavación y es por ello que en esta investigación ha sido tomado en cuenta como un parámetro representativo. Se realizó un análisis de los proyectos 3565-0822-0823 y 3565-0827. El en primer se obtuvo un P80 de 19 inch. y una velocidad de excavación de 6190 t/hr, mientras que en el segundo se obtuvo un 12.21 inch. y una velocidad de excavación 7115 t/hr. En este caso se cumple la relación indicada anteriormente (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, 2003) donde se describe que al tener un P80 menor se tendrá una velocidad de excavación mayor. Pero es necesario indicar que también existen otros factores como el clima, la habilidad del operador, la disponibilidad del equipo, etc. que influyen en el resultado.

5.3 VELOCIDAD DE DETONACIÓN (VOD).

Durante el periodo de prueba con la mezcla explosiva SAN-G APU frente a la MEQ 82 MEQ 73, la velocidad de detonación de la SAN-G APU fue de 6,025.6 m/s, la MEQ 73 de 5,428 m/s de la MEQ 82 de 5,990 m/s, estos resultados guardan relación con el obtenido por Alcalde Ruiz (2019) quien indica que usando el HA 55 se obtuvo una VOD de 5000.5 m/s a 5595.4 m/s con la emulsión SAN G APU la VOD aumentó obteniendose valores de 5770 m/s a 5888.3 m/s, afirmando que esta emulsión puede competir en el mercado de los explosivos, trayendo mejoras es el proceso de voladura.

5.4 GASES NITROSOS

Los explosivos industriales poseen una composición tal que las reacciones químicas que se producen generan humos de voladura limitado con un contenido de gases nocivos (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, 2003), es por ello que la industria minera busca nuevas tecnologías que reduzcan o eliminen la presencia de estos gases nocivos.

En el presente trabajo de investigación utilizando la mezcla explosiva SAN-G APU, no se obtuvieron gases anaranjados post voladura, lo mismo afirman Alcalde Ruiz (2019) y Berto Zamora (2019).

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- En la ejecución de estas pruebas técnicas con respecto al MEQ 82 se ahorró $ 22,828.56 (3.89%), considerando la producción anual de 133,995,824 t programada se estima un ahorro de 830,582.69 dólares.

- En la ejecución de estas pruebas técnicas con respecto al MEQ 73 se ahorró $ 20,251.14 (3.47%), considerando la producción anual de 133,995,824 t programada se estima un ahorro de 738,891.26 dólares.

- El factor de potencia promedio en zona desmonte obtenido usando la emulsión gasificable SAN-G APU fue de 0.341 kg/t por debajo de lo obtenido con carga de diseño que está en 0.345 kg/t. Esto representa una disminución en el factor de potencia de 1.32%.

- Del análisis granulométrico realizado en los frentes de minado disparados se obtuvieron los siguientes resultados:

  Fase 07 – proyecto 3355-0705 Se obtuvo un P80 promedio de 6.70 inch., valor que se encuentra por debajo del target 12 inch., lo cual nos indica que el resultado obtenido es bueno.

  Fase 08 – proyecto 3565-0822_0823: Se obtuvo un P80 promedio de 19 inch., valor que se encuentra por encima del target 12 inch., lo cual nos indica que los resultados se encuentran en la clasificación de regular, esto se debe que al momento del carguío de taladros se tenía algunas zonas de cavernas y fracturas.

  Fase 08 – proyecto 3580-0833: Se obtuvo un P80 promedio de 9.3 inch., valor que se encuentra por debajo del target 12 inch., lo cual es un indicativo que se ha obtenido una fragmentación buena.

  Fase 08 – proyecto 3580-0831: Se obtuvo un P80 promedio de 8.6 inch., valor que se encuentra por debajo del target 12 inch., lo cual es un indicativo que se ha obtenido una fragmentación buena.

- La medición de la velocidad de detonación (VOD) promedio de la emulsión gasificable SAN-G APU obtenido durante las pruebas fue de 6,025.6 m/s con una

densidad promedio de 1.10 g/cc, este valor obtenido en comparación con la VOD de la MEQ 73 (5,428 m/s) está por encima en 9.92% con respecto a la VOD de la MEQ 82 (5,990 m/s) está por encima en un 0.59%.

- En los disparos ejecutados aplicando la emulsión gasificable SAN-G APU, se minimizó la presencia de gases nitrosos (humos anaranjados), teniendo como la calidad de humos en el nivel cero del total de taladros disparados, el cual beneficia en la operación en sus relaciones e interacción con el medio ambiente y comunidades aledañas.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Las recomendaciones descritas a continuación se basan en la experiencia recolectada durante las pruebas técnicas para el presente trabajo de investigación.

- El personal que labora en malla debe estar capacitado para la manipulación adecuada de la emulsión. Para realizar trabajos con la emulsión gasificable SAN-G APU y conseguir los resultados requeridos, constantemente se debe realizar monitoreos al control de densidad, inyección de la solución gasificante (N-30), el tiempo y la longitud de esponjamiento. Teniendo en cuenta estas recomendaciones se podrá lograr los resultados ideales.

- Después de haber conocido los resultados favorables de estas pruebas técnicas usando la emulsión gasificable SAN-G APU en la fase 7 y 8 en desmonte, se recomienda realizar pruebas en zonas de mineral para poder estandarizar el uso de la mezcla explosiva en toda la mina Cuajone. Además, su uso representa un trabajo seguro, toda vez que la matriz oxidante se sensibiliza al final de la unidad mecanizada; vale decir que se trata de un producto no explosivo antes de ingresar en los taladros.

REFERENCIAS

AEISG. (2011). *Prevention and management of blast generated nox gases in surface blasting.*

Alcalde Ruiz, J. L. (2019). *Emulsión gasificada en reemplazo de heavy anfo para reducir el P80 en la fragmentación e incrementar la productividad en carguío, acarreo y chancado en mina Shougang Hierro Perú (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, Trujillo.

Banegas Anco, H. (2018). *Estudio de factibilidad técnica y económica para el uso de mezcla explosiva Quantex sin combustible en la unidad minera Cuajone (tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, Moquegua.

Berto Zamora, A. (2019). *Análisis del uso de emulsion gasificable san-g apu para optimizar la fragmentación de voladuras primarias- compañía minera antamina - Huaraz (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, Cusco.

Calderon Navarro, M. A. (2015). *Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (Unidad Minera Macdesa), (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo.

CAMIPER. (2019). *Perforación y Voladura de Rocas en Mineria Superficial.* Lima.

Chavez Ocsa, V. R. (2019). *Aplicación de stemming de 2" utilizada como taco, para mejorar la fragmentación en las zonas de brechas con mineral de alta ley en la Unidad Minera Cuajone.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, Moquegua.

Cheppe Aguirre, J. J. (2021). *Evaluación técnica-económica de la aplicación del ANFO Pesado Ártico para reducir los índices P80 de fragmentación en el tajo Susan, minera IRL - Unidad Corihuarmi.* UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, Cerro de Pasco, Perú.

Chugá Pozo, A. R. (2017). *Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la Mina Cuajone - Southern Perú (Tesis).* UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Ecuador.

Concha, O. (1999). *Geología y génesis de Cuajone.*

Condori Ojeda, P., & Paniagua Machicao, F. M. (2018). *Investigación Científica en Educación.* Juliaca.

Cotrado Cahui, R. A. (2017). *Efecto del parámetro de fragmentación P80 en la velociddad de excavación de las palas electromecánicas en mina Cuajone.* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ANTIPLANO, Puno, Lima.

Cruz Bermúdez, C. D. (2018). *Influencia del grado de fragmentación (P80) en el rendimiento de la excavadora volvo EC750D en la Unidad Isabelita de la compañía minera Los Andes Perú Gold S.A.C.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, Trujillo, Perú.

Curo Quispe, F. W. (2019). *Diseño de párametros de voladura en rocas mineralizadas con alteración hidrotermal tipo fílica pótasica en yacimiento tipo pórfido de cobre Mina Cuajone - 2018 (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, Moquegua.

De la Ossa Jiménez, A. J. (2019). *Estrategia de Prevención, Control y Mitigación de las Emisiones atmosféricas provenientes de Actividades de Explosración Minera de Carbón a Cielo Abierto (tesis).* UNIVERSIDAD DE ANTOQUIA, Colombia.

Esteban Ingaroca, L. A. (2018). *Evaluación de voladura de rocas utilizando técnicas modernas de instrumentación Mina Cuajone (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, Lima.

Exsa S.A. (2019). *MANUAL PRÁCTICO DE VOLADURA.*

Famesa Explosivos S.A.C. (2019). *ASISTENCIA TECNICA .* Lima.

Famesa Explosivos S.A.C. (2009). LA EMULSION GASIFICADA: Un explosivo eficiente para reducir costos de voladura a tajo abierto. *Área de Asistencia Técnica*.

FAMESA EXPLOSIVOS SAC. (2019). *MANUAL DE PERFORACION Y VOLAUDRA.* LIMA.

Guillen Linares, E. S. (2016). *Anáslisis retrospectivo y estabilidad del talud sur-oeste del tajo Cuajone.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, Arequipa, Perú.

Halatchev, R. A., & Knights, P. F. (2007). Spatial variability of shovel dig performance. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*.

Hernández Correa, E. P. (2019). *Estudio comparativo de la sobreexcavación en desarrollos horizontales con Anfo versus desarrollados realizados con emulsión en la mina Esmeralda, división El Teniente, Codelco Chile (Tesis).* UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA, Chile.

INGEMMET. (2018). *Caracterización Petromineralógica de los Yacimientos Toquepala y Cuajone.* LIMA.

ISEM. (2014). Párametros en la voladura de rocas. *Instituto de Seguridad Minera*.

Konya, C. J., & Albarrán, E. N. (1998). *DISEÑO DE VOLADURA.* México: Ediciones Cuicatl.

López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermúdez, P. (2003). *PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS.* ESPAÑA: Instituto Geológico y Minero de España.

Ministerio de Educación del Perú. (2017). *Investigación Aplicada.* Perú.

Moran, R. (2013). *Preguntas y respuestas sobre minería.* Argentina.

MOTION METRICS. (2016). Safety and consistency of results in image-based fragmentacion analysis.

Ortiz Chambi, W. (2016). *Diseño de botaderos de desmonte en open pit usando MineSight 7.0 E.E. piramide CIS Cuajone.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, Arequipa, Perú.

Pereira de Freitas, M. E., & Souza Moraias, D. (2020). Comparação da eficiência entre os explosivos emulsão bombeada e anfo no processo de desmonte de rochas: um estudo de caso. *HUMANIDADES&TECNOLOGIA (FINOM) - ISSN 1809-1628 - E - ISSN 2675 -5416*.

Salas Flores, J. C. (2019). *Registro de velocidad de detonación (VOD) para la fragmentación de roca en voladura con mezclas de ANFO pesado 65/35 gasificado.* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ANTIPLANO, Puno, Perú.

Schlumberger Water Services (Perú) S.A. (2012). *Actualización del plan de cierre.*

Schwarz, M. (2017). *Guía de referencia para la elaboración de una investigación aplicada.* UNIVERSIDAD DE LIMA, Lima, Perú.

Southern Perú Copper Corporation. (2016). *Estudio Geotécnico Plan de 15 Años, Tajo Cuajone.* Perú.

Tenorio Acuña, E. M., & Palma Jambo, N. R. (2019). *Influencia de la emulsión gasificable SAN-G y HA 73 en la fragmentación de la roca en Chaviña, Ayacucho - 2018.* UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE, CAJAMARCA.

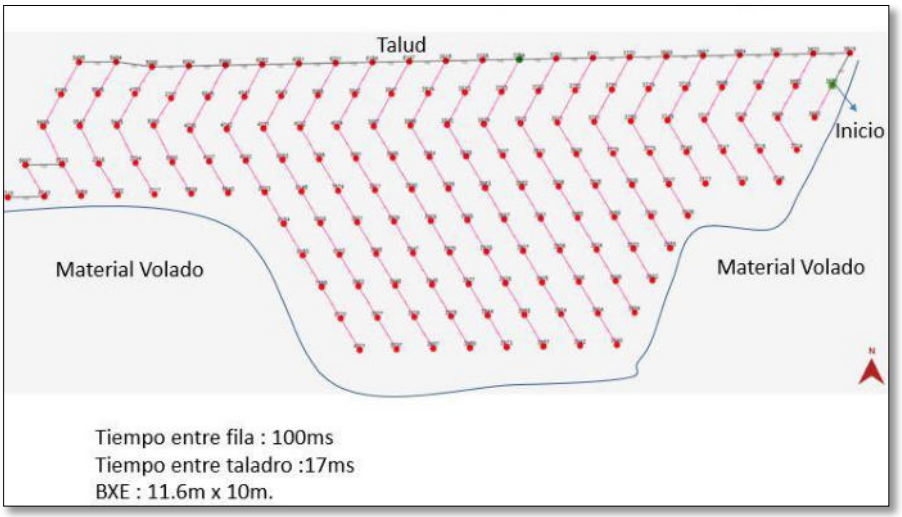
Vilela Sangay, W. P. (2014). *Análisis de factibilidad para el uso de ANFO pesado base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, LIMA, Perú.

