



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Comparativo de explosivos Superfam Dos y Emulgran
Qhana para mejorar los indicadores operativos y
económicos de voladura de frentes en la U.M María
Teresa – Minera Colquisiri S.A**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Giosett Alejandro VILLEGAS HUARCAYA

ASESOR

Mg. Rómulo MUCHO MAMANI

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Villegas, G. (2023). *Comparativo de explosivos Superfam Dos y Emulgran Qhana para mejorar los indicadores operativos y económicos de voladura de frentes en la U.M María Teresa – Minera Colquisiri S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios: autor / asesor

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Giosett Alejandro Villegas Huarcaya
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73879843
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Rómulo Mucho Mamani
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01208105
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-6893-5718
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Emiliano Mauro Giraldo Paredez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08635711
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Edgar William Alayo León
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07710165
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jesús Alberto Torres Guerra
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07219691

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.4.27. Tecnología de Explotación en Minas de tajo abierto y subterráneo
Grupo de investigación	Optimización de Procesos de Transformación y Manufactura - OPTM
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Mina: U.M María Teresa – Minera Colquisiri País: Perú Departamento: Lima Provincia: Huaral Distrito: Huaral Latitud: -11.493 Longitud: -77.279
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021 - 2022
URL de disciplinas OCDE	Minería, Procesamiento de minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú - Decana de América)
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
Av. Colonial cdra. 53 – Ciudad Universitaria
Central Telefónica: 619-7000 anexos: 1110 - 1111
Lima 1 – Perú

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

En las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el 16, del mes de mayo del 2023, siendo las 10:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS de Don: **GIOSETT ALEJANDRO VILLEGAS HUARCAYA** Bachiller en Ingeniería de Minas, quien sustentó la Tesis Titulada: **“COMPARATIVO DE EXPLOSIVOS SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA PARA MEJORAR LOS INDICADORES OPERATIVOS Y ECONÓMICOS DE VOLADURA DE FRENTES EN LA U. M MARÍA TERESA- MINERA COLQUISIRI S.A.”**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

Satisfacción

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue la nota de:

13 (Trece)

Habiendo concluido la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Miembro presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**, a **Don GIOSETT ALEJANDRO VILLEGAS HUARCAYA**.

Siendo las 11:15 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

Ciudad Universitaria, 16 de mayo del 2023

Dr. EMILIANO MAURO GIRALDO PAREDEZ
MIEMBRO PRESIDENTE

Dr. JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA
MIEMBRO

Mg. EDGAR WILLIAM ALAYO LEÓN
MIEMBRO

RECOMENDACIONES

Se hará llegar al graduado las observaciones por medio de cada jurado

NOTA OBTENIDA: 13..... (Trece)

PÚBLICO ASISTENTE: (Nombre, apellido y DNI)



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Rómulo Mucho Mamani.....en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°001097-2023-D-FIGMMG/UNMSM.....de la

tesis/monografía/informe de investigación/trabajo académico, cuyo título es COMPARATIVO

DE EXPLOSIVOS SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA PARA MEJORAR LOS INDICADORES OPERATIVOS Y ECONÓMICOS DE VOLADURA DE FRENTER EN U.M MARÍA

presentado por el bachiller/magíster/egresado/licenciado/estudiante Giosett Alejandro Villegas Huarcaya

para optar el grado/título/especialidad de Título Profesional de Ingeniero de Minas

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de

Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la

revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento

evaluado cuenta con el porcentaje de 11% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar

con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio**

institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas

vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad

correspondiente.

Firma del Asesor _____

DNI: 01208105

Nombres y apellidos del asesor: Rómulo Mucho Mamani



DEDICATORIA

El presente proyecto es el resultado del esfuerzo y apoyo continuo de mi madre Katty, mi padre Erciño, mi hermana Alison y Dios, a quienes agradezco infinitamente por su compañía, confianza y guía brindada para pulir mi camino con sabiduría.

AGRADECIMIENTO

Sobran palabras de gratitud hacia las personas que fueron participes y tuvieron influencia en mi desarrollo profesional.

Gracias al Ing. Rómulo Mucho Mamani, por el esmero dedicado en la asesoría del presente proyecto de investigación.

Agradecimiento especial al Ing. Emanuel Taype Arenas, mentor y amigo, por darme la oportunidad de iniciar en la industria minera y la confianza para continuar en ella

Agradecimiento especial al Ing. Dustin Ramos Caviedes y al Ing. Jacinto Coello Cassana, mentores y amigos, por su guía durante mi desarrollo en la industria minera y la confianza depositada.

Del mismo modo, mi más sincero agradecimiento a Famesa Explosivos S.A.C, por brindarme las facilidades técnicas en la realización del presente trabajo.

RESUMEN

La industria minera está en constante innovación, en busca de soluciones óptimas para los distintos retos que se presentan, por tal motivo el presente investigación se centró en el estudio comparativo de los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA para mejorar los indicadores operativos y económicos de voladura en minería subterránea; surgió del problema vinculado a estos indicadores en labores de avance, enfocándose en el área de voladura de minería subterránea y teniendo una investigación de tipo aplicada y un diseño descriptivo, exploratorio y explicativo. Cuya metodología fue el uso de instrumentos para la recolección de datos como el formato de voladura estandarizado y el cálculo en gabinete de los indicadores de los disparos realizados con ambos explosivos en frentes con dos tipos de secciones; bajo las mismas condiciones de diseño y tipo de roca, considerando un diámetro de 48 mm para taladros de producción y de 102 mm para taladros de arranque, longitud de barra 14 ft, densidad de roca de 3.4 g/m^3 y sin modificaciones en la malla para cada tipo de sección; también se usó la perforadora de frentes Sandvik modelo AXERA DD 311, brocas de diámetro 48 mm y 102 mm, cartuchos de emulsión Emulex 1 1/8", Exanel de 4.2 m, cordón detonante 5P, Famejet (equipo bombeable de EMULGRAN QHANA), camioneta de transporte interior mina, cámara fotográfica, flexómetro, distanciómetro digital, latas de espray, laptop, software Wipfrag y sismógrafo.

Finalmente se obtuvo las siguientes mejoras empleando EMULGRAN QHANA en secciones de 4.0 m x 4.0 m: el avance efectivo aumentó en 37 cm, la sobre rotura se redujo en 4.65%, el tiempo de carguío se redujo en 13 minutos, el tiempo de reingreso se redujo en 30 minutos, la granulometría se redujo en 5.43 cm y la eficiencia de la voladura aumento en 9.25%. También, el costo de ejecución de labores 4.0 m x 4.0 m, según el plan de producción

mensual, se redujo en 3,436.41 \$/mes, mientras que el factor de potencia, factor de avance y factor de carga se incrementaron en $0.07 \frac{\text{Kg}}{\text{t}}$, $2.67 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ y $0.16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, respectivamente.

Mientras que para las labores de 4.5 m x 4.5 m se obtuvo las siguientes mejoras: el avance efectivo aumento en 36 cm, la sobre rotura se redujo en 7%, el tiempo de carguío se redujo en 15.6 minutos, el tiempo de reingreso se redujo en 30 minutos, la granulometría se redujo en 4.8 cm y la eficiencia de la voladura aumento en 9.3%. También, el costo de ejecución de labores 4.5 m x 4.5 m, según el plan de producción mensual, se redujo en 6,599.33 \$/mes, mientras que el factor de potencia, factor de avance y factor de carga se incrementaron en $0.03 \frac{\text{Kg}}{\text{t}}$, $1.06 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ y $0.05 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, respectivamente.

Palabras clave: indicadores, voladura, SUPERFAM DOS, EMULGRAN QHANA, Minería Subterránea, labores de avance.

ABSTRACT

The mining industry is in constant innovation, in search of optimal solutions for the different challenges that arise, for this reason, the present investigation focused on the comparative study of the SUPERFAM DOS and EMULGRAN QHANA explosives to improve the operational and economic indicators of blasting in underground mining; It arose from the problem linked to these indicators in progress, focusing on the area of underground mining blasting and having an applied type of research and a descriptive, exploratory, and explanatory design. Whose methodology was the use of instruments for data collection such as the standardized blasting format and the office calculation of the indicators of the shots made with both explosives on fronts with two types of sections; under the same design conditions and type of rock, considering a diameter of 48 mm for production holes and 102 mm for starter holes, bar length 14 ft, rock density of 3.4 g/m³ and without modifications in the mesh for each type of section; The Sandvik model AXERA DD 311 face drill, 48 mm and 102 mm diameter drill bits, 1 1/8" Emulex emulsion cartridges, 4.2 m Exanel, 5P detonating cord, Famejet (EMULGRAN QHANA pumpable equipment), was also used. In-mine transport truck, camera, flexometer, digital EDM, spray cans, laptop, Wipfrag software and seismograph.

Finally, the following improvements were obtained using EMULGRAN QHANA in sections of 4.0 m x 4.0 m: the effective advance increased by 37 cm, the overbreak was reduced by 4.65%, the loading time was reduced by 13 minutes, the re-entry time was reduced in 30 minutes, the granulometry was reduced by 5.43 cm and the blasting efficiency increased by 9.25%. Also, the cost of execution of 4.0 m x 4.0 m tasks, according to the monthly

production plan, was reduced by 3,436.41 \$/month, while the power factor, advance factor and load factor increased by $0.07 \frac{\text{Kg}}{\text{t}}$, $2.67 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ y $0.16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, respectively.

While for the works of 4.5 m x 4.5 m the following improvements were obtained: the effective advance increased by 36 cm, the overbreak was reduced by 7%, the loading time was reduced by 15.6 minutes, the re-entry time was reduced by 30 minutes, the granulometry was reduced by 4.8 cm and the blasting efficiency increased by 9.3%. Also, the cost of execution of 4.5 m x 4.5 m tasks, according to the monthly production plan, was reduced by \$6,599.33/month, while the power factor, advance factor and load factor increased by $0.03 \frac{\text{Kg}}{\text{t}}$, $1.06 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ y $0.05 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, respectively.

Keywords: Indicators, blasting, SUPERFAM DOS, EMULGRAN QHANA, Underground Mining, advance work.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
INDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
GLOSARIO.....	xv
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.2.1. <i>Descripción de la problemática</i>	1
1.2.2 <i>Formulación Del Problema</i>	3
1.2.3 Problemas específicos	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Importancia y alcance de la investigación.....	5
1.5. Limitaciones de la investigación.....	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1 <i>Ámbito nacional</i>	6
2.1.2 <i>Ámbito internacional</i>	7
2.2. Bases teóricas.....	8

2.2.3 Potencia por peso Langefors	16
2.2.4 Sistema de carguío de emulsión sensibilizada	18
2.3 Sistema de voladura actual	19
CAPÍTULO 3	20
HIPÓTESIS Y VARIABLES	20
3.1. Hipótesis.....	20
3.1.1 Hipótesis específicas.....	20
3.2. Variables.....	20
3.2.1 Variable independiente	20
3.2.2 Variable dependiente	21
3.3. Operacionalización de variables.....	22
CAPÍTULO 4	24
MATERIALES Y MÉTODOS	24
4.1. Área de estudio	24
4.1.1 Ubicación y acceso a U.M MARÍA TERESA	24
4.1.2 Concesiones de Beneficio U.M MARÍA TERESA	26
4.2. Equipos y materiales utilizados.....	27
4.3. Diseño de la investigación.....	27
4.4. Población, muestra y muestreo	27
4.5. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recojo de información.....	28
4.6. Análisis estadístico	28
CAPÍTULO 5	29
RESULTADOS	29
5.1. Características químicas y físicas de los explosivos en comparación.	29
5.2. Indicadores operativos de la voladura subterránea a comparar.	31
5.3. Indicadores económicos de la voladura subterráneas a comparar.	43
5.3.1 Costos unitarios de los trabajos en una labor de avance.....	43
5.3.2 Costos que conlleva la ejecución de los disparos con ambos explosivos.	44
5.3.3 Costos de ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con SUPERFAM DOS.	45
5.3.4 Costos de ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con EMULGRAN QHANA.	49
5.3.5 Costos de ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con SUPERFAM DOS	54

5.3.6 Costos de ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con EMULGRAN QHANA....	59
CAPÍTULO 6	65
DISCUSIÓN	65
6.1. Comparativo de indicadores operativos de los explosivos.....	65
6.1.1 Labores de avance con sección de 4.0 m x 4.0 m	65
6.1.2 Labores de avance con sección de 4.5 m x 4.5 m	75
6.2. Comparación económica de los costos calculados para ambos explosivos.	85
CAPÍTULO 7	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
7.1 Conclusiones.....	87
7.1.1 Conclusiones para el explosivo Superfam Dos.....	87
7.1.2 Conclusiones para el explosivo Emulgran Qhana.....	88
7.2 Recomendaciones	90
CAPÍTULO 8	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
CAPITULO 9.....	94
ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Presentación del SUPERFAM DOS (ANFO).....	xviii
Figura 2 Presentación del EMULGRAN QHANA (Emulsión sensibilizada).....	xx
Figura 3 Presentación del Emulnor (Emulsión encartuchada).	xxi
Figura 4 Tipos de taladros usados en frentes.....	9
Figura 5 Área de los taladros de expansión necesaria y número de taladros en cortes de taladros paralelos	10

Figura 6 Resultados de las voladura para diferentes distancias de los taladros cargados a los vacíos y diámetro de taladros	11
Figura 7 Avance de una voladura en labores de avance.....	12
Figura 8 Corte de cuatro secciones.....	13
Figura 9 Distancia desde el centro del corte a los taladros cargados	14
Figura 10 Distancia entre taladros de corte	14
Figura 11 Sistema de bombeo Mecanizado para EMULGRAN QHANA.....	19
Figura 12 Ubicación U.M María Teresa - Minera Colquisiri S.A.....	25
Figura 13 <i>Concesiones U.M María Teresa - Minera Colquisiri S.A.....</i>	26
Figura 14 <i>Esquema de perforación para sección de 4.0 m × 4.0 m.....</i>	32
Figura 15 <i>Esquema de perforación para sección de 4.5 m × 4.5 m.....</i>	35
Figura 16 <i>Comparativo de avance efectivo en secciones de 4.0 m x 4.0 m.....</i>	66
Figura 17 <i>Comparativo de avance efectivo en secciones de 4.0 m x 4.0 m.....</i>	67
Figura 18 <i>Comparativo de factor de carga en secciones de 4.0 m x 4.0 m.....</i>	68
Figura 19 <i>Comparativo de tiempos de carguío en secciones de 4.0 m x 4.0 m.....</i>	69
Figura 20 <i>Comparativo de tiempos de reingreso en secciones de 4.0 m x 4.0 m.....</i>	71
Figura 21 <i>Comparativo de P (80) en secciones de 4.0 m x 4.0 m</i>	72
Figura 22 <i>Comparativo del factor de potencia en secciones de 4.0 m x 4.0 m.</i>	73
Figura 23 <i>Comparativo del factor de avance en secciones de 4.0 m x 4m.....</i>	74
Figura 24 <i>Comparativo de la eficiencia de voladura en secciones de 4.0 m x 4.0 m.....</i>	75
Figura 25 <i>Comparativo de avance efectivo en secciones de 4.5 m x 4.5 m.....</i>	76
Figura 26 <i>Comparativo de avance efectivo en secciones de 4.5 m x 4.5 m.....</i>	77
Figura 27 <i>Comparativo de factor de carga en secciones de 4.5 m x 4.5 m.....</i>	78
Figura 28 <i>Comparativo de tiempos de carguío en secciones de 4.5 m x 4.5 m.....</i>	79

Figura 29 <i>Comparativo de tiempos de reingreso en secciones de 4.5 m x 4.5 m</i>	81
Figura 30 <i>Comparativo de P (80) en secciones de 4.5 m x 4.5 m</i>	82
Figura 31 <i>Comparativo del factor de potencia en secciones de 4.5 m x 4.5 m</i>	83
Figura 32 <i>Comparativo del factor de avance en secciones de 4.0 m x 4.0 m</i>	84
Figura 33 <i>Comparativo de la eficiencia de voladura en secciones de 4.5 m x 4.5 m</i>	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características técnicas del SUPERFAM DOS.....	xix
Tabla 2 Cálculos simplificados para cada cuadrante.....	15
Tabla 3 Capacidad de los explosivos para fragmentar la roca	17
Tabla 4 Operacionalización de variables a estudiar.	22
Tabla 5 Matriz de consistencia.	23
Tabla 6 Cálculo de tamaño de muestra finita.	28
Tabla 7 Características técnicas SUPERFAM DOS.....	30
Tabla 8 Características técnicas EMULGRAN QHANA.....	31
Tabla 9 Diseño de carga con SUPERFAM DOS para sección de 4.0 m × 4.0 m	33
Tabla 10 Diseño de carga con EMULGRAN QHANA para sección de 4.0 m x 4.0 m	34
Tabla 11 Diseño de carga con SUPERFAM DOS para sección de 4.5 m × 4.5 m	36
Tabla 12 Diseño de carga con EMULGRAN QHANA para sección de 4.5 m × 4.5 m	37
Tabla 13 Indicadores operativos por comparar.	38
Tabla 14 Parámetros operativos de los disparos realizados con el explosivo 1 – SUPERFAM DOS	39

Tabla 15 Indicadores operativos de los disparos realizados con el explosivo 1 – SUPERFAM DOS	40
Tabla 16 Parámetros operativos de los disparos realizados con el explosivo 2 – EMULGRAN QHANA	41
Tabla 17 Indicadores operativos de los disparos realizados con el explosivo 2 – EMULGRAN QHANA.....	42
Tabla 18 Costos unitarios de las actividades involucradas en una labor de avance.....	43
Tabla 19 Costos unitarios de explosivos y accesorios.....	44
Tabla 20 Indicador económico por comparar.....	44
Tabla 21 Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con SUPERFAM DOS	45
Tabla 22 Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con SUPERFAM DOS	48
Tabla 23 Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con EMULGRAN QHANA	50
Tabla 24 Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con EMULGRAN QHANA	53
Tabla 25 Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con SUPERFAM DOS	55
Tabla 26 Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con SUPERFAM DOS	58
Tabla 27 Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con EMULGRAN QHANA	60

Tabla 28 Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con EMULGRAN QHANA	63
Tabla 29 Indicadores de interés en labores de avance con sección de 4.0 m x 4.0 m	65
Tabla 30 Comparativo de la eficiencia de voladura en secciones de 4.5 m x 4.5 m	76
Tabla 31 Costos totales y ahorros generados por el uso de EMULGRAN QHANA en secciones de dimensión 4.0 m x 4.0 m y 4.5 m x 4.5 m	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica del explosivo EMULGRAN QHANA.....	94
Anexo B. Hoja de seguridad del explosivo EMULGRAN QHANA.	95
Anexo C. Ficha técnica de explosivo SUPERFAM DOS.	99
Anexo D. Hoja de seguridad del explosivo SUPERFAM DOS.	100
Anexo E. Pruebas del SUPERFAM DOS en campo.	104
Anexo F. Pruebas del EMULGRAN QHANA en campo y medición de gases post voladura.	106
Anexo G. Registros sismográficos de voladuras ejecutadas con EMULGRAN QHANA.	111
Anexo H. Análisis granulométrico de voladura ejecutada con SUPERFAM DOS.	113
Anexo I. Análisis granulométrico de voladura ejecutada con EMULGRAN QHANA.	115

GLOSARIO

Explosivos

Son aquellas sustancias químicas que se utilizan en sectores como la minería donde se requiere un gran poder de destrucción, estas sustancias en condiciones normales son inofensivas, solo en caso de añadir un iniciador es que pasan a convertirse en un peligro mortal ya que pasan violentamente a un estado gaseoso, produciendo una gran expansión y con ellos un exponencial aumento de presión y temperatura.

Fuente: Directiva que regula las condiciones, características y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados, SUCAMEC 2021.

Agente de Voladura

Cualquier compuesto o mezcla química insensible a los fulminantes que no contengan ningún ingrediente explosivo y que pueda hacerse detonar cuando se inicia con un primer (iniciador) explosivo de gran potencia (por ejemplo, ANFO, Emulsiones a granel).

Fuente: Directiva que regula las condiciones, características y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados, SUCAMEC 2021.

Cordón Detonante

Cordón flexible que contiene un núcleo central de altos explosivos, el cual puede usarse para iniciar otros explosivos.

Fuente: Directiva que regula las condiciones, características y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados, SUCAMEC 2021.

Dispositivos detonadores, no eléctricos para la voladura

Detonadores no eléctricos ensamblados y activados con medios tales como una mesa de seguridad, manguera Fanel, tubo de destellos o cordón detonante. Pueden ser de diseño instantáneo o incorporar elementos de retardo. Aquí se incluyen los detonadores de retardo que incorporan cordón detonante.

Detonador

Cualquier dispositivo que contenga una carga detonadora usada para iniciar un explosivo. Entre estos dispositivos se incluyen los fulminantes eléctricos y no eléctricos instantáneos o los fulminantes de retardo, y también los conectores de retardo. El término “detonador” no incluye al cordón detonante. Comúnmente, los detonadores consisten en un pequeño tubo metálico o plástico que contiene explosivos, tales como azida” de plomo, PETN o combinaciones de explosivos. Están diseñados para iniciar un tren de voladura. Pueden construirse para detonar inmediatamente o pueden contener un elemento de retardo. Pueden contener no más de 10g de peso total de explosivos, sin incluir las cargas de ignición y retardo, por unidad.

Fuente: Directiva que regula las condiciones, características y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados, SUCAMEC 2021.

Mecha de seguridad

Artículo que consiste en un núcleo de pólvora negra de grano fino, rodeado por tejidos flexibles con una o más cubiertas protectoras externas. Cuando se enciende, se quema a una velocidad predeterminada sin efecto explosivo.

Fuente: Directiva que regula las condiciones, características y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados, SUCAMEC 2021.

Mecha rápida

Accesorios de voladura que se quema progresivamente en su longitud con una llama externa en la zona de quemado; se usa para encender una serie de mechas de seguridad en una secuencia deseada.

Fuente: Directiva que regula las condiciones, características y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados, SUCAMEC 2021.

Carga de Columna

Son explosivos que en conjunto con un iniciador son utilizados para la ruptura de rocas, existen gran diversidad de cargas donde en este estudio nos centraremos en dos de ellas, el ANFO y EMULSIÓN.

Fuente: Directiva que regula las condiciones, características y medidas de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de explosivos y materiales relacionados, SUCAMEC 2021.

SUPERFAM DOS (ANFO)

Este agente de voladura se caracteriza por ser de tipo granular y estar compuesto por esferas o prills de Nitrato de Amonio grado ANFO, un combustible líquido y un colorante. Cabe mencionar que la composición de este elemento se realiza en equipos de alta precisión, permitiendo obtener un producto de voladura de óptima calidad. Este agente explosivo mayormente se utiliza en minería superficial, así como también en minería subterránea, obras civiles y donde las rocas no contengan un elevado nivel de dureza. Sin embargo, se recomienda utilizar en ambientes que contengan una ventilación eficiente y sobre todo que no haya presencia de agua (FAMESA, 2019).

Figura 1
Presentación del SUPERFAM DOS (ANFO)



Fuente: De Agente de voladura Superfam dos, por Famesa explosivos.,

(<http://www.famesa.com.pe/wp-content/uploads/2016/11/FT-SUPERFAM-DOS.pdf>)

En la siguiente tabla se puede apreciar sus características técnicas del SUPERFAM DOS, así como también su presentación.

Tabla 1
Características técnicas del SUPERFAM DOS

Densidad aparente (g/cm ³)		0.80 ± 0.05
Velocidad de detonación (m/s) (*)		3 000 ± 300
Energía teórica	Por peso (cal/g)	932
	Por volumen (cal/cm ³)	746
Energía relativa	Por peso (%)	100
	Por volumen (%)	100
Presión de detonación (kbar)		51

Fuente: De Método de Holmberg para optimizar perforación y voladura en galería 539 de la Unidad Minera Agromin La Bonita S.A.C. por Gamarra, F., 2019. Creative commons.

EMULGRAN QHANA (Emulsión sensibilizada)

Es un agente de voladura a granel a base de una emulsión del tipo agua en aceite, con componentes sensibilizantes que le permiten obtener una alta velocidad de detonación y presión de detonación, es seguro, resistente al agua y proporciona una mejora en los avances y en los volúmenes de roca fragmentada, teniendo además una buena calidad de gases de voladura.

Figura 2
Presentación del EMULGRAN QHANA (Emulsión sensibilizada)



Fuente: De *Emulsiones Explosivos Encartuchados*, por Enaex stronger bonds, (<https://www.enaex.com/pe/es/emultex-cn-2/>) Copyright 2023.

Carga de fondo

Se llama así a los explosivos que se utilizan como iniciador de las cargas de columna debido a que presentan una mayor velocidad de detonación, el uso de estos explosivos varía con la configuración y características de la roca a fragmentar, así como también de la presencia o ausencia de agua.

Emulsión encartuchada (Emulnor)

Es una emulsión explosiva en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura.

Su uso está orientado a cualquier tipo de trabajo: En explotaciones y desarrollos mineros, en obras de ingeniería civil, en canteras, en taladros secos, húmedos e inundados, con una modalidad de aplicación similar a las dinamitas convencionales, pudiendo trabajar como columna explosiva o como “cebos” de iniciación de columnas de nitro-carbonitratos.

Debido a la buena calidad de los gases residuales y al no contener nitroglicerina en su composición, permite que el personal reingrese a la labor en menor tiempo; obteniéndose mejoras en los ciclos de trabajo, sin desmedro de la seguridad.

Figura 3
Presentación del Emulnor (Emulsión encartuchada).



Fuente: De Emulnor, por Famesa Explosivos., (<http://www.famesa.com.pe/productos/altos-explosivos/emulnor/>)

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La industria minera está en constante búsqueda de mejoras operativas con el fin de optimizar los márgenes económicos obtenidos en el proceso extractivo de mineral, haciendo hincapié en la minería subterránea, en el aspecto operativo se viene explorando nuevos métodos de fragmentación de roca para facilitar su extracción, actualmente el método más usado y diversificado es el uso de explosivos industriales como el ANFO (SUPERFAM DOS), entonces se propone el uso de un explosivo distinto, con propiedades técnicas superiores, con beneficios operativos y económicos como el EMULGRAN QHANA, por ende se realizó ensayos comparativos en la U.M María Teresa de Minera Colquisiri, para el posterior análisis de indicadores técnicos y económicos obtenidos y proponer un prospecto de mejora continua en el proceso de fragmentación de roca.