Zavala Loli, K. S. (2017). *Empleo de agente de voladura gasificado para minimizar costos de voladura en la Compañía Minera Antamina S.A. – Año 2017 (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO, Huaraz.

ANEXOS: DISEÑO DE MALLAS

ANEXO 1

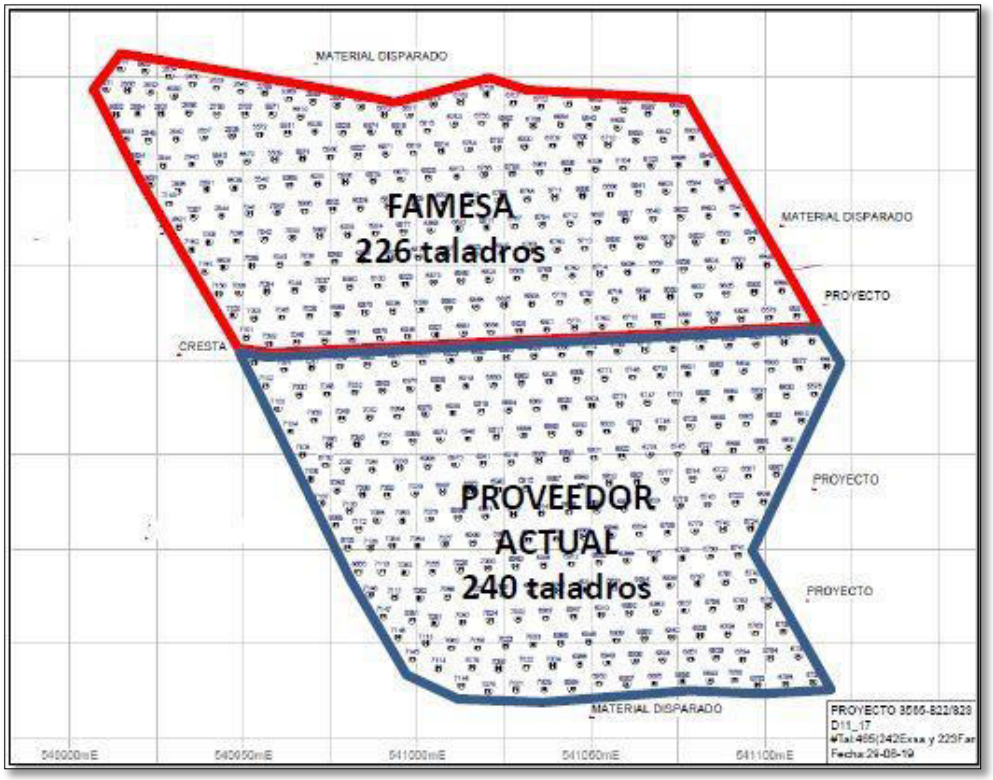
Diseño, amarre y secuencia de salida de malla de perforación Proyecto 3580-0833



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 2

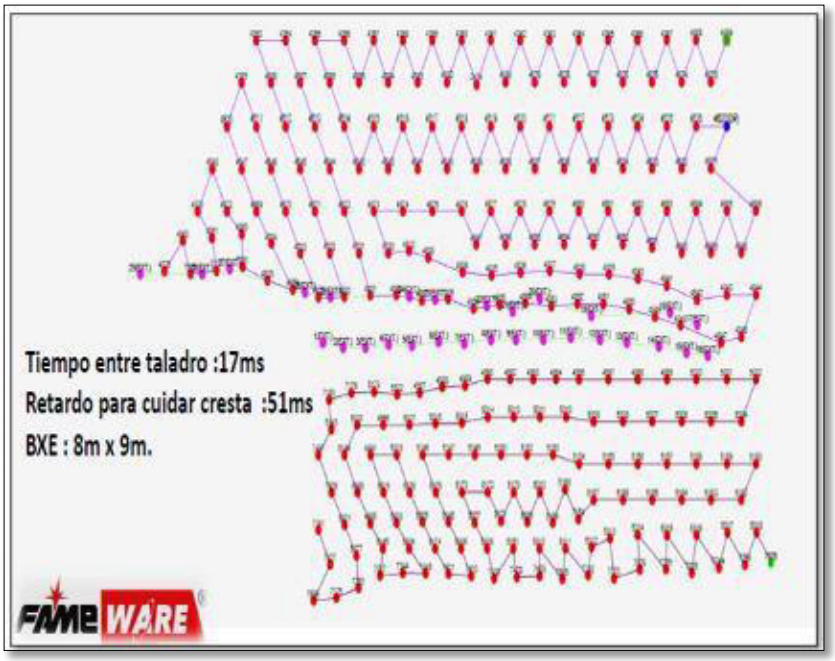
Diseño de malla de perforación Proyecto 3565-0822_0823



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 3

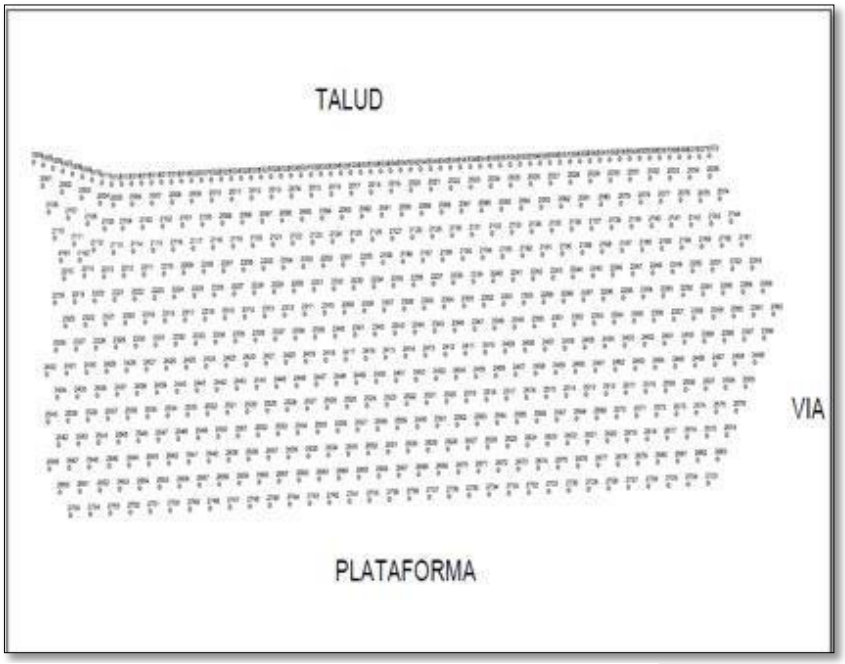
Diseño de malla de perforación Proyecto 3565-0822_0823



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 4

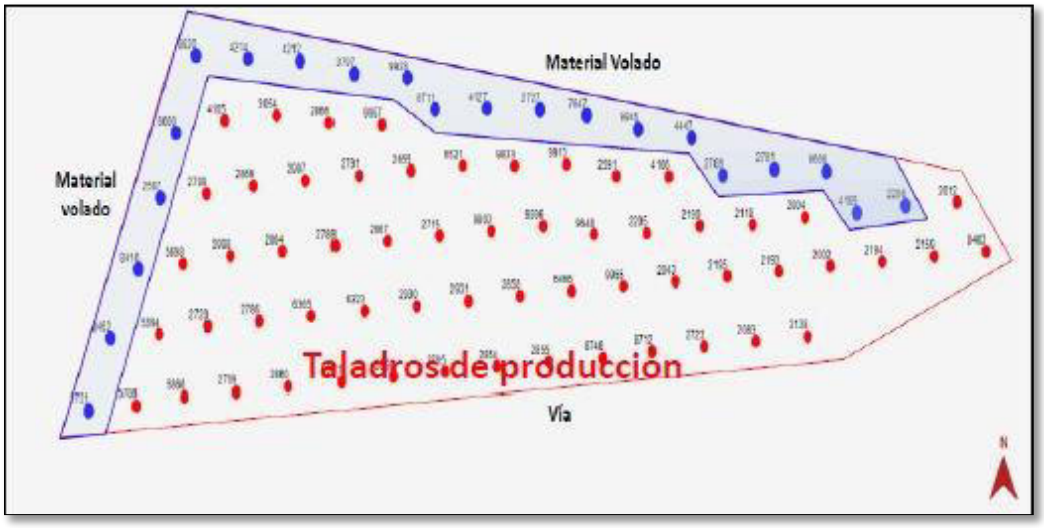
Diseño malla de perforación Proyecto 3550-0801



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 5

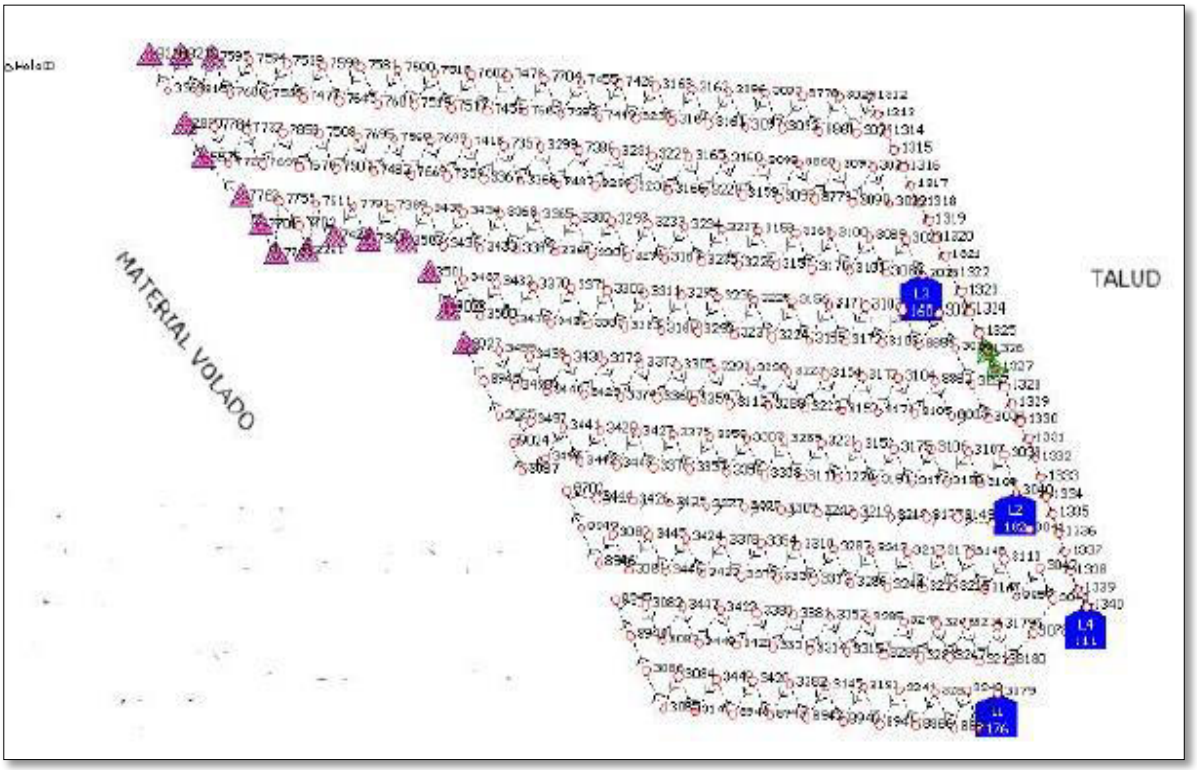
Diseño malla de perforación Proyecto 3580-0831



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 6

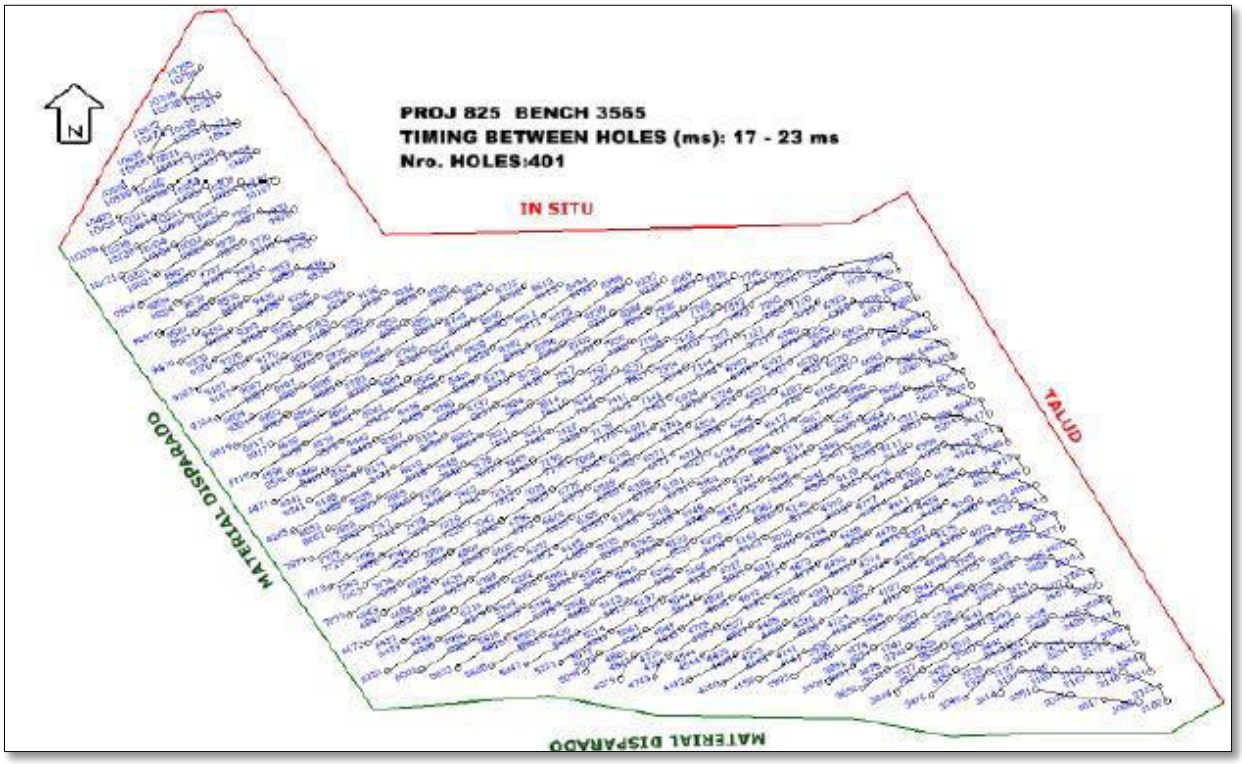
Diseño malla de perforación Proyecto 3565-0827



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 7

Diseño malla de perforación Proyecto 3565-0825

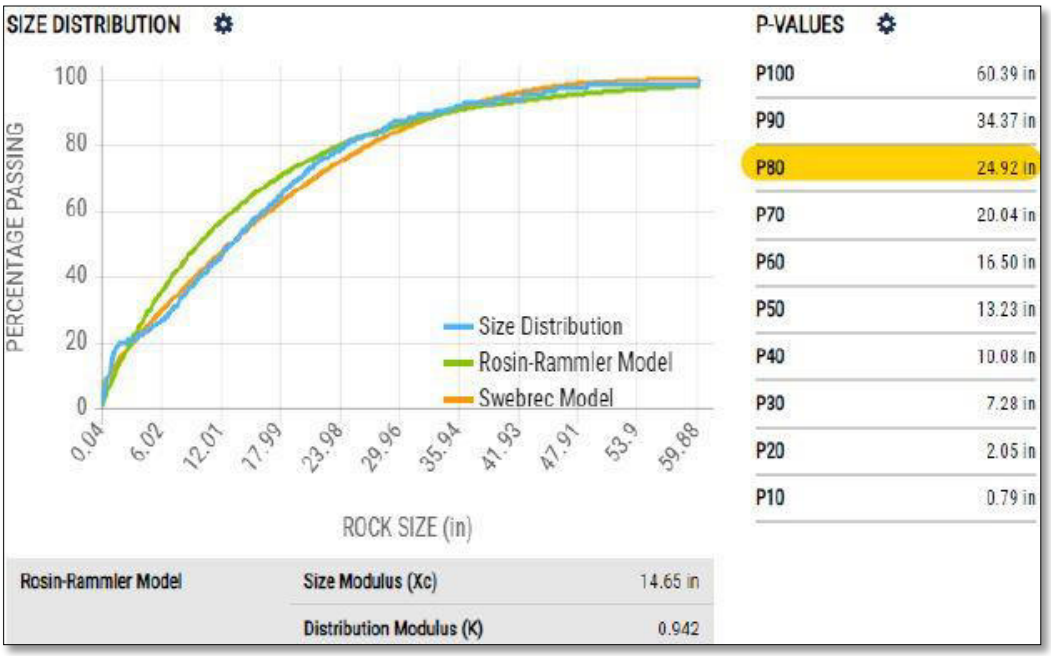


Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXOS: ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

ANEXO 8

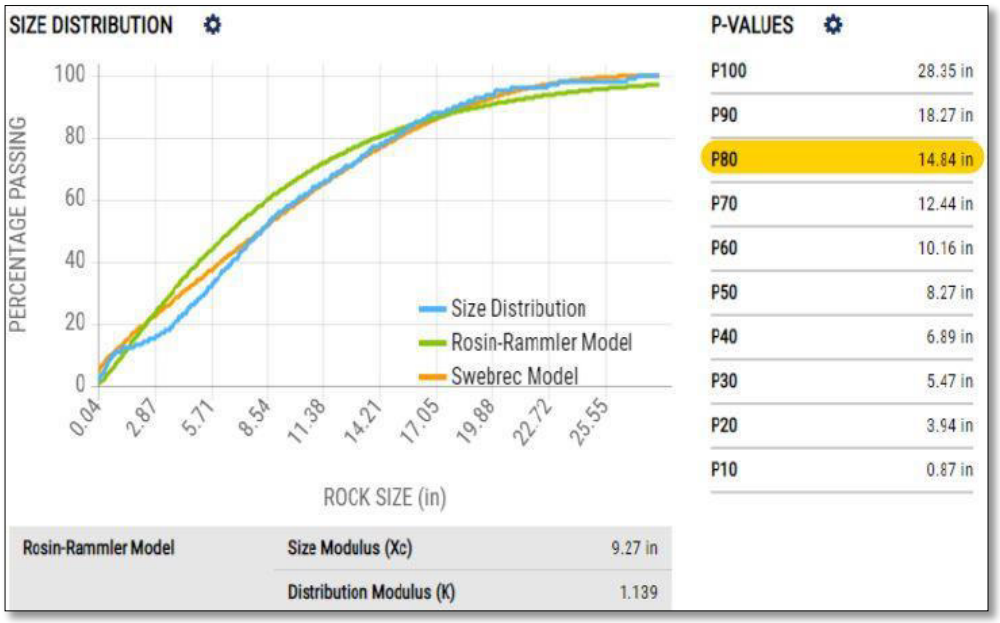
Análisis de fragmentación Proyecto 3565-0822_0823, pala 6 (06 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 9

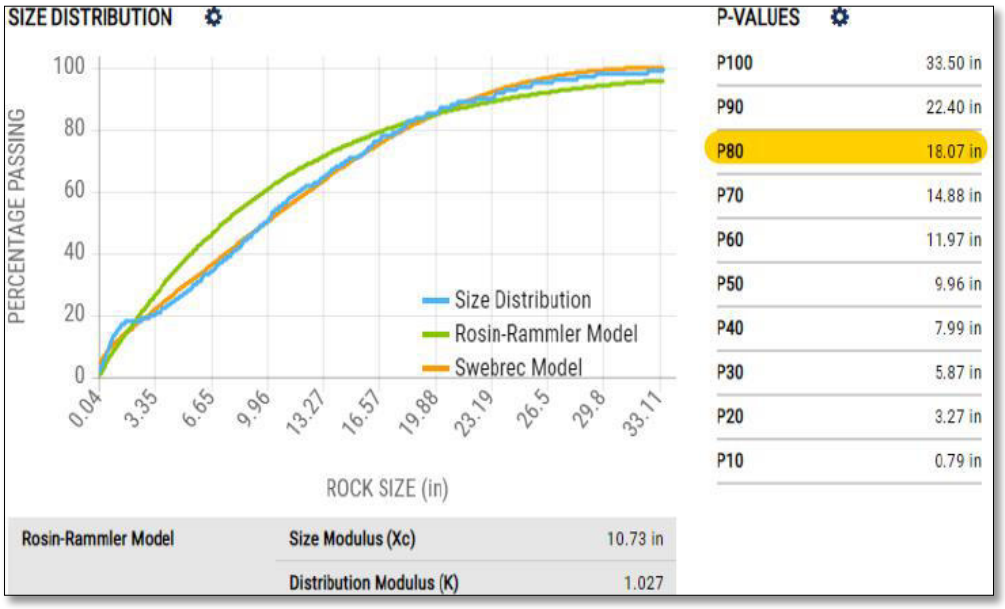
Análisis de fragmentación Proyecto 3565-0822_0823, pala 6 (07 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 10

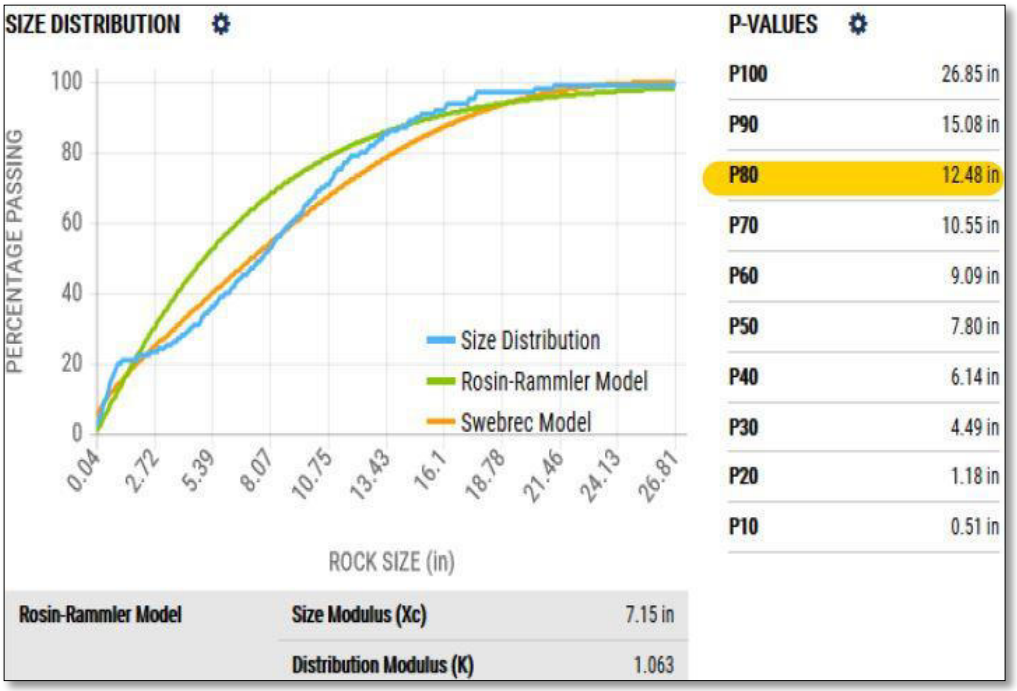
Análisis de fragmentación Proyecto 3565-0822_0823, pala 6 (08 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 11

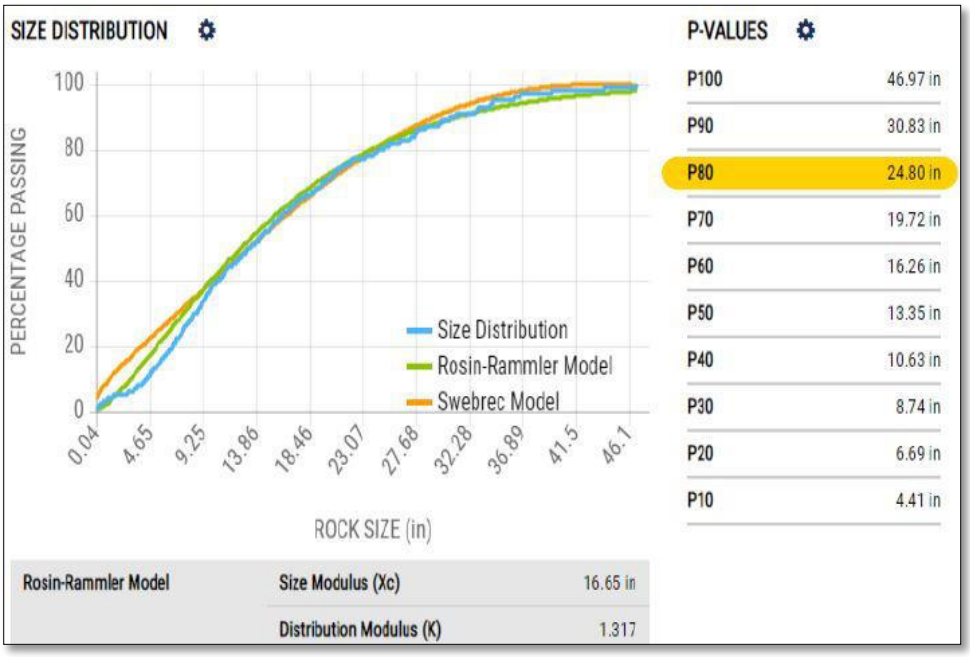
Análisis de fragmentación Proyecto 3565-0822_0823, pala 6 (09 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 12