La originalidad de este estudio se enfoca en la comparación con un explosivo nuevo en el mercado y que tiene características de mayor eficiencia, tales como: velocidad de detonación, presión de detonación y categoría de humos, estas características técnicas superiores aportarán mejoras en el proceso de fragmentación de roca y el tiempo para retomar las operaciones post voladura en minas subterráneas.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Descripción de la problemática

Una variante constante en la vida siempre es la búsqueda de nuevos materiales, por lo tanto, la extracción de minerales ha permitido el desarrollo tecnológico y económico de la humanidad. Bajo este contexto se considera que la minería es un sector fundamental para el

mundo entero, debido a que en toda actividad humana se utilizan los productos generados de dicho rubro (EUDE, 2020).

En el ámbito internacional se busca mejorar la eficiencia en voladuras subterráneas, teniendo como ejemplo a la mina subterránea Deep Mill Level Zone, ubicado a 60 km al noreste de Timika, Indonesia, donde se realizó un estudio para comparar dos explosivos; en esta mina se utilizaba el petróleo con Nitrato de Amonio (ANFO), pero pasó a utilizar las emulsiones debido a las múltiples ventajas que tiene frente al ANFO, tales como su excelente resistencia al agua, presión de detonación superior y calidad de gases.

El desarrollo actual que presenta la minería se da principalmente por los avances tecnológicos involucrados dentro de la misma. Así como también a esto se encuentra ligado la tecnología que se utiliza en los explosivos para la extracción de minerales en altas cantidades de producción. Sin embargo, la selección de estas sustancias explosivas dependerá la producción y extracción del mineral en el interior de la mina (Robles y Foladori, 2019).

Actualmente, el Perú es uno de los países con mayor producción de minerales como oro, plata, cobre, zinc, estaño, plomo, entre otros. Siendo la cordillera de los Andes la columna vertebral de Perú y la principal fuente de depósitos minerales del mundo, teniendo un incremento significativo del 18% de la inversión en los últimos 10 años, esto nos posiciona en el primer puesto de inversión mundial en la exploración minera, gran factor a considerar por su alto potencial para continuar en crecimiento e inversiones que conlleva en los siguientes años (Ministerio de Energía y Minas, 2021).

- ✓ Bajo ese contexto, la mejora económica en la industria minera constantemente está en fase de mejoría, por ello conlleva a la modernización de cada mina y en el desarrollo de estas. Motivo por el cual, la compañía minera está trabajando en estas mejoras para lograr encontrar un explosivo que mejore los

indicadores operativos y económicos que actualmente cuentan y así mejorar su producción y los niveles de seguridad y ambiental durante sus labores. En tal sentido, esta investigación tiene como objetivo hacer un comparativo de explosivos, SUPERFAM DOS que es utilizado actualmente en la unidad minera de estudio y EMULGRAN QHANA, para mejorar los indicadores operativos (avance efectivo, sobre rotura, factor de carga, tiempo de carguío, tiempo de reingreso, P80, factor de potencia, factor de avance y eficiencia de voladura) y económicos (costo de avance) de voladura en minería subterránea.

En este sentido, la aplicación de este agente explosivo SUPERFAM DOS, compuesto de Nitrato de Amonio, mayormente es utilizado en ambientes donde no exista presencia de agua y cuenten con una buena ventilación, así como también contiene un alto grado de toxicidad de sustancias como óxidos de N y C que afectan las vías respiratorias de los trabajadores, motivo por el cual se realizará una comparación con el explosivo EMULGRAN QHANA, siendo este un compuesto conformado del tipo agua en aceite, lo cual permite obtener altas velocidades de detonación así como también mayor precisión en las detonaciones, siendo resistente al agua y generando una buena calidad en los avances y en los volúmenes de rotura.

1.2.2 Formulación Del Problema

¿Como optimizar los indicadores operativos y económicos de voladura de frentes usando los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA en la unidad minera Santa María?

1.2.3 Problemas específicos

✓ ¿Cuáles son las características técnicas del SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?

✓ ¿Cuál es la condición económica del SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?

✓ ¿Cuáles son los controles operativos de voladura de frentes con SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?

✓ ¿Cuáles son los controles económicos de voladura de frentes con SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar y comparar los indicadores operativos y económicos de voladura de frentes obtenidos al usar los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA en U.M Santa María.

1.3.2. Objetivos Específicos

✓ Identificar las características técnicas de los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.

✓ Determinar la condición económica de los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.

✓ Determinar los controles operativos de voladura de frentes con los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.

✓ Calcular los controles económicos de voladura de frentes con los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

La fase de gran impacto e importancia para la selección del empleo de explosivos está implicada en la fase productiva y el alto costo de empleo en explosivos debido a los indicadores operativos que se tienen es por ello la comparación de estos explosivos llevará a la mejora de estos indicadores siendo beneficioso para la compañía minera.

El alcance de la investigación abarca disparos ejecutados en mina subterránea de roca media de RMR 45-60, enfocándose en los indicadores técnicos y económicos obtenidos en el área de voladura, los lineamientos para ejecutar los disparos pueden ser replicada en cualquier mina subterránea, de esta forma toda empresa las podrá llevar a cabo.

1.5. Limitaciones de la investigación

Debido a la complejidad de los ensayos, la investigación se ha visto limitada en el número de muestras, esto a que solo se desarrolló en unidad minera María Teresa de Minera Colquisiri, el cual se limita a calidad de roca media RMR 45-60.

El alcance de la investigación abarca disparos ejecutados en mina subterránea de roca media de RMR 45-60, enfocándose en los indicadores técnicos y económicos obtenidos en el área de voladura, los lineamientos para ejecutar los disparos pueden ser replicada en cualquier mina subterránea, de esta forma toda empresa las podrá llevar a cabo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Ámbito nacional*

Beraun Anco, Kenyi Andy (2019) en su tesis “Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336-Sociedad Minera El Brocal Colquijirca 2018” cuyo objetivo principal fue analizar los resultados de la evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada y determinar los puntos de la comparación en la futura, seguridad, medio ambiente y costos del mineral del tajo norte del nivel 4336. Los resultados obtenidos fue un ahorro total de \$1,874, cargando un total de 387 taladros con 33323kg de Fortis advantage, un ahorro promedio de \$4.64 por taladro.

Parra Murillo, Gean Carlo (2018) en su tesis “Reducción de la carga explosiva con el uso del explosivo Emulnor, en la corona de labores de desarrollo para optimizar los costos de voladura en CIA minera Macdesa” cuyo objetivo es exponer la factibilidad de reducción de costos en la voladura en labores de avance horizontal, aplicando estándares óptimos de trabajos de operaciones de carguío de taladros explosivos asegurando el éxito de ahorro en los disparos y evitando las sobre ruptura en las labores en desarrollo, utilizo la metodología de enfoque cuantitativo de tipo experimental y de tipo aplicada. Los resultados obtenidos son que las mejoras se obtienen con la implementación y el control continuo de los estándares de

trabajo, siendo beneficiados en los costos directos operativos y costos de las diversas áreas de la mina.

Torres Flores, Richard Eugenio (2019) en su trabajo de investigación denominado “Optimización operacional en voladura realizando sustitución de explosivos Exadit por Emulex en la unidad de Parcoy compañía consorcio Minero Horizonte”, en el cual tuvo por objetivo comparar la optimización de la operación de voladura mediante el cambio de explosivos. El diseño de la investigación fue preexperimental.

2.1.2 Ámbito internacional

Hernández Correa, Estefany Paulina (2019) en su tesis “Estudio Comparativo de la sobre excavación en desarrollos horizontales con ANFO versus desarrollos realizados con emulsión en la mina Esmeralda, división El Teniente, Codelco Chile”, centra la investigación en el análisis del desempeño de la emulsión en las labores de avance de desarrollo, para tomar la decisión posterior en una posible implementación. El estudio compara la Emulsión con el ANFO, haciendo hincapié en este objetivo de reducir la sobre rotura. Concluyendo que el desempeño de la emulsión es superior al ANFO tradicional, respecto al control de la sobre rotura, generando un ahorro del 18% luego de su aplicación.

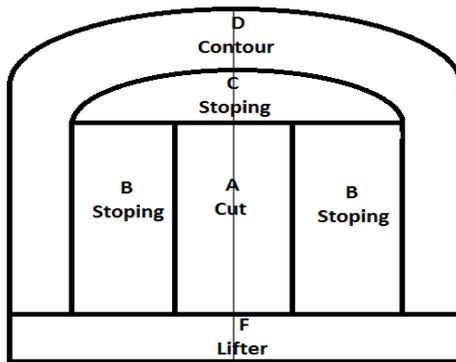
Andrés Alejandro Aguirre García (2016) en su tesis “Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en Sociedad Contractual Minera El Abra”, el objetivo principal de su investigación es realizar un análisis técnico económico sobre la factibilidad de aplicar el uso de explosivo de alta energía en minera El Abra, para solucionar problemas de fragmentación en zona de roca altamente competente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 *Diseño de mallas de perforación en minería subterránea*

Según: EXSA (2009). El procedimiento práctico de voladura instruye que: El diseño de mallas de perforación es un grupo de agujeros (taladros) que se realizan en un frente de trabajo y que su distribución debe tener una ubicación, dirección, geometría, simetría, buzamiento y longitud programada. El diseño de la malla de perforación se plantea para menguar los gastos de perforación que están involucrados en el uso de la maquina perforadora, el desgaste progresivo de los aceros de perforación de acuerdo con su uso y vida útil y también los costos involucrados en la ejecución de la voladura que incluye el material explosivos, también considera los sistemas de iniciación de voladura para obtener un avance optimo, obtener una sección homogénea, así como un tamaño de fragmento adecuada del material en cuestión. La malla de perforación y esquema de carguío es la forma en que se distribuye la energía de la masa explosiva en los taladros, teniendo en cuenta a la relación del espaciamiento y burden, también la importancia de la longitud de perforación. Teniendo en cuenta que en las labores subterráneas, se tiene sólo una superficie de trabajo en la cual se perfora distintas secciones considerando de vital importancia la primera sección donde se creará la apertura inicial o cara libre denominado arranque de esta forma se deduce que es primordial para lograr una voladura óptima. Si no se crea un arranque optimo al inicio del disparo, tendremos como consecuencia un disparo con muy poca fragmentación y anillado. Las formas de iniciación de la malla pueden ser rotativa o simultánea, siendo la más efectiva la rotativa. Según las pruebas realizadas en campo, se comprueba lo siguiente, el disparo rotativo es la de hallar un lugar donde el material se pueda evacuar, de esta forma se justifica su aplicación en las labores de minería de subterránea ya que los frentes presentan solo una o dos caras libres.

Figura 4
Tipos de taladros usados en frentes

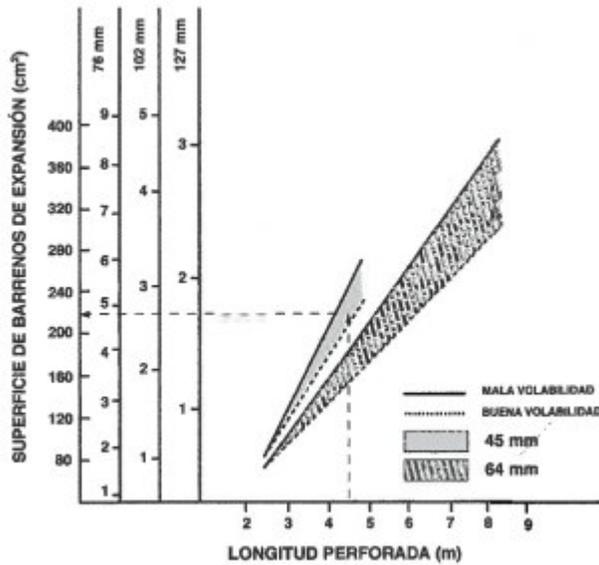


Fuente: De *Patterns for Drift Rounds*, por PennState College of Earth and Mineral Sciences., 2020. (<https://www.e-education.psu.edu/geog000/node/871>) Copyright 2020.

2.2.2 Método Langefors para diseño de voladura subterráneas

2.2.2.1 Área necesaria de los taladros de expansión. Según el diámetro de perforación de los taladros cargados en el arranque y la longitud de las voladuras que se desean realizar, se podrá dimensionar la superficie de los taladros de expansión.

Figura 5
Área de los taladros de expansión necesaria y número de taladros en cortes de taladros paralelos



Fuente: De Voladuras subterráneas, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019. Archivo PDF.

Copyright.

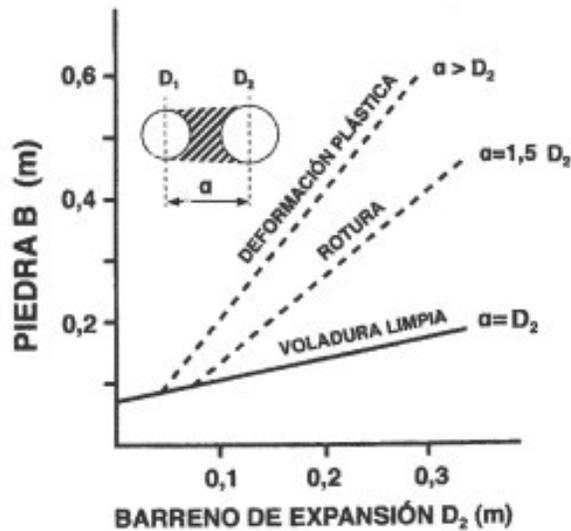
En la figura, se estima esa longitud, o el número de taladros de expansión equivalentes, para dos diámetros de perforación distintos, en rocas con buena y mala volabilidad.