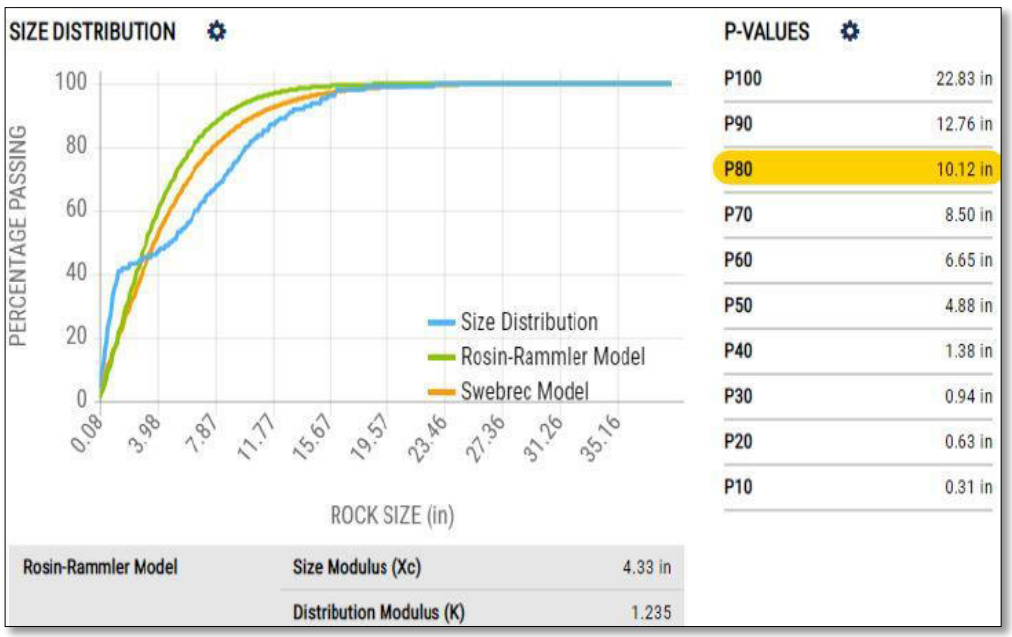
Análisis de fragmentación Proyecto 3565-0822_0823, pala 6 (10 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 13

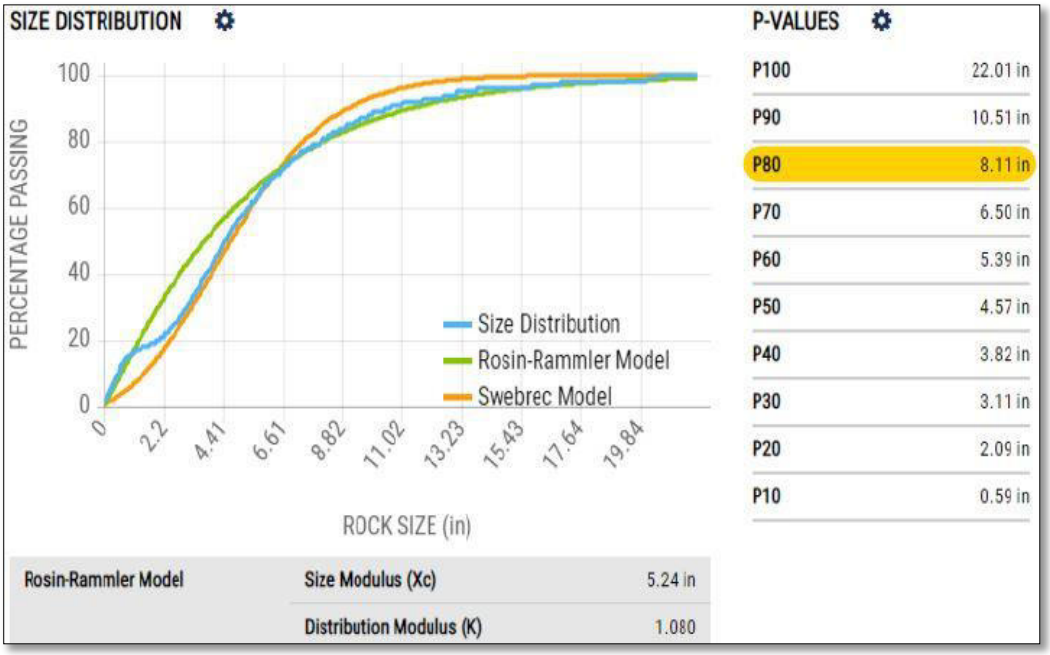
Análisis de fragmentación Proyecto 3580-0833, pala 76 (11 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 14

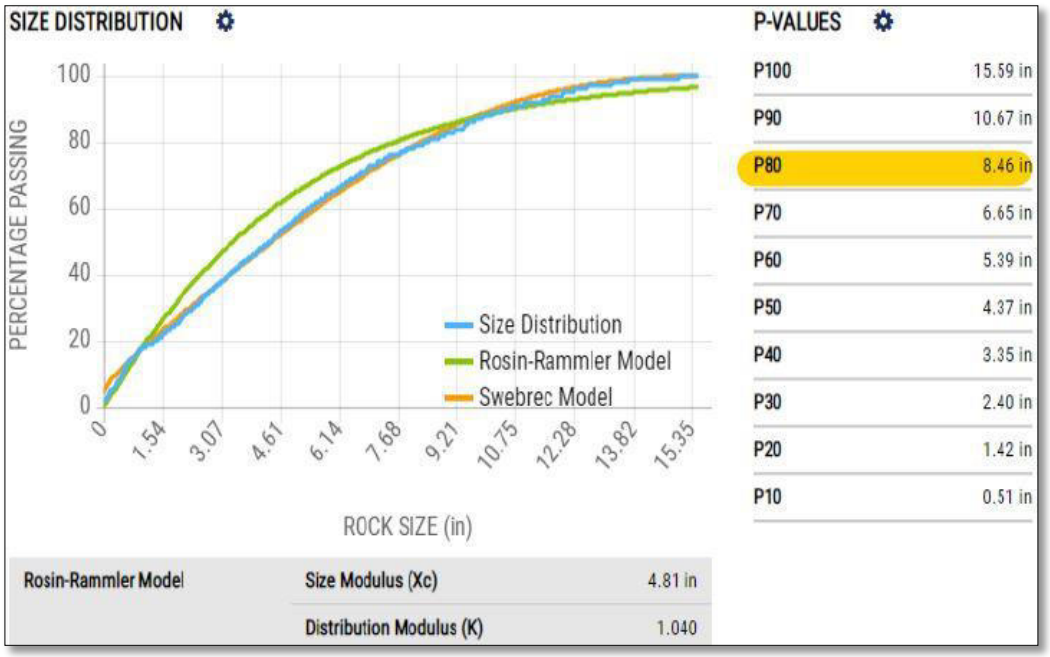
Análisis de fragmentación Proyecto 3355-0705, pala 4 (12 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 15

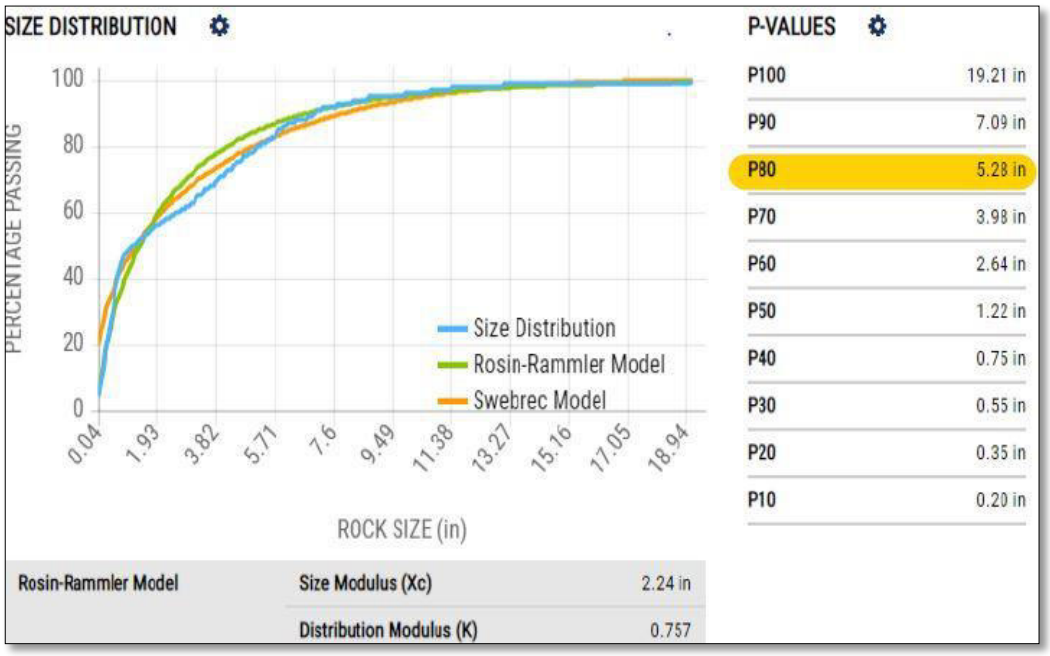
Análisis de fragmentación Proyecto 3580-0833, pala 7 (13 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 16

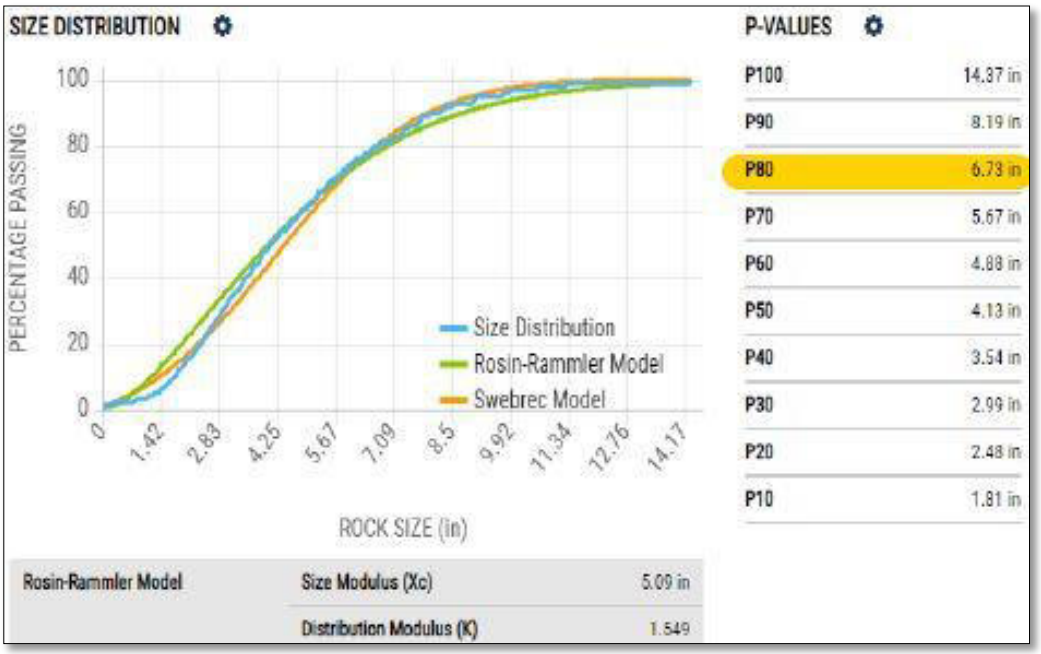
Análisis de fragmentación Proyecto 3355-0705, pala 4 (14 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 17

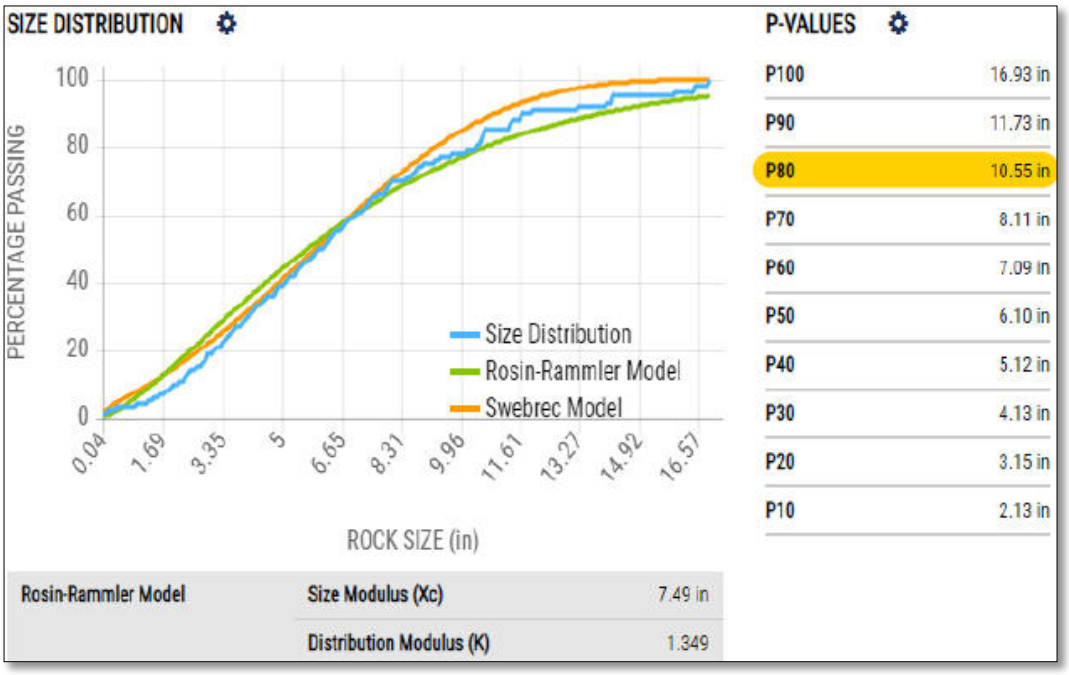
Análisis de fragmentación Proyecto 3580-0831, pala 7 (20 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 18

Análisis de fragmentación Proyecto 3580-0831, pala 7 (21 sept.)



Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXOS: CÁLCULOS VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN

ANEXO 19

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0822_0823 (06 sept.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
Komatsu 980 E	363	00:04:05	00:06:45	00:02:40	8,167.5
CAT 797 F	400	00:06:45	00:10:41	00:03:56	6,101.7
Komatsu 930 E-4SE	290	00:10:41	00:14:27	00:03:46	4,619.5
Komatsu 930 E-4SE	290	00:14:27	00:17:01	00:02:34	6,779.2
CAT 797 F	400	00:17:01	00:21:21	00:04:20	5,538.5
Komatsu 980 E	363	00:21:55	00:24:50	00:02:55	7,467.4
CAT 797 F	400	00:25:20	00:27:50	00:02:30	9,600.0
CAT 797 F	400	00:27:50	00:31:04	00:03:14	7,422.7
Komatsu 980 E	363	00:01:39	00:04:35	00:02:56	7,425.0
Komatsu 930 E-4SE	290	00:08:19	00:11:05	00:02:46	6,289.2
Komatsu 930 E-4SE	290	00:11:05	00:13:50	00:02:45	6,327.3
CAT 797 F	400	00:16:10	00:21:08	00:04:58	4,832.2
Komatsu 980 E	363	00:21:08	00:24:10	00:03:02	7,180.2
CAT 797 F	400	00:25:00	00:28:35	00:03:35	6,697.7
					6,746

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 20

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0822_0823 (07 sept.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
CAT 797 F	400	00:00:15	00:03:19	00:03:04	7,826.1
Komatsu 930 E-4SE	290	00:05:22	00:08:16	00:02:54	6,000.0
Komatsu 930 E-4SE	290	00:09:26	00:12:13	00:02:47	6,251.5
CAT 797 F	400	00:13:14	00:17:16	00:04:02	5,950.4
Komatsu 930 E-4SE	290	00:17:31	00:20:26	00:02:55	5,965.7
CAT 797 F	400	00:03:37	00:07:05	00:03:28	6,923.1
Komatsu 930 E-4SE	290	00:07:45	00:10:04	00:02:19	7,510.8
Komatsu 930 E-4SE	290	00:10:23	00:12:15	00:01:52	9,321.4
Komatsu 930 E-4SE	290	00:12:36	00:15:18	00:02:42	6,444.4
CAT 797 F	400	00:15:28	00:18:24	00:02:56	8,181.8
Komatsu 930 E-4SE	290	00:18:42	00:21:48	00:03:06	5,612.9
CAT 797 F	400	00:21:57	00:26:30	00:04:33	5,274.7
CAT 797 F	400	00:00:22	00:04:08	00:03:46	6,371.7
Komatsu 930 E-4SE	290	00:04:15	00:06:36	00:02:21	7,404.3
CAT 797 F	400	00:07:09	00:10:19	00:03:10	7,578.9
					6,789

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 21

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0822_0823 (08 sept.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
Komatsu 980 E	363	00:10:04	00:14:45	00:04:41	4,650.5
CAT 797 F	400	00:14:58	00:19:21	00:04:23	5,475.3
CAT 797 F	400	00:19:33	00:23:46	00:04:13	5,691.7
Komatsu 980 E	363	00:24:26	00:28:00	00:04:20	5,026.2
CAT 793 D	218	00:28:11	00:30:22	00:02:11	5,990.8
CAT 797 F	400	00:00:57	00:04:35	00:03:38	6,605.5
Komatsu 930 E-4SE	290	00:04:47	00:07:26	00:02:39	6,566.0
Komatsu 980 E	363	00:08:16	00:12:07	00:03:51	5,657.1
CAT 797 F	400	00:15:16	00:19:23	00:04:07	5,830.0
Komatsu 930 E-4	290	00:19:43	00:23:12	00:03:29	4,995.2
CAT 797 F	400	00:23:31	00:27:10	00:03:39	6,575.3
Komatsu 980 E	363	00:27:28	00:32:10	00:04:42	4,634.0
CAT 797 F	400	00:03:37	00:08:03	00:04:26	5,413.5
Komatsu 930 E-4	290	00:08:26	00:11:41	00:03:15	5,353.8
					5,605

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 22

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0822_0823 (09 sept.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
Komatsu 980 E	363	00:10:04	00:16:56	00:06:52	3,171.8
CAT 797 F	400	00:14:58	00:21:27	00:06:29	3,701.8
CAT 797 F	400	00:19:33	00:24:52	00:05:19	4,514.1
Komatsu 980 E	363	00:24:27	00:29:48	00:04:20	5,026.2
CAT 793 D	218	00:28:11	00:30:33	00:02:22	5,526.8
CAT 797 F	400	00:00:57	00:04:37	00:03:40	6,545.5
Komatsu 930 E-4SE	290	00:04:47	00:07:32	00:02:45	6,327.3
Komatsu 980 E	363	00:08:16	00:12:07	00:03:51	5,657.1
CAT 797 F	400	00:15:16	00:19:19	00:04:03	5,925.9
Komatsu 930 E-4	290	00:19:43	00:23:12	00:03:29	4,995.2
CAT 797 F	400	00:23:30	00:30:13	00:06:43	3,573.2
Komatsu 980 E	363	00:27:28	00:32:14	00:04:46	4,569.2
CAT 797 F	400	00:03:37	00:08:03	00:04:26	5,413.5
Komatsu 930 E-4	290	00:08:26	00:11:46	00:03:20	5,220.0
					5,012

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 23

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0822_0823 (10 sept.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
CAT 797 F	400	00:00:45	00:05:10	00:04:25	5,434.0
CAT 797 F	400	00:05:32	00:09:02	00:03:30	6,857.1
CAT 797 F	400	00:09:56	00:13:13	00:03:17	7,309.6
Komatsu 980 E	363	00:13:28	00:15:50	00:02:22	9,202.8
CAT 797 F	400	00:17:37	00:20:31	00:02:54	8,275.9
CAT 797 F	400	00:20:46	00:24:23	00:03:37	6,635.9
CAT 797 F	400	00:00:18	00:06:29	00:06:11	3,881.4
					6,800

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 24

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0827 (02 oct.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
Komatsu 980 E	363	00:02:10	00:05:31	00:03:21	6,501.5
CAT 797 F	400	00:07:44	00:10:31	00:02:47	8,622.8
Komatsu 980 E	363	00:14:58	00:18:36	00:03:38	5,994.5
CAT 797 F	400	00:10:15	00:13:15	00:03:00	8,000.0
CAT 797 F	400	00:18:56	00:22:02	00:03:06	7,741.9
CAT 797 F	400	00:22:27	00:25:53	00:03:26	6,990.3
CAT 797 F	400	00:27:20	00:30:28	00:03:08	7,659.6
CAT 797 F	400	00:01:05	00:05:59	00:04:54	4,898.0
CAT 797 F	400	00:09:43	00:12:27	00:02:44	8,780.5
Komatsu 980 E	363	00:18:03	00:20:10	00:02:07	10,289.8
CAT 797 F	400	00:20:25	00:23:51	00:03:26	6,990.3
CAT 797 F	400	00:24:43	00:27:10	00:02:27	9,795.9
CAT 797 F	400	00:01:59	00:04:50	00:02:51	8,421.1
					7,745

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 25

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0827 (03 oct.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
Komatsu 930 E	292	00:07:57	00:12:01	00:04:04	4,308.2
CAT 797 F	400	00:16:10	00:19:27	00:03:17	7,309.6
Komatsu 980 E	363	00:19:50	00:23:55	00:04:05	5,333.9
CAT 797 F	400	00:24:24	00:28:57	00:04:33	5,274.7
CAT 797 F	400	00:29:14	00:33:20	00:04:06	5,853.7
Komatsu 980 E	363	00:05:22	00:09:15	00:03:53	5,608.6
CAT 797 F	400	00:09:38	00:13:00	00:03:22	7,128.7
Komatsu 930 E	292	00:20:20	00:23:28	00:03:08	5,591.5
Komatsu 980 E	363	00:23:45	00:27:36	00:03:51	5,657.1
CAT 797 F	400	00:27:49	00:31:40	00:03:51	6,233.8
CAT 797 F	400	00:31:58	00:36:13	00:04:15	5,647.1
CAT 797 F	400	00:04:40	00:07:50	00:03:10	7,578.9
Komatsu 980 E	363	00:08:06	00:12:19	00:04:13	5,165.2
CAT 797 F	400	00:13:10	00:17:08	00:03:58	6,050.4
CAT 797 F	400	00:17:40	00:21:29	00:03:49	6,288.2
Komatsu 930 E	292	00:21:58	00:24:49	00:02:51	6,147.4
Komatsu 980 E	363	00:25:20	00:29:10	00:03:50	5,681.7
CAT 797 F	400	00:29:24	00:35:04	00:05:40	4,235.3
CAT 797 F	400	00:03:20	00:08:20	00:05:00	4,800.0
CAT 797 F	400	00:08:37	00:12:02	00:03:25	7,024.4
Komatsu 980 E	363	00:12:27	00:15:46	00:03:19	6,566.8
CAT 797 F	400	00:16:20	00:20:20	00:04:00	6,000.0
CAT 797 F	400	00:20:45	00:24:31	00:03:46	6,371.7
CAT 797 F	400	00:25:04	00:28:54	00:03:50	6,260.9
					5,922

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 26

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0827 (04 oct.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
Komatsu 930 E	290	00:17:54	00:20:38	00:02:44	6,365.9
CAT 797 F	400	00:21:48	00:24:52	00:03:04	7,826.1
CAT 797 F	400	00:26:52	00:30:02	00:03:10	7,578.9
CAT 797 F	400	00:01:36	00:05:10	00:03:34	6,729.0
CAT 797 F	400	00:05:28	00:08:33	00:03:05	7,783.8
					7,257

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 27

Cálculo DIG RATE proyecto 3565-0827 (05 oct.)