2.2.2.2 Distancia entre el taladro cargado y el taladro de expansión

La distancia entre el taladro de expansión y los taladros cargados más próximos no deben exceder de $1.7D_2$ (siendo D_2 el diámetro del taladro vacío) a fin de conseguir una buena fragmentación y una salida satisfactoria de la roca (Langefors y Kilhstrom). Las condiciones de fragmentación varían mucho según el tipo de explosivo, las características de la roca y la distancia entre el taladro cargado y el vacío.

Figura 6

Resultados de las voladura para diferentes distancias de los taladros cargados a los vacíos y diámetro de taladros



Fuente: De *Voladuras subterráneas*, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019. Archivo PDF.

Copyright.

Tal como se refleja en la figura, para distancias mayores a dos veces D₂, el Angulo de rotura es demasiado pequeño y se produce una deformación plástica de la roca entre los dos taladros. Incluso si la distancia es inferior a D₂, pero la concentración de carga es muy elevada, se producirá la sinterización de la roca fragmentada y el fallo del corte. Por eso, se recomienda que las distancias se calculen sobre la base de $a = 1.5D_2$.

En la práctica, la precisión de la perforación es lo suficientemente buena y se trabaja con un valor de Burden igual a una vez y medio el diámetro de expansión.

2.2.2.3 Avance por voladura

El avance de la voladura, es decir, la relación entre la longitud avanzada por la voladura y la profundidad de la voladura perforada está limitado por el diámetro de taladro de expansión y la desviación de los taladros cargados. Siempre que esta última se mantenga por

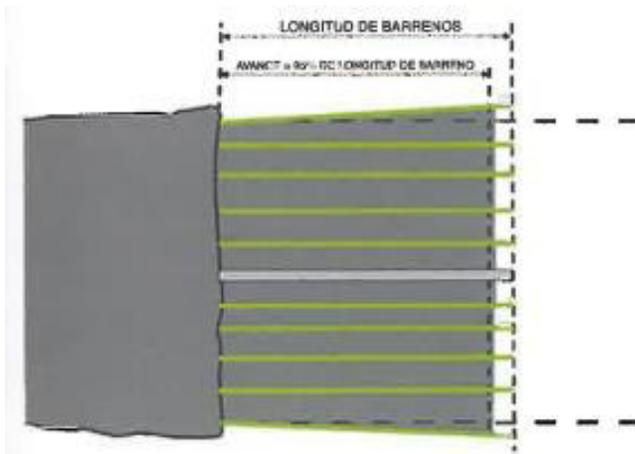
debajo del 2%, los avances medios X pueden llegar al 95% de la profundidad de los taladros

L :

$$X = 0.95L$$

Figura 7

Avance de una voladura en labores de avance



Fuente: De Voladuras subterráneas, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019). Archivo PDF.

Copyright.

La profundidad de los taladros puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$L = 0.15 + 34.1D_2 - 39.4D_2^2$$

Donde:

D_2 = Diámetro del taladro vacío (m), siempre que se cumpla ($0.05 \text{ m} \leq D_2 \leq 0.25 \text{ m}$).

Si los avances son inferiores al 95%, la excavación resultara económicamente muy costosa.

Cuando se utilizan cortes de varios taladros vacíos NB, en lugar de uno solo de mayor diámetro, la ecuación anterior sigue siendo válida. La utilización de estos cortes, además, produce la siguiente fórmula:

$$D_2 = D_2^1 \times \sqrt{NB}$$

Donde: D_2^1 = Diámetro de los dos taladros vacíos.

Como puede deducirse, existe una relación muy estrecha entre los avances de las voladuras y el diámetro de los taladros de expansión. A mayores diámetros, pueden perforarse voladuras más largas y conseguirse más avances.

2.2.2.4 Método de cálculo simplificado de los cortes de cuatro secciones

Un método de cálculo sencillo para los cortes de cuatro secciones es el que se describe a continuación.

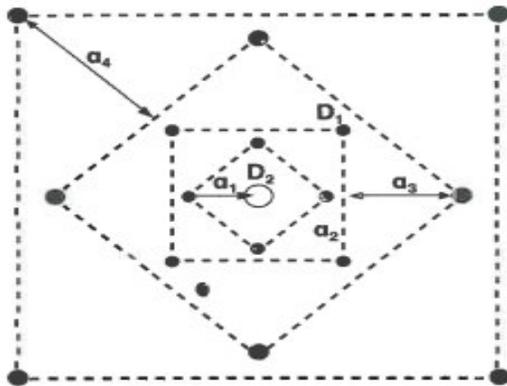
El primer cuadrado de taladros cargados se localiza a una distancia del centro del taladro de expansión:

$$a_1 = 1.5D_2$$

Las distancias o radios desde el centro exacto del corte a los taladros cargados se denominan R, por lo que se tendrá entonces que:

$$R_1 = a_1$$

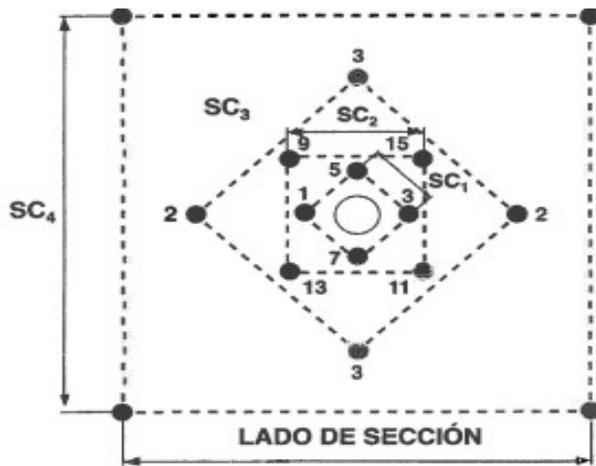
Figura 8
Corte de cuatro secciones



Fuente: De *Voladuras subterráneas*, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019. Archivo PDF.

Copyright.

Figura 9
Distancia desde el centro del corte a los taladros cargados



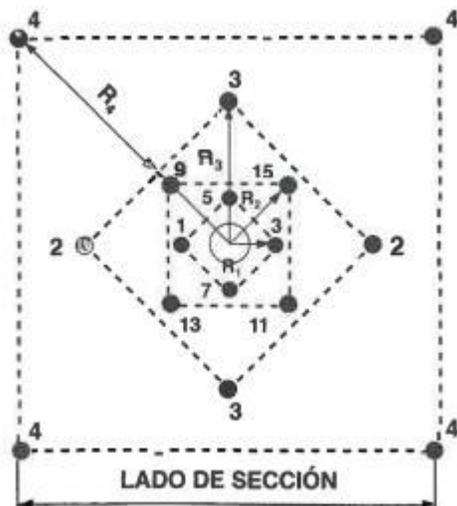
Fuente: De *Voladuras subterráneas*, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019. Archivo PDF.

Copyright.

El lado de cada sección o distancia entre taladros cargados en cada una de ellas será:

$$SC_1 = a_1 \times \sqrt{2}$$

Figura 10
Distancia entre taladros de corte



Fuente: De *Voladuras subterráneas*, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019). Archivo PDF.

Copyright.

En la tabla 1, se resumen los valores de las variables mostradas en figuras anteriores para una de las cuatro secciones de este tipo de corte.

Tabla 2
Cálculos simplificados para cada cuadrante

Sección	1	2	3	4
a	1,50 D	2,12 D	4,50 D	9,54 D
R	1,50 D	3,18 D	6,75 D	14,31 D
SC	2,12 D	4,50 D	9,54 D	20,23 D
T	1,50 D	1,06D	2,25 D	4,77 D
Comprobación	$sc \geq \sqrt{x}$	$sc \geq \sqrt{x}$	$sc \geq \sqrt{x}$	$sc \geq \sqrt{x}$

Fuente: De *Voladuras subterráneas*, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019). Archivo PDF.
Copyright.

En la tabla anterior, X es el avance esperado, que puede estimarse como un 95% de la longitud de los taladros perforados.

2.2.2.5 Carga de explosivo en los taladros

Habitualmente, en las voladuras en túneles se utilizan explosivos que proporcionan altas concentraciones de energía por metro de longitud de carga.

Sin embargo, en algunos tipos de roca, al disponer de altas concentraciones de carga en los taladros del corte, se puede generar la sinterización o recementación de la roca fragmentada. Esta situación es provocada por los excesos de esponjamiento y por el aumento de la resistencia friccional que se produce debido al elevado número de puntos de contactor de las partículas que los gases generados no pueden vencer.

En esos casos, en lugar de utilizar explosivos gelatinosos o ANFO cargado neumáticamente, se aconseja emplear explosivos menos potentes (como las mezclas de ANFO diluidas), emulsiones sensibles al detonador, recurrir a la iniciación lateral del ANFO con cordones del gramaje adecuado, espaciar las cargas o reducir el diámetro de cartuchos.

Además de las consideraciones anteriores, es necesario tener en cuenta dos fenómenos que se producen con frecuencia al disparar los taladros del corte: la detonación por simpatía y la desensibilización por precompresión dinámica.

2.2.3 Potencia por peso Langefors

Según: Langefors, U and Kihlstrom, B. (1963). "The Modern Technique of Rock Blasting", John Wiley & Sons, Inc, New York, and Almqvist & Wiksell, Stockholm, menciona:

De acuerdo con el explosivo empleado se tendrá distintos diferentes desempeño y niveles de energía de detonación los cuales provocan distintos tipos de gases debido a su estructura química interna. Langefors realizó una intensa investigación de explosivos empleados a 7 m de longitud y con diámetros de perforación de 32 mm en voladura superficial. La roca donde se llevó el estudio era granito sueco fisurada, clasificada como una roca ígnea intrusiva. La capacidad para fragmentar la roca se realizó tomando como punto de partida al rendimiento del explosivo más común en Suecia, siendo esta la dinamita, con respecto a la capacidad del explosivo en el cual se concluyó que la influencia de la potencia de la energía de explosión es de 4 a 5 veces mayor en relación con el que la del volumen de gas liberado. (Langefors, U.1963)

Por ende el cálculo de la potencia por peso se realiza con la formula N° 21.

$$\mathbf{scalc = 5e6 + vg*6 (21)}$$

Donde $\mathbf{e = QQ0}$ es el porcentaje energético de detonación del explosivo utilizado y la del explosivo base (dinamita) y $\mathbf{vg = VgVg0}$ es la proporción del volumen (en STP) de los gases liberados de reacción del explosivo comparado y la del explosivo base.

Según la tabla 2 se postulan los datos de los explosivos empleados y una comparación de lo obtenido con la potencia por peso calculada. El explosivo empleado como un estándar tanto para la capacidad de fragmentación observado y para la energía de detonación y los factores de volumen de gas liberado utilizadas para calcular fue la dinamita plástico normal empleado masivamente en Suecia en 1952, la dinamita LFB la cual tenía una energía de detonación y un volumen de gas (STP) de

$$Q_0=5.00 \text{ MJkg/}$$

$$v_{go}=0.850 \text{ m}^3\text{kg}$$

Tabla 3
Capacidad de los explosivos para fragmentar la roca

Explosivo	Capacidad de rotura observada	Relación de la energía de explosión ('e')	Relación del volumen del gas V_g	s_{calc} $\frac{5}{6}e + \frac{1}{6}g$	Número de disparos
LFB	1.00	1.00	1.00	1.00	
LFIV	1.04 ± 0.05	1.06	0.98	1.04	
G-Borenit	1.04 ± 0.07	0.94	0.71	0.90	
Nitrolit	1.04 ± 0.06	0.80	0.98	0.83	
304 ¹	1.04 ± 0.07	1.52	0.36	1.33	
LFD	1.00	1.00	1.00	1.00	15
G.D	1.23	1.35	0.84	1.27	2
Securit	0.93 ± 0.03	0.85	1.01	0.88	4
Nabit	0.88 ± 0.04	0.90	0.77	0.88	3
Nabit 2	0.91	0.89	1.02	0.91	1
Amatol	0.90	0.86	1.05	0.88	2
Na 01	0.88	0.88	0.70	0.85	1
Na 12	1.00 ± 0.05	1.02	0.81	0.99	2
Imatrex	0.62 ± 0.02	0.98	0.37	0.89	8

Nota. 304¹ es un explosivo aluminizado con una alta energía y con un volumen de gas muy pequeña.

Fuente: De Voladuras subterráneas, por Famesa Explosivos S.A.C., 2019. Archivo PDF. Copyright.

Actualmente el explosivo base es el ANFO debido a su gran acogida en minas a nivel mundial, el **scalc** el cual tiene una AWS 0,84 en relación con la dinamita LFB. Entonces se deduce que para calcular la potencia de un explosivo se emplea la siguiente formula:

$$\text{scalc (ANFO)} = 10.84 * (5e6 + vg6)$$

En donde **e** y **vg** están relacionadas con **Q0** y el **vg0** de la dinamita sueca LFB. Se ha visto que la capacidad para fragmentar la roca está en relación con el tipo de explosivos utilizados a base de **nitroglicerina** tiende a sobreestimar la densidad, cuando el explosivo es llenado completamente en el taladro. También desestima los explosivos empleados en enormes cantidades, como los explosivo a granel en la voladura de rocas moderna, ANFO, ANFO pesado y explosivos en emulsión.