Equipo	Capacidad nominal	Tiempo inicio	Tiempo final	Tiempo de carguío	Dig Rate
CAT 797 F	400	00:14:05	00:17:44	00:03:39	6,575.3
Komatsu 930 E	290	00:18:01	00:20:20	00:02:19	7,510.8
CAT 797 F	400	00:20:36	00:24:43	00:04:07	5,830.0
Komatsu 980 E	363	00:25:23	00:28:28	00:03:05	7,063.8
CAT 797 F	400	00:28:45	00:31:48	00:03:03	7,868.9
Komatsu 980 E	363	00:01:31	00:05:00	00:03:29	6,252.6
Komatsu 930 E	292	00:05:41	00:07:18	00:01:37	10,837.1
Komatsu 980 E	363	00:07:35	00:10:29	00:02:54	7,510.3
Komatsu 930 E	292	00:10:47	00:13:12	00:02:25	7,249.7
CAT 797 F	400	00:13:26	00:16:11	00:02:45	8,727.3
CAT 797 F	400	00:29:31	00:32:44	00:03:13	7,461.1
					7,535

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

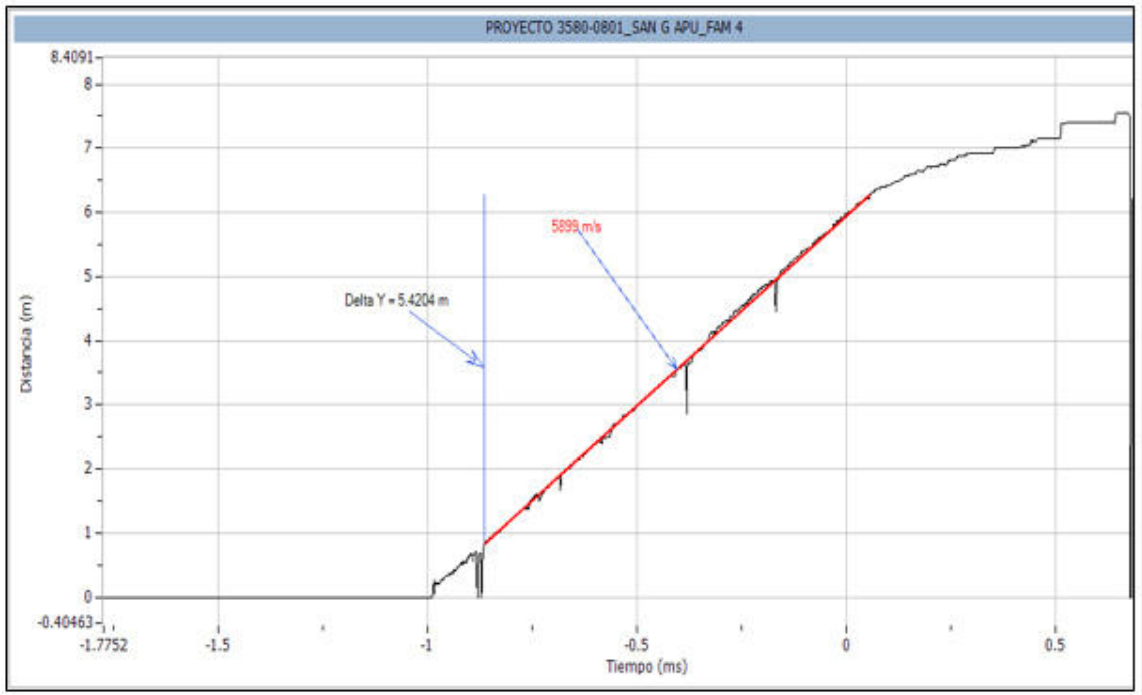
ANEXOS: MEDICIONES DE LA VELOCIDAD DE DETONACIÓN

ANEXO 28

VOD Proyecto 3580-0831

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	3580-0831
Zona / Tajo	FASE 8
PARÁMETROS	
N° de taladro / Condición	2721
Diámetro de taladro (inch)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	16.00
Condición del taladro:	Seco
Longitud de taco inicial (m) Longitud de taco final sin Blast Bag (m) Longitud de taco sin cámara de aire (m)	8.40 7.60 6.00
Camión fábrica	FAM 4
Tipo de explosivo	San G Apu
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	758
Densidad inicial (g/cc) Densidad final (g/cc)	1.30 1.11
Tiempo de esponjamiento (min)	20
Iniciador	01 Booster HDP-2
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	-
Tipo de emulsión	SAN G APU
RESULTADOS	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
0.85 – 6.40	5899
UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO	
Primer taladro de la Secuencia	-
Parte final del proyecto	X
Otro: Combustible	-

GRAFICA



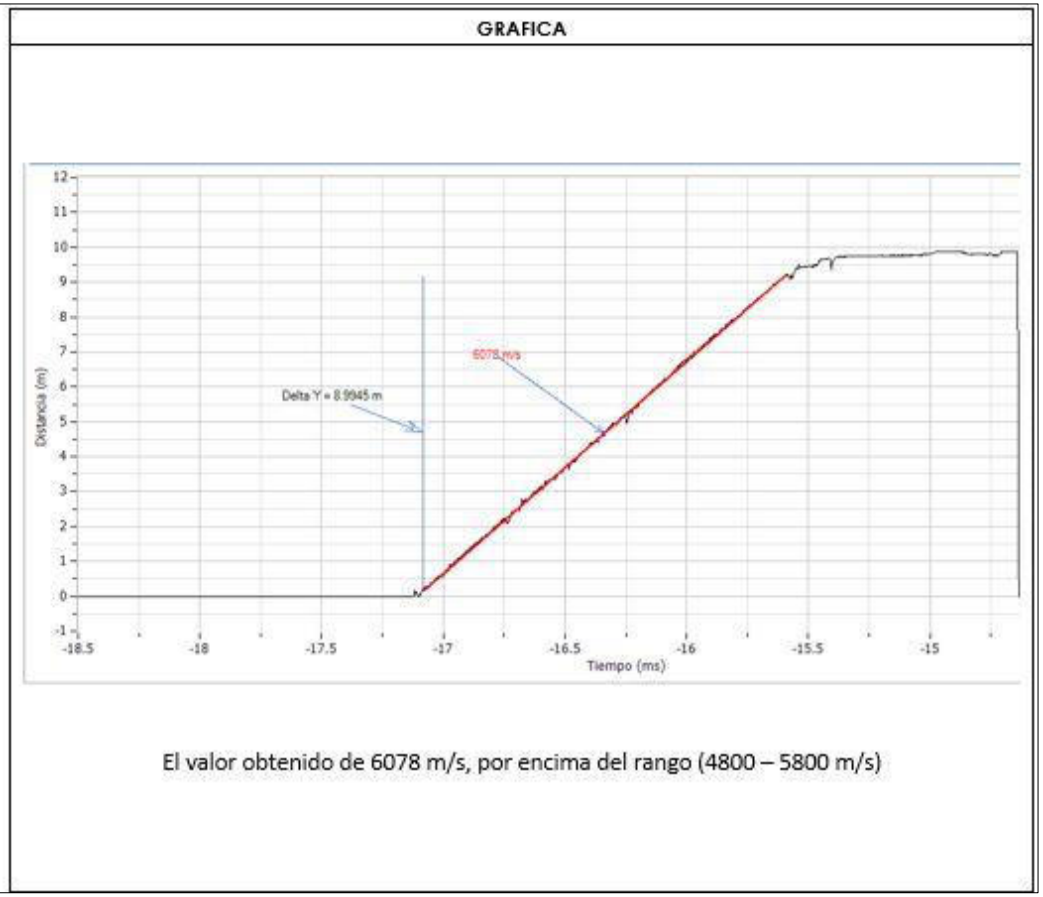
El valor obtenido de 5899 m/s, se encuentra por encima del rango (4800 – 5800 m/s)

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 29

VOD Proyecto 3565-0822-0823

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	3565-0822_0823
Zona / Tajo	FASE 8
PARÁMETROS	
Nº de taladro / Condición	
Diámetro de taladro (inch)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	16.20
Condición del taladro:	Seco
Longitud de tajo inicial (m.) Longitud de taco sin cámara de aire (m.) Longitud de taco final (m.)	6.00 - 6.00
Camión fábrica	FAM 3
Tipo de explosivo	San G Apu
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	915
Densidad inicial (g/cc) Densidad final (g/cc)	1.32 1.10
Tiempo de esponjamiento (min)	20
Iniciador	01 Booster HDP-2
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	-
Tipo de emulsión	SAN G APU
RESULTADOS	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
45.70 - 53.6	6078
UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO	
Primer taladro de la Secuencia	X
Parte final del proyecto	PENULTIMO
Otro: Combustible	-



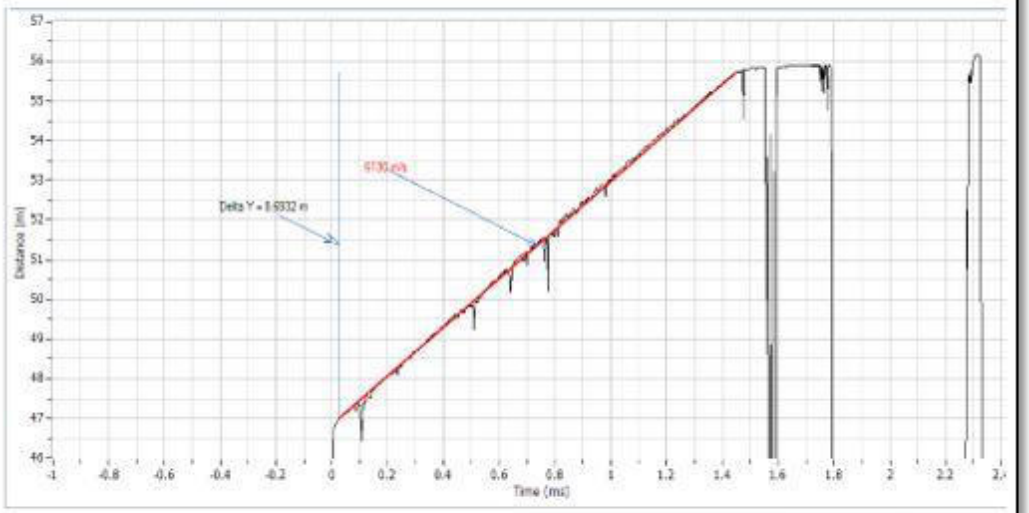
Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 30

VOD Proyecto 3565-0822_0823

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	3565-0822_0823
Zona / Tajo	FASE B
PARÁMETROS	
Nº de taladro / Condición	3556
Diámetro de taladro (inch)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	16.20
Condición del taladro:	Seco
Longitud de tajo inicial (m.) Longitud de taco sin cámara de aire (m.) Longitud de taco final (m.)	6.00 - 6.00
Camión fábrica	FAM 3
Tipo de explosivo	San G Apu
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	914
Densidad inicial (g/cc) Densidad final (g/cc)	1.32 1.10
Tiempo de esponjamiento (min)	20
Iniciador	01 Booster HDP-2
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	-
Tipo de emulsión	SAN G APU
RESULTADOS	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
45.70 - 53.6	6130
UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO	
Primer taladro de la Secuencia	-
Parte final del proyecto	ULTIMO
Otro: Combustible	-

GRAFICA



El valor obtenido de 6130 m/s, por encima del rango (4800 – 5800 m/s)

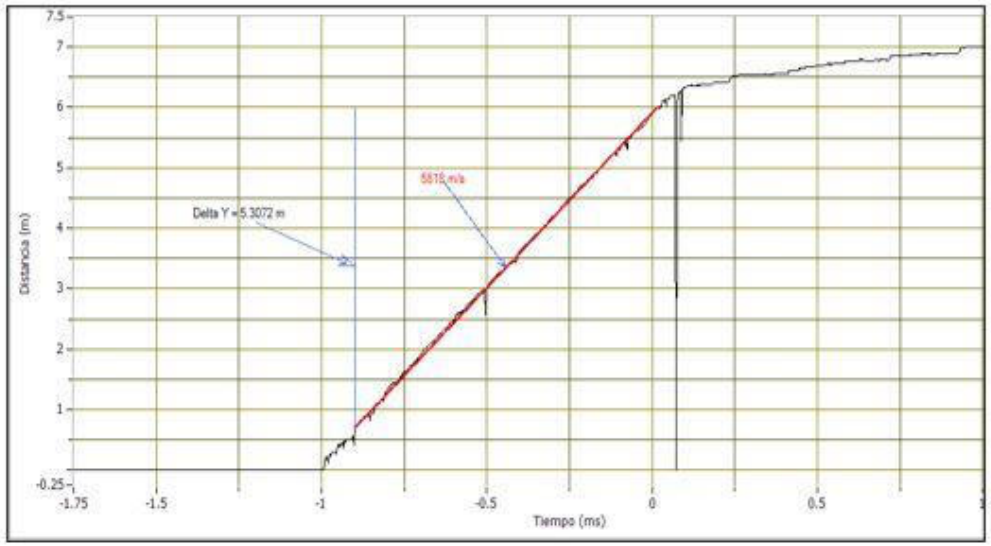
Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 31

VOD Proyecto 3355-0705

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	3355-0705
Zona / Tajo	FASE 7
PARÁMETROS	
N° de taladro / Condición	4861
Diámetro de taladro (inch)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	15.70
Condición del taladro:	Seco
Longitud de taco inicial (m) Longitud de taco sin cámara de aire (m) Longitud de taco sin cámara de aire (m)	8.50 - 6.00
Camión fábrica	FAM 3
Tipo de explosivo	San G Apu
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	648
Densidad inicial (g/cc) Densidad final(g/cc)	1.30 1.10
Tiempo de esponjamiento (min)	20
Iniciador	01 Booster HDP-2
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	-
Tipo de emulsión	SAN G APU
RESULTADOS	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
0.70 – 6.10	5818
UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO	
Primer taladro de la Secuencia	X
Parte final del proyecto	-
Otro: Combustible	-

GRAFICA



El valor obtenido de 5818 m/s, se encuentra por encima del rango (4800 – 5800 m/s)

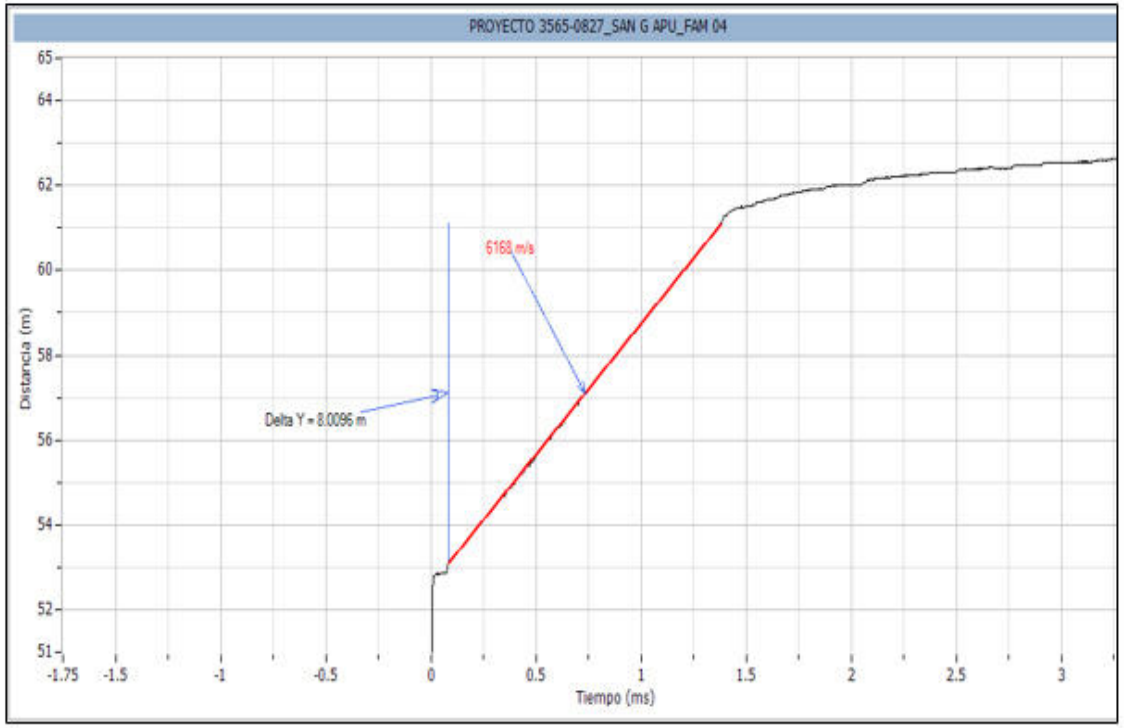
Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 32

VOD Proyecto 3565-0827

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	3565-0827
Zona / Tajo	FASE 8
PARÁMETROS	
Nº de taladro / Condición	7595
Diámetro de taladro (inch)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	15.10
Condición del taladro:	Seco
Longitud de taco inicial (m) Longitud de taco final (m) Longitud de taco sin cámara de aire (m)	7.00 6.40 6.00
Camión fábrica	FAM 4
Tipo de explosivo	San G Apu
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	758
Densidad inicial (g/cc) Densidad final (g/cc)	1.30 1.11
Tiempo de esponjamiento (min)	20
Iniciador	01 Booster HDP-2
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	-
Tipo de emulsión	SAN G APU
RESULTADOS	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
0.85 – 6.40	6168
UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO	
Primer taladro de la Secuencia	-
Parte final del proyecto	X
Otro: Combustible	-

GRAFICA



El valor obtenido de 6168 m/s, se encuentra por encima del rango (4800 – 5800 m/s)

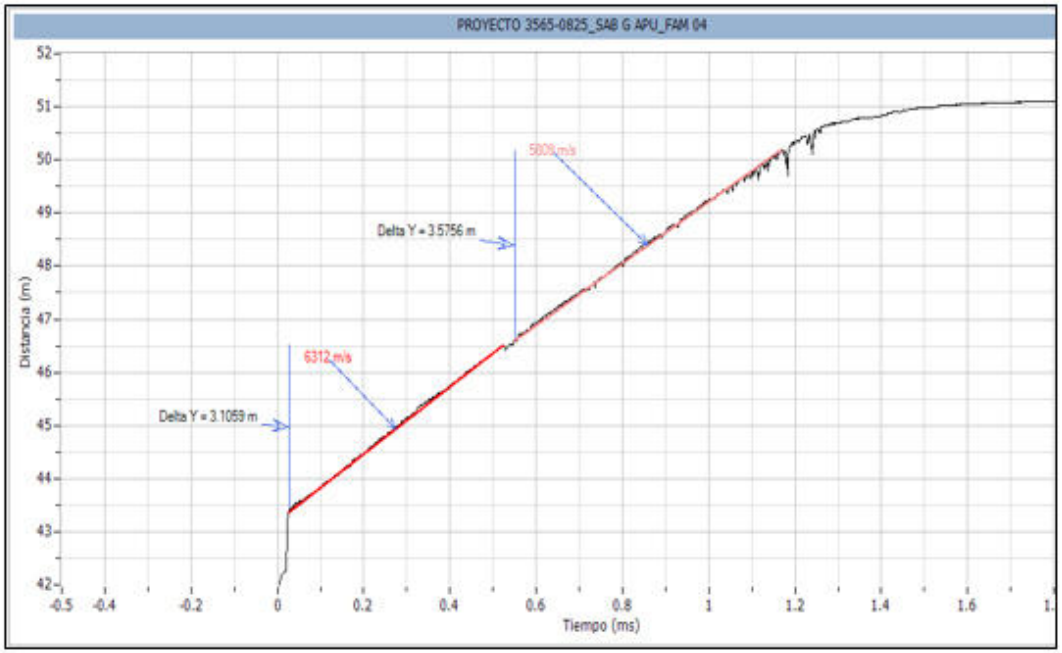
Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXO 33

VOD Proyecto 3565-0825

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	3565-0825
Zona / Tajo	FASE 8
PARÁMETROS	
N° de taladro / Condición	6611
Diámetro de taladro (inch)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	15.0
Condición del taladro:	Seco
Longitud de taco inicial (m) Longitud de taco final (m) Longitud de taco sin cámara de aire (m)	7.20 6.40 6.00
Camión fábrica	FAM 4
Tipo de explosivo	San G Apu
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	861
Densidad inicial (g/cc) Densidad final (g/cc)	1.32 1.11
Tiempo de esponjamiento (min)	20
Iniciador	01 Booster HDP-2
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	-
Tipo de emulsión	SAN G APU
RESULTADOS	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
43.36 – 46.50	6312
46.59 – 50.19	5809
PROMEDIO	6060.5
UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO	
Primer taladro de la Secuencia	-
Parte final del proyecto	-
Otro:	X

GRAFICA



Primer lectura VOD 6312 m/s y segunda lectura VOD 5809 m/s
El valor promedio obtenido de 6060.5 m/s, se encuentra por encima del rango (4800 – 5800 m/s)

Nota: Asistencia Técnica Famesa Explosivos

ANEXOS: MEDICIÓN DE NIVEL DE GASES

ANEXO 34

Clasificación de nivel de gases

PROYECTO 3580-0833



PROYECTO 3565-0822_0823



PROYECTO 3550-0801



PROYECTO 3355-0705



Level	Typical Appearance
Level 0 No NOx gas	

PROYECTO 3580-0831



PROYECTO 3565-0827



PROYECTO 3565-0825



ANEXOS: CÁLCULOS COSTOS Y FACTOR DE POTENCIA USADO

ANEXO 35

Cálculo de costos proyecto 3580-0833

CÁLCULO COSTO SAN-G APU

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3580
BANCO	(m)	833
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.3858964
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.1497798

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.6
VOLUMEN ROTO	(m^3)	276000
TONELAJE ROTO	(t)	717600
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1725
TONELAJE / TAL	(t)	4485

AGENTES DE VOLADURA		
N30	(Kg)	974.59
EMULSIÓN SAN-G APU	(Kg)	106507.41
CARGA TOTAL	(Kg)	107482

MATERIA PRIMA		
N30	$	1003.8277
EMULSION SAN G APU	$	47395.797
TOTAL	$	48399.625

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	48399.625
COSTO UNITARIO	($/t)	0.06745

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 82

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3580
BANCO	(m)	833
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.3666
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.141

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.6
VOLUMEN ROTO	(m^3)	276000
TONELAJE ROTO	(t)	717600
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1725
TONELAJE / TAL	(t)	4485

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	80945.28
NITRATO	(Kg)	19629.23
DIÉSEL	(Gal)	189.1245
CARGA TOTAL	(Kg)	101181.6

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	37647.65
NITRATO	$	8267.832
DIÉSEL	$	742.3136
TOTAL	$	46657.8

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	46657.8
COSTO UNITARIO	($/t)	0.06502

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 73

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3580
PROYECTO	(m)	1
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.3666
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.141

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.6
VOLUMEN ROTO	(m^3)	276000
TONELAJE ROTO	(t)	717600
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1725
TONELAJE / TAL	(t)	4485

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	70827.12
NITRATO	(Kg)	29443.846
DIESEL	(Gal)	283.68673
CARGA TOTAL	(Kg)	101181.6

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	32941.694
NITRATO	$	12401.748
DIESEL	$	1113.4704
TOTAL	$	46456.912

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	46456.912
COSTO UNITARIO	($/t)	0.06474

Nota: Elaboración propia

ANEXO 36

Cálculos de costo proyecto 3565-0822-0823

CÁLCULO DE COSTO SAN-G APU

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3565
BANCO	(m)	822
PROYECTO	N°	2
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	1.0222306
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.4486831

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	187319.74
TONELAJE ROTO	(t)	436455
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
N30	(Kg)	1769.75
EMULSIÓN SAN-G APU	(Kg)	194060.25
CARGA TOTAL	(Kg)	195830

MATERIA PRIMA		
N30	$	1822.8425
EMULSION SAN G APU	$	86356.811
TOTAL	$	88179.654

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	88179.654
COSTO UNITARIO	($/t)	0.19935

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 82

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3565
BANCO	(m)	822
PROYECTO	N°	2
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	1.08811
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.467

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	187319.74
TONELAJE ROTO	(t)	436455
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	163059.59
NITRATO	(Kg)	39541.95
DIESEL	(Gal)	380.98035
CARGA TOTAL	(Kg)	203824.49

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	75839.014
NITRATO	$	16655.069
DIÉSEL	$	1495.3479
TOTAL	$	93989.432

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	93989.432
COSTO UNITARIO	($/t)	0.21249

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 73

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3565
BANCO	(m)	822
PROYECTO	N°	2
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	1.08811
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.467

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	187319.74
TONELAJE ROTO	(t)	436455
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	142677.14
NITRATO	(Kg)	59312.925
DIESEL	(Gal)	571.47052
CARGA TOTAL	(Kg)	203824.49

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	66359.138
NITRATO	$	24982.604
DIESEL	$	2243.0218
TOTAL	$	93584.763

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	93584.763
COSTO UNITARIO	($/t)	0.21157

Nota: Elaboración propia

ANEXO 37

Cálculo de costo proyecto 3355-0705

CÁLCULO COSTO SAN-G APU

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3355
BANCO	(m)	705
PROYECTO	N°	3
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.5990457
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.2325826

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.6
VOLUMEN ROTO	(m^3)	247983.08
TONELAJE ROTO	(t)	644756
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1053
TONELAJE / TAL	(t)	2737.8