2.2.4 Sistema de carguío de emulsión sensibilizada

El equipo de bombeo de emulsiones a granel sensibilizada (EMULGRAN QHANA) está diseñado para realizar el proceso de carguío en labores horizontales, rampas y taladros largos negativos, el equipo es versátil montado sobre una unidad móvil 4x4, mecanizados, compactos accionados neumáticamente o eléctricamente, fácilmente transportable que permite alimentar en forma eficiente y continúa a los taladros con caudales de 10 kg/min a 110 kg/min.

Figura 11
Sistema de bombeo Mecanizado para EMULGRAN QHANA



Fuente: Elaboración propia.

2.3 Sistema de voladura actual

Para realizar el correcto comparativo de la nueva propuesta de aplicación del uso de Emulgran Qhana, debemos estar al tanto y entender el sistema de voladura vigente en los trabajos operativos, el cual se describe con el uso de diámetro de 48 mm para taladros de producción y de 102 mm para taladros de arranque, longitud de barra 14 ft, densidad de roca de 3.4 g/m^3 y ; los frentes de 4.0 m x 4.0 m tienen 35 taladros perforados y 31 taladros cargados, mientras que los frentes de 4.5 m x 4.5 m tienen 39 taladros perforados y 35 taladros cargados también se usó la perforadora de frentes Sandvik modelo AXERA DD 311, brocas de diámetro 48 mm y 102 mm, cartuchos de emulsión Emulex 1 1/8", Exanel de 4.2 m , Exeles 4.2 m de cordón detonante 5P, bombona para carguío de Superfam Dos.

CAPÍTULO 3

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

El uso del explosivo EMULGRAN QHANA en voladura de frentes mejora los indicadores operativos y económicos en comparación al uso de SUPERFAM DOS en la Unidad Minera Santa María.

3.1.1 Hipótesis específicas

✓ El explosivo EMULGRAN QHANA tendrá mejores características técnicas en comparación con el SUPERFAM DOS.

✓ El explosivo SUPERFAM DOS tendrá mejor condición económica en comparación con el EMULGRAN QHANA.

✓ El explosivo EMULGRAN QHANA tendrá mejores controles operativos de voladura de frentes en comparación con el SUPERFAM DOS.

✓ El explosivo EMULGRAN QHANA tendrá mejores controles económicos de voladura de frentes en comparación con el SUPERFAM DOS.

3.2. Variables

3.2.1 Variable independiente

V1: Explosivo SUPERFAM DOS.

V2: Explosivo EMULGRAN QHANA.

3.2.1.1 Indicadores.

- ✓ Velocidad de detonación.
- ✓ Categoría de humos.
- ✓ Densidad aparente.

- ✓ Presión de detonación.
- ✓ Costo por kilogramo de explosivo.

3.2.2 Variable dependiente

Voladura de frentes.

3.2.2.1 Indicadores.

- ✓ Avance efectivo.
- ✓ Sobre rotura.
- ✓ Factor de carga.
- ✓ Tiempo de carguío.
- ✓ Tiempo de reingreso.
- ✓ P (80).
- ✓ Factor de potencia.
- ✓ Factor de avance.
- ✓ Eficiencia de voladura.
- ✓ Costo de avance.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 4
Operacionalización de variables a estudiar.

VARIABLES		DIMENSIÓN	INDICADOR
Variables Independientes	V1: Explosivo SUPERFAM DOS V2: Explosivo EMULGRAN QHANA	Características técnicas	Velocidad de detonación
			Categoría de humos
			Densidad aparente
		Presión de detonación	
		Condición económica	Costo por kilogramo de explosivo
Variable Dependiente	Voladura de frentes	Controles operativos	Avance efectivo
			Sobre rotura
			Factor de carga
			Tiempo de carguío
			Tiempo de reingreso
			Granulometría P (80)
			Factor de potencia
			Factor de avance
			Eficiencia de voladura
			Controles económicos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Matriz de consistencia.

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES y = f(x)	DIMENSIONES	INDICADORES	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
"COMPARATIVO DE EXPLOSIVOS SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA PARA MEJORAR LOS INDICADORES OPERATIVOS Y ECONÓMICOS DE VOLADURA DE FRENTE EN U.M MARIA TERESA – MINERA COLQUISIRI S.A"	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL:	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE (x):			Experimental, descriptivo, explicativo.
	¿Cómo optimizar los indicadores operativos y económicos de voladura de frentes usando los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA en la U.M Santa María?	Determinar los indicadores operativos y económicos de voladura de frentes obtenidos al usar los explosivos SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA en U.M Santa María?	El uso del explosivo EMULGRAN QHANA en voladura de frentes mejora los indicadores operativos y económicos en comparación al uso de SUPERFAM DOS en la Unidad Minera Santa María	V1: Explosivo SUPERFAM DOS. V2: Explosivo EMULGRAN QHANA	Características técnicas	Velocidad de detonación. Categoría de humos. Densidad aparente. Presión de detonación.	
					Condición económica	Costo por kilogramo de explosivo.	
	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	HIPOTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE (y):			
	¿Cuáles son las características técnicas del SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?	Identificar las características técnicas del SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.	El explosivo EMULGRAN QHANA tendrá mejores características técnicas en comparación con el SUPERFAM DOS.	– Voladura de frentes	Controles Operativos	Sobre rotura.	
	¿Cuál es la condición económica del SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?	Determinar la condición económica del SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.	El explosivo SUPERFAM DOS tendrá mejor condición económica en comparación con el EMULGRAN QHANA.			Factor de carga.	
	¿Cuáles son los controles operativos de voladura de frentes con SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?	Determinar los controles operativos de voladura de frentes con SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.	El explosivo EMULGRAN QHANA tendrá mejores controles operativos de voladura de frentes en comparación con el SUPERFAM DOS.			Tiempo de carguío.	
	¿Cuáles son los controles económicos de voladura de frentes con SUPERFAM DOS Y EMULGRAN QHANA?	Calcular los controles económicos de voladura de frentes con SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA.	El explosivo EMULGRAN QHANA tendrá mejores controles económicos de voladura de frentes en comparación con el SUPERFAM DOS.			Tiempo de reingreso.	
						Granulometría P (80)	
					Controles Económicos	Factor de potencia. Factor de avance. Eficiencia de voladura. Costo de avance.	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

MATERIALES Y MÉTODOS

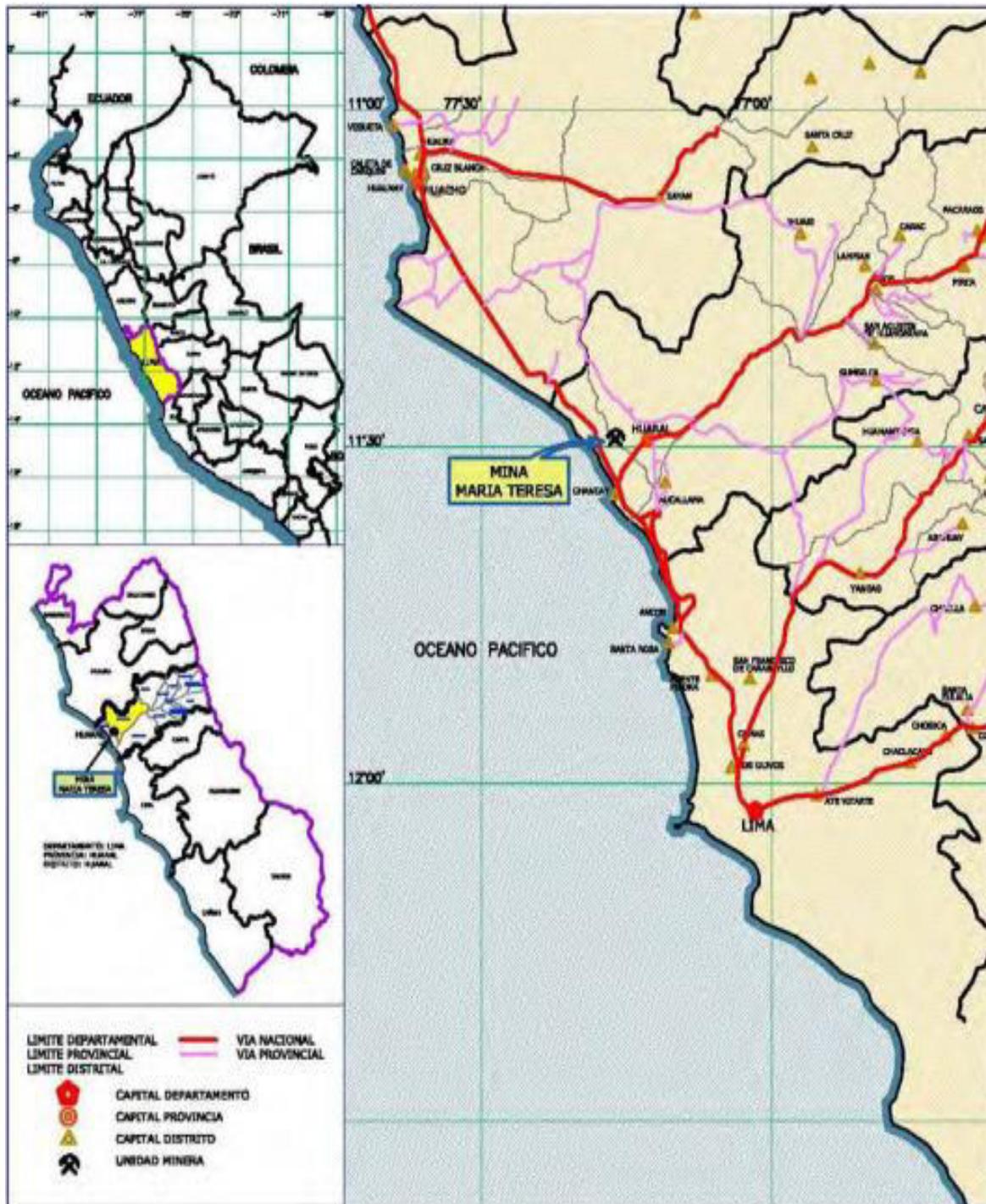
4.1. Área de estudio

4.1.1 Ubicación y acceso a U.M MARÍA TERESA

La unidad minera María Teresa se ubica en el Paraje la pampa de Jecuán, entre los distritos de Huaral y Chancay, Provincia de Huaral, Departamento de Lima. Geográficamente se encuentra localizado al norte de la ciudad de Lima, a 7 Km. al oeste de la ciudad de Huaral (altura del Km. 82 de la carretera Panamericana Norte), margen derecha de la cuenca baja del río Chancay-Huaral denominado cerró la Mina. Es muy accesible, llegando desde el centro de Lima en 1.5 horas usando la carretera Panamericana Norte, está rodeado por abundantes terrenos de cultivo. Se obtienen tres tipos de concentrados como son de Zinc, Cobre, Plomo respectivamente, los cuales se envían a Lima para su comercialización; también durante el año 2019, la compañía obtuvo una producción de concentrados de 35,105 toneladas métricas finas (TMF) con un incremento del 15.88% con respecto al año 2018 (30,294 TMF). Esto se debe a los incrementos en la producción de concentrados de cobre (Cu) (+130.67%) y zinc (Zn) (+14.13%), aunque hubo una disminución de plomo (Pb) (-28.16%) en el año 2019 debido a que no se reflejó las leyes estimadas en las zonas de explotación programadas.

Minera Colquisiri S.A. es cesionario de 13 concesiones mineras haciendo un total de 3,013.61 ha. Igualmente se tiene un área de uso de terrenos eriazos de uso minero en un área de 293 ha.

Figura 12
Ubicación U.M María Teresa - Minera Colquisiri S.A.



Fuente: "Plan Anual de Minado 2020," por Minera Colquisiri S.A., 2020.

4.1.2 Concesiones de Beneficio U.M MARÍA TERESA

Minera Colquisiri S.A. es titular minero de la concesión de beneficio “Colquisiri”. Al inicio alcanzaba una extensión de 30 ha, el 05 de abril de 1994 le fue concedida en titularidad por R.D. N° 135- 94-EM/DGM. 30 has. 34.5 ha.