AGENTES DE VOLADURA		
N30	(Kg)	1405.8
EMULSIÓN SAN-G APU	(Kg)	148553.2
CARGA TOTAL	(Kg)	149959

MATERIA PRIMA		
N30	$	1447.974
EMULSION SAN G APU	$	66106.174
TOTAL	$	67554.148

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	67554.148
COSTO UNITARIO	($/t)	0.10477

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 82

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3355
BANCO	(m)	705
PROYECTO	N°	3
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.6188
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.238

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.6
VOLUMEN ROTO	(m^3)	247983.08
TONELAJE ROTO	(t)	644756
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1053
TONELAJE / TAL	(t)	2737.8

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	122761.54
NITRATO	(Kg)	29769.674
DIESEL	(Gal)	286.82603
CARGA TOTAL	(Kg)	153451.93

MATERIA PRIMA		
EMULSIÓN	$	57096.393
NITRATO	$	12538.987
DIÉSEL	$	1125.7922
TOTAL	$	70761.172

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	70761.172
COSTO UNITARIO	($/t)	0.10975

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 73

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3355
PROYECTO	N°	3
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.6188
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.238

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.6
VOLUMEN ROTO	(m^3)	247983.08
TONELAJE ROTO	(t)	644756
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1053
TONELAJE / TAL	(t)	2737.8

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	107416.35
NITRATO	(Kg)	44654.511
DIÉSEL	(Gal)	430.23905
CARGA TOTAL	(Kg)	153451.93

MATERIA PRIMA		
EMULSIÓN	$	49959.344
NITRATO	$	18808.48
DIÉSEL	$	1688.6883
TOTAL	$	70456.513

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	70456.513
COSTO UNITARIO	($/t)	0.10928

Nota: Elaboración propia

ANEXO 38

Cálculo de costo proyecto 3550-0801

CÁLCULO COSTO SAN-G APU

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3550
BANCO	(m)	801
PROYECTO	N°	4
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	1.1106687
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.4766819

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	411549.36
TONELAJE ROTO	(t)	958910
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
N30	(Kg)	3970.61
EMULSIÓN SAN-G APU	(Kg)	453124.39
CARGA TOTAL	(Kg)	457095

MATERIA PRIMA		
N30	$	4089.7283
EMULSION SAN G APU	$	201640.35
TOTAL	$	205730.08

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	205730.08
COSTO UNITARIO	($/t)	0.21455

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 82

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3550
PROYECTO	N°	4
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	1.0211608
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.466

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	437592.27
TONELAJE ROTO	(t)	958910
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	357481.65
NITRATO	(Kg)	88689.3
DIESEL	(Gal)	835.2375
CARGA TOTAL	(Kg)	446852.06

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	166264.71
NITRATO	$	36513.533
DIESEL	$	3278.3072
TOTAL	$	206056.55

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	206056.55
COSTO UNITARIO	($/t)	0.21489

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 73

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3550
PROYECTO	N°	4
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	1.0211608
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.466

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	437592.27
TONELAJE ROTO	(t)	958910
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	312796.44
NITRATO	(Kg)	130033.95
DIESEL	(Gal)	1252.8562
CARGA TOTAL	(Kg)	446852.06

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	145481.63
NITRATO	$	54770.3
DIESEL	$	4917.4608
TOTAL	$	205169.39

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	205169.39
COSTO UNITARIO	($/t)	0.21396

Nota: Elaboración propia

ANEXO 39

Cálculo de costo proyecto 3580-0831

CÁLCULO COSTO SAN-G APU

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3580
BANCO	(m)	831
PROYECTO	N°	5
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.6355527
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.2311101

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.75
VOLUMEN ROTO	(m^3)	94620
TONELAJE ROTO	(t)	260205
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1182.75
TONELAJE / TAL	(t)	3252.5625

AGENTES DE VOLADURA		
N30	(Kg)	558.83
EMULSIÓN SAN-G APU	(Kg)	59577.17
CARGA TOTAL	(Kg)	60136

MATERIA PRIMA		
N30	$	575.5949
EMULSION SAN G APU	$	26511.841
TOTAL	$	27087.436

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	27087.436
COSTO UNITARIO	($/t)	0.10410

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 82

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3580
BANCO	(m)	831
PROYECTO	N°	5
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.7205
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.262

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.75
VOLUMEN ROTO	(m^3)	94620
TONELAJE ROTO	(t)	260205
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1182.75
TONELAJE / TAL	(t)	3252.5625

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	54538.968
NITRATO	(Kg)	13225.7
DIESEL	(Gal)	127.4275
CARGA TOTAL	(Kg)	68173.71

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	25366.074
NITRATO	$	5570.6647
DIÉSEL	$	500.15292
TOTAL	$	31436.892

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	31436.892
COSTO UNITARIO	($/t)	0.12082

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 73

DATOS DE VOLADURA		
NIVEL	(m)	3580
BANCO	(m)	831
PROYECTO	N°	5
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.7205
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.262

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.75
VOLUMEN ROTO	(m^3)	94620
TONELAJE ROTO	(t)	260205
VOLUMEN / TAL	(m^3)	1182.75
TONELAJE / TAL	(t)	3252.563

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	47721.6
NITRATO	(Kg)	19838.55
DIESEL	(Gal)	191.1412
CARGA TOTAL	(Kg)	68173.71

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	22195.31
NITRATO	$	8355.997
DIESEL	$	750.2294
TOTAL	$	31301.54

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	31301.54
COSTO UNITARIO	($/t)	0.12030

Nota: Elaboración propia

ANEXO 40

Cálculo de costo proyecto 3565-0827

CÁLCULO COSTO SAN-G APU

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
BANCO	(m)	827
PROYECTO	N°	6
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.9855737
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.422993

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	147509.01
TONELAJE ROTO	(t)	343696
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
N30	(Kg)	1598.7
EMULSIÓN SAN-G APU	(Kg)	143782.3
CARGA TOTAL	(Kg)	145381

MATERIA PRIMA		
N30	$	1646.661
EMULSION SAN G APU	$	63983.124
TOTAL	$	65629.785

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	65629.785
COSTO UNITARIO	($/t)	0.19095

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 82

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3563
BANCO	(m)	827
PROYECTO	Nº	6
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.9786
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.42

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	147509
TONELAJE ROTO	(t)	343696
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	115481.9
NITRATO	(Kg)	28004.35
DIESEL	(Gal)	269.8174
CARGA TOTAL	(Kg)	144352.3

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	53710.61
NITRATO	$	11795.43
DIESEL	$	1059.033
TOTAL	$	66565.08

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	66565.08
COSTO UNITARIO	($/t)	0.19367

Nota: Elaboración propia

CÁLCULOS COSTO MEQ 73

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3563
BANCO	(m)	827
PROYECTO	N°	6
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.9786
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.42

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	147509.01
TONELAJE ROTO	(t)	343696
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	101046.62
NITRATO	(Kg)	42006.525
DIESEL	(Gal)	404.72613
CARGA TOTAL	(Kg)	144352.32

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	46996.785
NITRATO	$	17693.148
DIÉSEL	$	1588.5501
TOTAL	$	66278.483

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	66278.483
COSTO UNITARIO	($/t)	0.19284

Nota: Elaboración propia

ANEXO 41

Cálculo de costo proyecto 3565-0825

CÁLCULO COSTO SAN-G APU

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3565
BANCO	(m)	825
PROYECTO	N°	7
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.9823847
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.4216243

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	327039.91
TONELAJE ROTO	(t)	762003
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
N30	(Kg)	3124.5365
EMULSIÓN SAN-G APU	(Kg)	318154.46
CARGA TOTAL	(Kg)	321279

MATERIA PRIMA		
N30	$	3218.2726
EMULSION SAN G APU	$	141578.73
TOTAL	$	144797.01

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	144797.01
COSTO UNITARIO	($/t)	0.19002

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 82

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3565
PROYECTO	N°	7
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.98559
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.423

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	327039.91
TONELAJE ROTO	(t)	762003
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	257861.82
NITRATO	(Kg)	62531.49
DIESEL	(Gal)	602.48088
CARGA TOTAL	(Kg)	322327.27

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	119931.53
NITRATO	$	26338.264
DIÉSEL	$	2364.7374
TOTAL	$	148634.53

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	148634.53
COSTO UNITARIO	($/t)	0.19506

Nota: Elaboración propia

CÁLCULO COSTO MEQ 73

DATOS DE VOLADURA		
HORA DE DISPARO	(Hr)	13:15
NIVEL	(m)	3565
BANCO	(m)	825
PROYECTO	N°	7
FACTOR DE CARGA	(kg/m^3)	0.98559
FACTOR DE POTENCIA	(kg/t)	0.423

MATERIAL QUEBRADO		
DENSIDAD ROCA	(g/cc)	2.33
VOLUMEN ROTO	(m^3)	327039.91
TONELAJE ROTO	(t)	762003
VOLUMEN / TAL	(m^3)	840
TONELAJE / TAL	(t)	1957.2

AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	(Kg)	225629.09
NITRATO	(Kg)	93797.235
DIESEL	(Gal)	903.72131
CARGA TOTAL	(Kg)	322327.27

MATERIA PRIMA		
EMULSION	$	104940.09
NITRATO	$	39507.395
DIÉSEL	$	3547.1062
TOTAL	$	147994.59

COSTOS DE VOLADURA		
COSTO DE VOLADURA	$	147994.59
COSTO UNITARIO	($/t)	0.19422

Nota: Elaboración propia

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA TESIS Y TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ACCESO ABIERTO DE LA UNAM

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNAM aprobada mediante la Resolución de C.O. N° 0158-2016-UNAM.

1. DATOS PERSONALES DEL AUTOR

Apellidos y Nombres:	CALDERÓN VILLALOBOS DANY MABEL
D.N.I.:	74476858
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANA
Teléfono/Celular:	931004686
e-mail:	mabel.calderonv@gmail.com

2. DATOS ACADÉMICOS

Escuela Profesional:	INGENIERIA DE MINAS
Grado Académico otorgado:	BACHILLER
Título Profesional otorgado:	INGENIERO DE MINAS
Tesis / Trabajo de Suficiencia Profesional (Pregrado y/o Postgrado):	TESIS PREGRADO
Modalidad de Titulación:	TESIS

3. DATOS DE LA TESIS

Título de la tesis / Trabajo de Suficiencia Profesional:	"OPTIMIZACION DEL PROCESO DE VOLADURA DE LA FASE 748 CON LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G APU, MINA QUAJONE"
Fecha de Sustentación:	11/08/2021
Calificación:	13
Año de Publicación:	

4. DATOS DEL ASESOR

Apellidos y Nombres:	BARRIGA PARIA CHRIST JESUS
D.N.I.:	44331713
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANO
Teléfono / Celular:	996 707 694
e-mail:	cbarrigap@unam.edu.pe

5. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua para su explotación no exclusiva, ilimitada, perpetua y con alcance mundial, a favor de la Universidad Nacional de Moquegua.

Según el Reglamento de la Ley Nº 30035, Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto DECRETO SUPREMO N° 006-2015-PCM "TÍTULO IV GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y DE LOS DATOS PERSONALES; *Artículo 10º.- De los Derechos: Esta cesión de derechos comprende, mas no se limita, a los derechos de reproducción, comunicación al público, distribución, traducción, adaptación, arreglo, edición, modificación, cambio de formato u otra transformación, importación al territorio nacional de copias por cualquier medio incluyendo la transmisión, así como cualquier otra forma de utilización de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo que no estén contempladas en la ley de la materia como excepción al derecho patrimonial y, en general, para cualquier tipo de utilización y explotación, que la entidad estime pertinentes, en cualquier forma o procedimiento, conocido o por conocerse, pudiendo poner a disposición las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo por medio de autorizaciones o licencias a favor del público en general."*

Sin perjuicio de otras obligaciones a su cargo, EL AUTOR deberá entregar una versión digital final de la TESIS sin ninguna medida tecnológica efectiva ni sistema de auto tutela, sin contraseña ni restricción, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en relación con el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto. Cuando las obras contengan en parte o consistan en programas de ordenador o software, además deberá entregar el código fuente, código objeto, documentación técnica y manuales. Lo dispuesto en relación con los programas de ordenador no se aplicará cuando la entidad pública sea sólo licenciataria del software.

Para facilitar la divulgación y alcance nacional e internacional de los resultados de las investigaciones en materia de ciencia, tecnología e innovación contenidos en los repositorios institucionales y en el Repositorio Nacional Digital, se autoriza la traducción automática a otros idiomas y dialectos por medio de programas de ordenador de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo, así como de los metadatos de los mismos. En caso de ser fijadas o reproducidas, se deberá incluir expresamente que se trata de traducciones hechas por medios informáticos, con fines ilustrativos o referenciales.

Firma y huella digital: _____



Fecha de autorización: 20/09/202_____