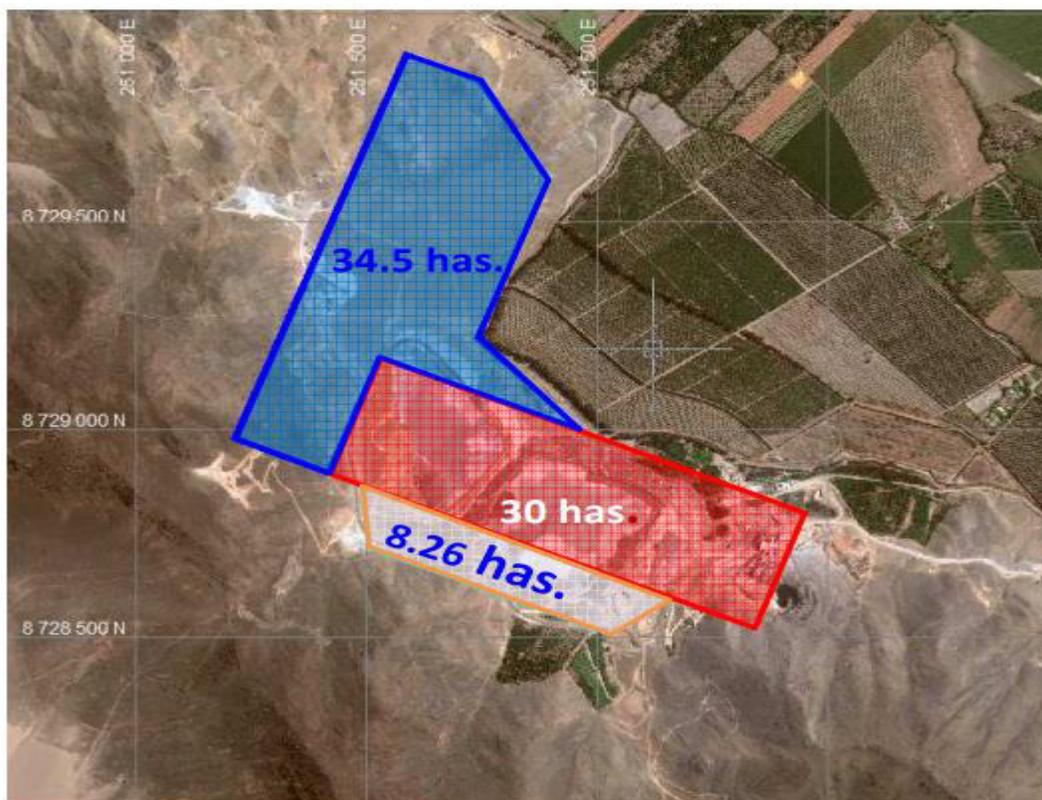
El 28 de octubre del 2008 se amplió a 34.5 por R.D. N°1084-2008-EM/DGM.

El 17 de marzo del 2014, ha recibido aprobación de ampliación en 8.2613 ha según R.D. N°0094-2014-EM/DGM.

En resumen, la concesión de beneficio Colquisiri, actualmente esta se extiende en un área de 72.7613 ha concedidas en titularidad.

Figura 13

Concesiones U.M María Teresa - Minera Colquisiri S.A.



Fuente: “Plan Anual de Minado 2020,” por Minera Colquisiri S.A., 2020.

4.2. Equipos y materiales utilizados

Se utilizo para la ejecución de los disparos, Perforadora de frentes Sandvik modelo AXERA DD 311, brocas de diámetro 48 mm y 102 mm, con barrar de perforación de 14 ft, cartuchos de emulsión Emulex 1 1/8” como carga de fondo para iniciar la detonación de carga de columna, Exanel de 4.2 m como sistema de iniciación de carla de fondo den los taladros, Emulgran Qhana como carga de columna en el taladro, Superfam Dos como carga de columna en el taladro, Bombona de carguío como equipo cargador de Superfam Dos, configurado para sus características físicas, cordón detonante 5P explosivo usado como iniciador de la secuencia de detonación en el frente, Famejet equipo cargador de explosivo Emulgran Qhana, configurado para sus características físicas, camioneta de trasporte interior mina, cámara fotográfica, flexómetro, distanciómetro digital, latas de espray, laptop, software Wipfrag y sismógrafo.

4.3. Diseño de la investigación

Corresponde a un diseño descriptivo, exploratorio y explicativo, puesto que busca información actualizada del objeto de investigación basándose en la observación de la muestra de la variable en estudio.

4.4. Población, muestra y muestreo

La población son los 18 disparos semanales programados según el plan de minado semanal entregado por el área de planeamiento mina, mientras que la muestra son los 14 disparos monitoreados en la U.M María Teresa de Minera Colquisiri.

Se utilizo la fórmula de tamaño de muestra finita para determinar la cantidad de disparos que deben ser monitoreados, de esta forma, tener un nivel de confianza del 90%, un error de estimación de 6% y teniendo antecedentes de estos estudios se estima un 90% probabilidad de éxito en los estudios realizados.

Tabla 6
Cálculo de tamaño de muestra finita.

Parámetros		Valores	Fórmula de tamaño de muestra finita
Tamaño de muestra buscado	n	14.39	$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$
Tamaño de la población	N	18	
Parámetro estadístico relacionado al nivel de confianza	Z	1.645	
estudiado	P	0.9	
Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado	Q	0.1	
Error de estimación máximo aceptado	e	0.06	

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recojo de información

Las técnicas para la recolección de datos son la observación experimental, se realizarán visitas in situ para poder documentar los resultados de ambos explosivos en la ficha de inspección de campo post voladura.

Se aplicarán dos tipos, las de campo, para acumular información y presentando el formato de reporte de voladura de campo y el reporte post voladura digital elaborado en gabinete, en donde se calculará y analizará los indicadores obtenidos para tomar decisiones.

Se realizó un total de 14 disparos, 6 en sección de 4.0 m x 4.0 m y 8 en sección de 4.5 m x 4.5 m, las labores fueron: Gal-17-151S (2 disparos), Rp+12-161N (2 disparos), S/N-17-147N (2 disparos), S/N-15-158N (4 disparos), Cx-17-57W (4 disparos).

4.6. Análisis estadístico

Se realiza el análisis estadístico inferencial, que toma los datos recolectados y el tratamiento de estos, obteniendo indicadores contrastables, para proporcionar una respuesta a la hipótesis planteada.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1. Características químicas y físicas de los explosivos en comparación.

SUPERFAM DOS.

Los explosivos ANFO están compuestos por grills de nitrato de amonio (oxidante) y con un combustible fósil (petróleo), siendo el compuesto de granel de más bajo costo y el que se utiliza mayormente en la actualidad.

Su composición está formada por el 94,5% de nitrato de amonio (NA) y el 5,5% de petróleo, donde el NA es una sal inorgánica soluble en agua, poroso y de baja densidad. Esto permitiéndole la absorción de combustible en cantidades suficientes para obtener resultados favorables. El NA tiene la característica de absorción del 6% de petróleo y si es de mejor calidad una absorción de hasta el 12%, esto dependerá de la porosidad y de la densidad.

El ANFO es un material granulado permitiendo puedan ser cargados en barrenos siendo vertidos desde sacos o por camiones y una de sus mayores ventajas es la seguridad del manejo de dicho explosivo, dando un excelente rendimiento a la voladura produciendo un gran volumen de gases, siendo estos nocivos y se evitan en usos de túneles o minería subterránea.

Tabla 7
Características técnicas SUPERFAM DOS

Características técnicas.	Cantidad
Densidad aparente (g/cm^3)	0,800
Velocidad de detonación (m/s)	3 000
Por peso (cal/g) – energía teórica.	900
Por volumen (cal/cm^3) – energía teórica.	738
Por peso (%) – energía relativa.	100
Por volumen (%) – energía relativa.	100
Presión detonación (kbar)	32

Fuente: Catálogo de productos FAMESA EXPLOSIVOS 2021.

EMULGRAN QHANA

Se trata de explosivos compuestos básicamente por nitrato amónico o nitrato sódico (sales de nitrato) con un contenido en agua entre el 14 y el 20 %, un 4 % aproximadamente de gasoil y menores cantidades (1 – 2 %) de otros productos, entre los que se encuentran:

- Agentes emulsificantes (oleato o estearato de sodio).
- Ceras para aumentar la consistencia y el tiempo de almacenamiento.

El área de contacto entre oxidante y combustible que proporciona la emulsión, favorece una amplia y completa reacción. Por otra parte, la película de aceite constituye una protección del nitrato frente al agua. De todo aquello se deriva un explosivo en forma de pasta, capaz de ser bombeado o de ser encartuchado y que tiene las siguientes características:

- ✓ Alta velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s).
- ✓ Excelente resistencia al agua.
- ✓ Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.

Las emulsiones explosivas son del 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.

Tabla 8
Características técnicas EMULGRAN QHANA

Densidad Relativa (g/cm ³)	1,12 ± 0,1
Viscosidad (CP) (*)	Min. 12 000
Velocidad de Detonación(m/s) (**)	5 200 ± 300
presión de Detonación (kbar)	76
Volumen Normal de Gases (L/kg)	984
Potencia Relativa en Peso (%) (***)	73
Potencia Relativa en Volumen (%) (***)	120
Energía (Kcal/kg)	856
Resistencia al Agua	Excelente
Diámetro Critico (mm)	35
Categoría de Humos	Excelente

Fuente: De Emulgran Qhana, por Grupo Famesa. S.A.C., s.f. Copyright.

(*) Medido con BROKFIELD HA DVII A 50 RPM.

(**) Velocidad de detonación en medio confinado de Ø 2”.

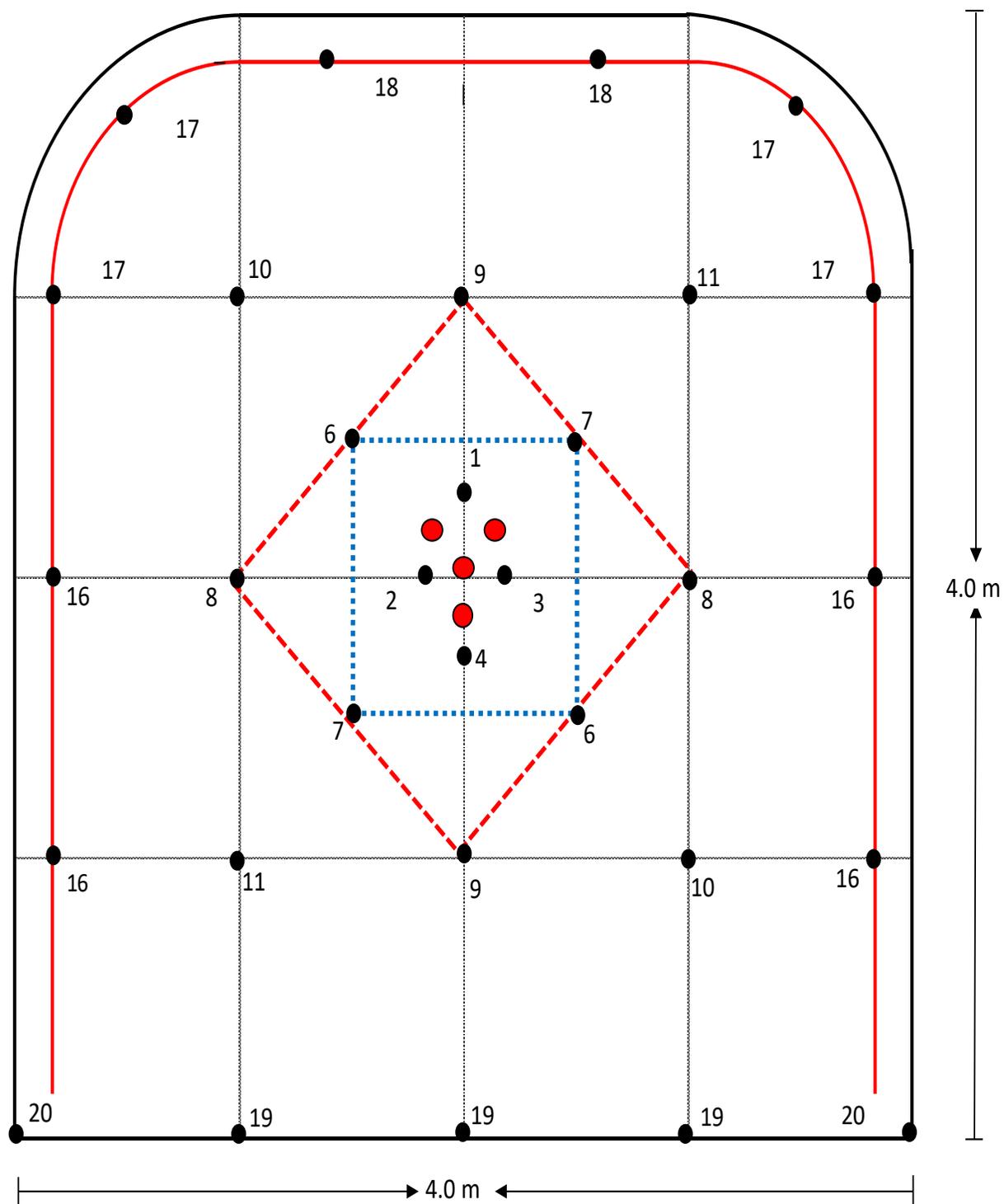
(***) Potencia relativa referida al ANFO, con potencia convencional de 100.

5.2. Indicadores operativos de la voladura subterránea a comparar.

El siguiente objetivo tiene como finalidad dar a conocer los indicadores operativos que se evaluarán en la investigación, para ellos se deben describir los parámetros de diseño ejecutados en gabinete y llevados a campo, se dan a conocer las mallas de perforación para disparos con SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA, considerando que para cada tipo de sección independientemente del tipo de explosivo, se tiene la misma cantidad de taladros.

Figura 14

Esquema de perforación para sección de $4.0\text{ m} \times 4.0\text{ m}$



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9
Diseño de carga con SUPERFAM DOS para sección de 4.0 m × 4.0 m

SUPERFAM DOS		N Tal. Cargados	EMULEX 80% 1 1/8 X 7	SUPERFAM DOS	Longitud de columna SUPERFAM DOS (m)	Long. Taco Inerte (m)		
Sección	4.0 m x 4.0							
RMR	41-50							
Longitud Perforación (m)	3.90							
Diámetro de taladros (mm)	48							
Densidad de roca (gr/cm3)	3.40	Cart. / Tal	Kg./Tal	Confinado	Taco			
Rimados	4.00							
Rompe boca	0.00							
Arranque	4.00	1.00	4.30	3.06	0.84			
Ayuda	4.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Sobre Ayuda	4.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Cuadrador	4.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Ayuda Corona	0.00							
Hastial	4.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Ayuda de hastiales	0.00							
Corona (Caña)	6.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Arrastre	5.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Ayuda Arrastre	0.00	0.00		0.00	3.90			
Total cartuchos		31.00	125.20					
Kg de explosivo por tipo de cartucho		4.04	125.20					
Taco de arcilla	36 (und)	Factor Potencia (Kg/t)	0.86	Pentacord (m)	20	Ton.	149.82	
Total Taladros Cargados	31.00	Factor Carga (Kg/m3)	2.42	Carmex (m)	2	Vol.(m3)	53.51	
Total de Explosivo (Kg)	129.24	Factor Lineal (Kg/ml)	38.64	Exeles de 4.20 m (Unid.)	31			
Eficiencia de voladura (%)	85.75							

Tipo emulsión cebo	Peso cartucho
E80% 1 1/8 x 7	0.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10
Diseño de carga con EMULGRAN QHANA para sección de 4.0 m x 4.0 m

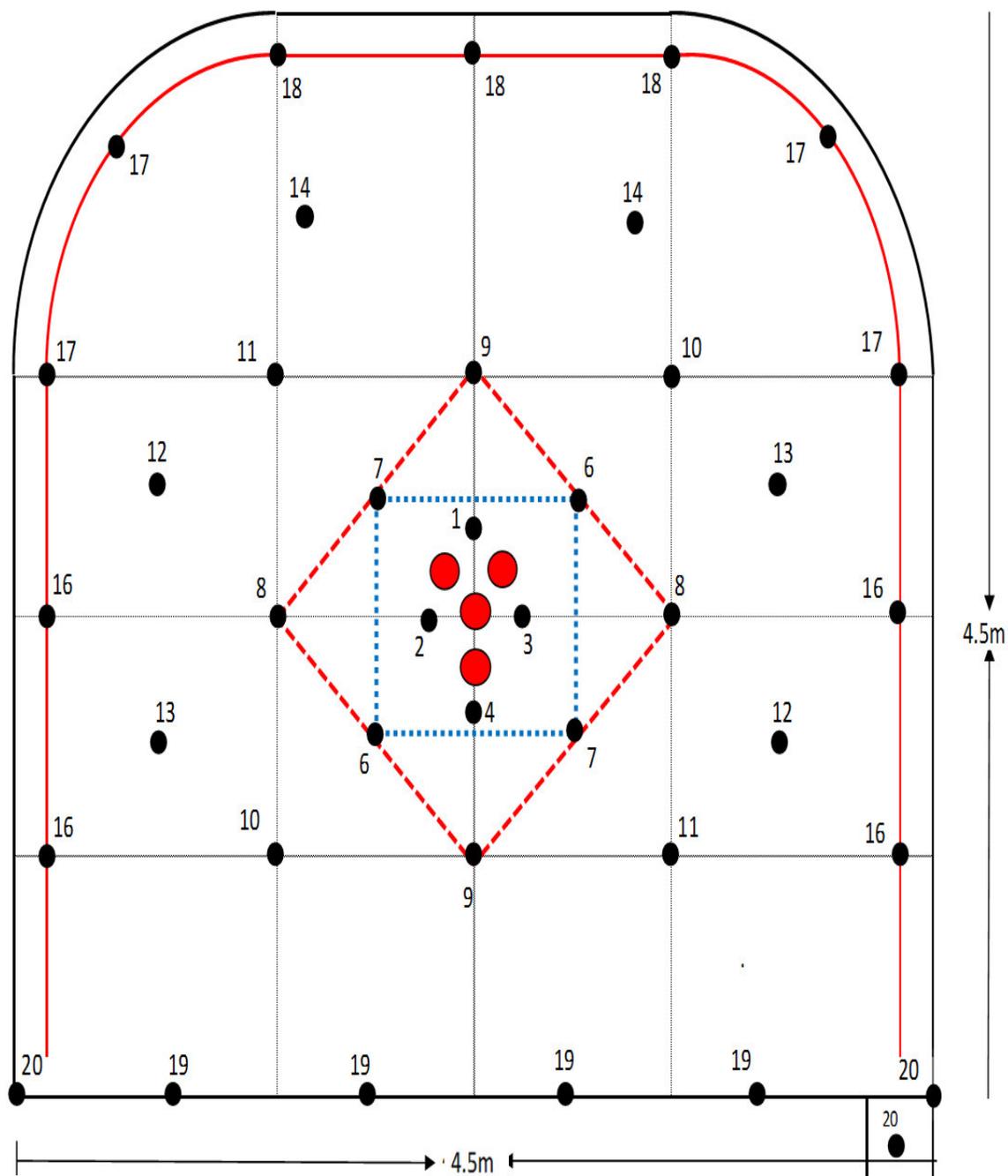
EMULGRAN QHANA		N° Tal. Cargados	EMULEX 80% 1 1/8 X 7	EMULGRAN QHANA	Longitud de columna EMULGRAN QHANA (m)	Long. Taco Inerte (m)		
Sección	4.0 m x 4.0							
RMR	41-50							
Longitud Perforación (m)	3.90							
Diámetro de taladros (mm)	48							
Densidad de roca (gr/cm3)	3.40	Cart. / Tal	Kg./Tal	Confinado	Taco			
Rimados	4.00							
Rompe boca	0.00							
Arranque	4.00	1.00	6.00	3.06	0.70			
Ayuda	4.00	1.00	5.50	2.86	0.90			
Sobre Ayuda	4.00	1.00	5.50	2.86	0.90			
Cuadrador	4.00	1.00	5.50	2.86	0.90			
Ayuda Corona	0.00							
Hastial	4.00	1.00	5.50	2.86	0.90			
Ayuda de hastiales	0.00							
Corona (Caña)	6.00	10.00		2.86	3.70			
Arrastre	5.00	1.00	6.00	2.86	0.70			
Ayuda Arrastre	0.00			0.00				
Total cartuchos		31.00	125.20					
Kg de explosivo por tipo de cartucho		4.04	125.20					
Taco de arcilla	36 (und)	Factor Potencia (Kg/t)	0.92	Pentacord (m)	20	Ton.	165.98	
Total Taladros Cargados	31.00	Factor Carga (Kg/m3)	2.58	Carmex (m)	2	Vol.(m3)	59.28	
Total de Explosivo (Kg)	153.07	Factor Lineal (Kg/ml)	41.31	Exeles de 4.20 m (Unid.)	31			
Eficiencia de voladura (%)	95.00							

Tipo emulsión cebo	Peso cartucho
E80% 1 1/8 x 7	0.13

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Esquema de perforación para sección de $4.5\text{ m} \times 4.5\text{ m}$



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11
Diseño de carga con SUPERFAM DOS para sección de 4.5 m × 4.5 m

SUPERFAM DOS		N° Tal. Cargados	EMULEX 80% 1 1/8 X 7	SUPERFAM DOS	Longitud de columna SUPERFAM DOS (m)	Long. Taco Inerte (m)		
Sección	4.5 m x 4.5							
RMR	41-50							
Longitud Perforación (m)	3.90							
Díámetro de taladros (mm)	48							
Densidad de roca (gr/cm3)	3.40	Cart. / Tal	Kg./Tal	Confinado	Taco			
Rimados	4.00							
Rompe boca	0.00							
Arranque	4.00	1.00	4.70	3.06	0.57			
Ayuda	4.00	1.00	4.50	2.86	0.70			
Sobre Ayuda	4.00	1.00	4.50	2.86	0.70			
Cuadrador	4.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Ayuda Corona	2.00	1.00	4.00		1.04			
Hastial	4.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Ayuda de hastiales	0.00	0.00			3.90			
Corona (Caña)	7.00	1.00	4.00	2.86	1.04			
Arrastre	6.00	1.00	4.50	2.86	3.72			
Ayuda Arrastre	0.00	0.00		0.00	1.22			
Total cartuchos			35.00	149.80				
Kg de explosivo por tipo de cartucho			4.04	149.80				
Taco de arcilla	38 (und)	Factor Potencia (Kg/t)	0.80	Pentacord (m)	20	Ton.	193.91	
Total Taladros Cargados	35.00	Factor Carga (Kg/m3)	2.23	Carmex (m)	2	Vol.(m3)	69.26	
Total de Explosivo (Kg)	154.36	Factor Lineal (Kg/ml)	45.13	Exeles de 4.20 m (Unid.)	35			
Eficiencia de voladura (%)	87.69							

Tipo emulsión cebo	Peso cartucho
E80% 1 1/8 x 7	0.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12
Diseño de carga con EMULGRAN QHANA para sección de 4.5 m × 4.5 m

EMULGRAN QHANA		N° Tal. Cargados	EMULEX 80% 1 1/8 X 7	EMULGRAN QHANA	Longitud de columna EMULGRAN QHANA (m)	Long. Taco Inerte (m)		
Sección	4.5 m x 4.5							
RMR	41-50							
Longitud Perforación (m)	3.90							
Diámetro de taladros (mm)	48							
Densidad de roca (gr/cm ³)	3.40	Cart. / Tal	Kg./Tal	Confinado	Taco			
Rimados	4.00							
Rompe boca	0.00							
Arranque	4.00	1.00	6.50	3.33	0.31			
Ayuda	4.00	1.00	5.70	3.20	0.71			
Sobre Ayuda	4.00	1.00	5.50	3.20	0.81			
Cuadrador	4.00	1.00	5.50	2.86	0.81			
Ayuda Corona	2.00	1.00	5.00	2.86	1.06			
Hastial	4.00	1.00	5.50	2.86	3.90			
Ayuda de hastiales	0.00	0.00		0.00	3.60			
Corona (Caña)	7.00	1.00		2.86	3.90			
Arrastre	6.00	1.00	6.50	0.18	0.31			
Ayuda Arrastre	0.00	0.00		2.68	3.60			
Total cartuchos			84.00	163.80				
Kg de explosivo por tipo de cartucho			10.94	163.80				
Taco de arcilla	38 (und)	Factor Potencia (Kg/t)	0.81	Pentacord (m)	20	Ton.	214.50	
Total Taladros Cargados	35.00	Factor Carga (Kg/m³)	2.28	Carmex (m)	2	Vol.(m³)	76.61	
Total de Explosivo (Kg)	174.74	Factor Lineal (Kg/ml)	46.19	Exeles de 4.20 m (Unid.)	35			
Eficiencia de voladura (%)	97.00							

Tipo emulsión cebo	Peso cartucho
E80% 1 1/8 x 7	0.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13
Indicadores operativos por comparar.

INDICADORES OPERATIVOS			
Indicador de voladura	Unidad	Descripción del indicador	Motivo de estudio
Avance efectivo	m	Metros avanzados reales post voladura.	Relacionado con el ritmo de desarrollo de la mina.
Sobre rotura	%	Apertura de la sección del frente respecto a lo programado.	Relacionado con la calidad del disparo ejecutado.
Factor de carga	kg/m^3	Kilogramos de explosivo usados en el disparo para romper un metro cúbico de roca.	Relacionado con la cantidad de material explosivo utilizado.
Tiempo de carguío	$min/disp$	Tiempo que toma cebar y llenar los taladros con explosivo.	Relacionado con la optimización del proceso y seguridad.
Tiempo de reingreso	$min/disp$	Tiempo en el cual se puede volver al frente a realizar trabajos.	Relacionado con la optimización del proceso.
Granulometría P (80)	cm	Es la media del tamaño de los fragmentos obtenidos post voladura.	Relacionado con la calidad del disparo ejecutado.
Factor de potencia	Kg/t	Kilogramos de explosivo usados en el disparo para romper una tonelada de roca.	Relacionado con la cantidad de material explosivo utilizado.
Factor de avance	Kg/m	Kilogramos de explosivo usados para avanzar un metro en el frente.	Relacionado con la cantidad de material explosivo utilizado.
Eficiencia de voladura	%	Porcentaje de avance real respecto a la longitud de perforación.	Relacionado con la calidad del disparo ejecutado.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14
Parámetros operativos de los disparos realizados con el explosivo 1 – SUPERFAM DOS

SUPERFAM DOS	Sección	4.5 x 4.5			4.0 x 4.0			
	Ejecutor	MINERA COLQUISIRI			MINERA COLQUISIRI			
	Supervisión	FAMESA EXPLOSIVOS			FAMESA EXPLOSIVOS			
	Labores de estudio	Gal-17-151S	Rp+12-161N	S/N-17-147N	S/N-15-158N	S/N-15-158N	Cx-17-57W	Cx-17-57W
	Fecha de ejecución	4/02/2020	5/02/2020	7/02/2020	10/02/2020	11/02/2020	11/02/2020	13/02/2020
PARÁMETROS OPERATIVOS	Ancho programado (m)	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0
	Altura programada (m)	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0
	Explosivo usado (kg)	182	182	182	129.2	129.2	129.2	129.2
	Longitud de barra (m)	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
	Taladros cargados (und)	35	35	35	31	31	31	31
	Perforación efectiva (m)	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
	Longitud de rimado (m)	3.8	3.6	3.7	3.6	3.6	3.8	3.9
	Alivio en arranque (m)	3.8	3.6	3.8	3.6	3.6	3.8	3.9
	Avance objetivo (m).	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	Anchos reales (m)	4.8	4.7	4.8	4.3	4.3	4.2	4.3
	Alturas reales (m)	4.7	4.8	4.8	4.3	4.4	4.3	4.2
	Costo de accesorios (\$)	47.43	45.23	45.23	41.13	41.13	41.13	45.53
	Costo de Explosivos (\$)	149.62	149.62	149.62	110.33	118.8	110.33	110.33
	Costo de voladura (\$)	197.05	194.85	194.85	151.56	159.93	151.56	155.86
Costo por voladura (\$/m)	59.71	60.89	59.04	47.36	50.77	45.92	48.7	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15
Indicadores operativos de los disparos realizados con el explosivo 1 – SUPERFAM DOS

SUPERFAM	Sección	4.5 x 4.5			4.0 x 4.0			
	DOS	MINERA COLQUISIRI			MINERA COLQUISIRI			
	Ejecutor	FAMESA			FAMESA			
	Supervisión	FAMESA			FAMESA			
	Labores de estudio	Gal-17-151S	Rp+12-161N	S/N-17-147N	S/N-15-158N	S/N-15-158N	Cx-17-57W	Cx-17-57W
INDICADORES OPERATIVOS	Avance efectivo (m)	3.3	3.2	3.3	3.2	3.4	3.35	3.4
	Factor de avance (kg/m)	55.5	56.8	55.5	40.37	38.00	38.56	38.00
	Factor de potencia (kg/t)	0.87	0.9	0.87	0.87	0.85	0.86	0.85
	Factor carga (Kg/m ³)	2.44	2.52	2.44	2.23	2.21	2.21	2.28
	Eficiencia de voladura (%)	86.84	84.21	86.84	88.8	87.5	86.8	82
	Sobre rotura (%)	11.4	11.4	13.8	15.6	18.3	12.9	12.9
	Tiempo de carguío (min/dis)	63	62	60	58	56	57	58
	Tiempo de reingreso (min/dis)	60	60	60	60	60	60	60
	P (80) (cm)	22.1	20.0	22.4	21.2	19.5	20.4	24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16
Parámetros operativos de los disparos realizados con el explosivo 2 – EMULGRAN QHANA

EMULGRAN QHANA	Sección	4.5 x 4.5			4.0 x 4.0			
	Ejecutor	MINERA COLQUISIRI			MINERA COLQUISIRI			
	Supervisión	FAMESA EXPLOSIVOS			FAMESA EXPLOSIVOS			
	Labores de estudio	Gal-17-151S	Rp+12-161N	S/N-17-147N	S/N-15-158N	S/N-15-158N	Cx-17-57W	Cx-17-57W
	Fecha de ejecución	4/02/2020	5/02/2020	7/02/2020	10/02/2020	11/02/2020	11/02/2020	13/02/2020
PARÁMETROS OPERATIVOS Y ECONÓMICOS	Ancho programado (m)	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0
	Altura programada (m)	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0
	Explosivo usado (kg)	204.56	204.56	204.56	153.1	153.1	153.1	153.1
	Longitud de barra (m)	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
	Taladros cargados (und)	35	35	35	31	31	31	31
	Perforación efectiva (m)	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
	Longitud de rimado (m)	3.8	3.6	3.7	3.6	3.6	3.8	3.9
	Alivio en arranque (m)	3.8	3.6	3.8	3.6	3.6	3.8	3.9
	Avance objetivo (m).	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	Anchos reales (m)	4.6	4.6	4.7	4.2	4.3	4.2	4.2
	Alturas reales (m)	4.7	4.7	4.6	4.2	4.2	4.3	4
	Costo de accesorios (\$)	47.43	45.23	45.23	41.15	41.15	41.15	45.55
	Costo de Explosivos (\$)	210.13	210.13	210.13	168.7	178.06	168.7	168.7
	Costo de voladura (\$)	257.56	255.36	255.36	209.85	219.21	209.85	214.25
	Costo por voladura (\$/m)	75.75	72.96	69.01	61.72	64.47	56.71	56.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17
Indicadores operativos de los disparos realizados con el explosivo 2 – EMULGRAN QHANA.

EMULGRAN QHANA	Sección	4.5 x 4.5			4.0 x 4.0			
	Ejecutor	MINERA COLQUISIRI			MINERA COLQUISIRI			
	Supervisión	FAMESA			FAMESA			
	Labores de estudio	Gal-17-151S	Rp+12-161N	S/N-17-147N	S/N-15-158N	S/N-15-158N	Cx-17-57W	Cx-17-57W
INDICADORES OPERATIVOS	Avance efectivo (m)	3.4	3.5	3.7	3.4	3.4	3.7	3.8
	Factor de avance (kg/m)	60.16	58.44	55.29	45.02	45.02	41.37	40.28
	Factor de potencia (kg/t)	0.99	0.97	0.91	0.94	0.92	0.9	0.93
	Factor carga (Kg/m ³)	2.78	2.7	2.56	2.74	2.73	2.26	2.57
	Eficiencia de voladura (%)	89.47	97.22	97.36	94.4	94.4	97.3	97.4
	Sobre rotura (%)	6.8	6.8	6.8	10.3	12.9	12.9	5
	Tiempo de carguío (min/dis)	48	50	46	45	43	44	45
	Tiempo de reingreso (min/dis)	30	30	30	30	30	30	30
	P (80) (cm)	16.8	16.5	17	15.7	15.5	16	16.2

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Indicadores económicos de la voladura subterráneas a comparar.

Se da a conocer los indicadores económicos que se evaluarán en la investigación, para ellos se deben describir los costos unitarios involucrados en la ejecución de las labores.

5.3.1 Costos unitarios de los trabajos en una labor de avance

Los costos unitarios relacionados a la voladura de labores de avance y en lo que incurren, fueron proporcionados por la Superintendencia de Operaciones Mina, para la realización de la evaluación económica por parte de Famesa Explosivos, estos costos son:

Tabla 18

Costos unitarios de las actividades involucradas en una labor de avance

COSTOS UNITARIOS MINA		
PROCESO	UNIDAD	PRECIO
Perforación Ø=45 mm	USD/m	3.2
Perforación Ø=48 mm	USD/m	5.9
Perno Swellex con instalación	USD/und	11
Shotcrete con instalación	USD/m ²	0
Malla con instalación	USD/m ²	0
Costo extracción (Scoop con operador)	USD/hr	80
Costo Transporte (Camión con operador)	USD/t	1.8
Costo Promedio Minero	USD/hr	12
Rendimiento Scoop 6 yd ³	m ³ /hr	26
Rendimiento de Perforación	m/hr	75

Fuente: Programa mensual de costos y minado U.M MARIA TERESA, COLQUISIRI 2021.

También se presentan los costos unitarios de explosivos y accesorios, conforme a la cotización elaborada por Famesa Explosivos.

Tabla 19
Costos unitarios de explosivos y accesorios

COSTOS UNITARIOS EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS		
PRODUCTO	UNIDAD	PRECIO
Emulsión EMULGRAN QHANA®	USD/Kg	1.01
Emulex 80% 11/8 x 7	USD/Kg	2.48
SUPERFAM DOS	USD/Kg	0.76
Famecorte e20 (Caña)	USD/Kg	4.01
Fanel 4.8 m.	USD/und	1.12
Fanel 12.2 m.	USD/und	1.72
Fanel 18.2 m.	USD/und	2.04
Booster 225 gr.	USD/und	1.82
Cordón detonante 3p	USD/m	0.24
Carmex	USD/und	1.11

Fuente: Cotización de material explosivo para U.M MARIA TERESA, COLQUISIRI, por parte de Famesa explosivos 2020.

Tabla 20
Indicador económico por comparar

INDICADOR ECONÓMICO		
Indicador de voladura	Unidad	Descripción del indicador
Costo de avance mensual	\$/mes	Costo en dólares americanos invertidos avanzar en un lapso mensual.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Costos que conlleva la ejecución de los disparos con ambos explosivos.

Al obtener los indicadores de los disparos ejecutados en ambos escenarios y teniendo los costos unitarios proporcionados por la Superintendencia de Operaciones Mina, en el plan mensual de avances, se calculan los costos de la ejecución de un disparo con SUPERFAM

DOS en frentes de 4.0 m x 4.0 m y 4.5 m x 4.5 m t los costos de la ejecución de un disparo con EMULGRAN QHANA en frentes de 4.0 m x 4.0 m y 4.5 m x 4.5 m.

5.3.3 Costos de ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con SUPERFAM DOS.

Se realiza el cálculo de la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con SUPERFAM DOS, de acuerdo con el diseño planteado en la tabla 11 y haciendo uso de los costos unitarios presentados en las tablas 17 y 18, donde se obtiene lo siguiente:

Tabla 21

Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con SUPERFAM DOS

DESARROLLO HORIZONTAL 4.0 m X 4.0 m	Programa Mensual de avance (m)	120
Parámetros	Unidad	SUPERFAM DOS
Sección	m x m	4.0 x 4.0
Área sección	m ²	15.57
Perímetro Sección	m	15.78
Sobre rotura	%	15.00
Densidad roca	g/cm ³	3.40
Longitud de perforación promedio	m	3.90
Longitud de avance promedio	und	3.34
Eficiencia de avance	%	86.00
Número de voladuras para cumplimiento	und	36.00
Perforación	Unidad	SUPERFAM DOS
Diámetro de perforación	mm	48.00
Longitud de perforación	m	3.90
Número de taladros rimados	und	4.00
Número de taladros arranque	und	4.00
Número de taladros producción	und	12.00
Número de taladros arrastres	und	5.00
Número de taladros hastiales	und	4.00
Número de taladros corona	und	6.00
Total taladros cargados por voladura	und	31.00
Rendimiento de perforación	m.perf/hr	75.00
Tiempo perforación	hr/frente	1.82
Costo Unitario perforación	USD/m	5.90
Costo perforación mensual	USD/mes	28992.60
Explosivos y Accesorios	Unidad	SUPERFAM DOS

Tipo Explosivo		ANFO
Tipo de detonador		No eléctrico
Tipo de Cebo		Emulex 80% 11/8" x 7"
Tipo explosivo perimetral (Corona)		ANFO
Densidad a granel	g/cm3	0.80
Densidad a granel	g/cm3	0.80
Densidad de carga lineal	kg/m	1.50
Densidad de carga lineal (Contorno)	kg/m	1.50
Explosivo encartuchado por voladura	kg/voladura	4.04
Explosivo EMULGRAN QHANA por voladura	kg/voladura	0.00
Explosivo ANFO por voladura	kg/voladura	125.20
Total de explosivos por voladura	kg/voladura	129.24
Total detonadores no eléctricos por voladura	und/voladura	31.00
total Famercorte E20 por voladura	kg/voladura	0.00
Cordón detonante por voladura	m/voladura	20.00
Mecha de seguridad	und/voladura	2.00
Explosivo a granel EMULGRAN QHANA por programa	t	0.00
Explosivo a granel ANFO por programa	t	4.51
Emulsión Encartuchada por programa	t	0.15
Detonadores no eléctricos por programa	und	1116.00
Precio explosivo a granel	USD/ t	
Precio explosivo ANFO	USD/ t	760.00
Precio encartuchado	USD/t	2480.00
Precio detonadores no eléctricos	USD/und	1.12
Precio cordón detonante	USD/m	0.24
Precio mecha de seguridad	USD/und	1.11
Precio Famecorte E20	USD/und	4.01
Costo por voladura	USD/voladura	146.90
Costo explosivos y accesorios mensual	USD/mes	5288.49
Sostenimiento (Shotcrete, fibra y perno)	Unidad	SUPERFAM DOS
Perímetro nominal sostenido Shotcrete (hastial y techo)	m	11.78
Perímetro Real sostenido (hastial y techo)	m	13.55
Distancia entre filas de pernos	m	1.50
Distancia entre pernos de la misma fila	m	1.50
Patrón de pernos	m x m	1.5x1.5
Filas de pernos	fila/programa	80.00
Pernos por fila	und	8.00
Espesor de shotcrete	pulgada	2.00
Volumen de shotcrete por metro lineal	m3/ml	0.69
% Rebote y rugosidad	%	15.00

Volumen de shotcrete por voladura	m3	2.65
Volumen de shotcrete por programa	m3	95.30
Tiempo de Lanzado Shotcrete	hr/m3	0.25
Tiempo Sostenimiento de Shotcrete por programa	hr	23.83
Área Malla electrosoldada (2.02x9)	m2/und	16.38
Área por cubrir por programa	m2	1625.99
Cantidad de pernos por programa	und	640.00
Cantidad de malla	und	84.61
Rendimiento instalación de pernos	pernos/guardia	80.00
Tiempo instalación de pernos	hr	80.00
Tiempo de Sostenimiento	hr	103.83
Costo unitario perno swellex c/instal.	USD/unidad	11.00
Costo unitario malla c/instal.	USD/unidad	0.00
Costo unitario shotcrete c/instal.	USD/m2	0.00
Costo de pernos	USD/programa	7040.00
Costo de malla	USD/programa	0.00
Costo de shotcrete	USD/programa	0.00
Porcentaje de uso de shotcrete	%	100.00
Costo sostenimiento mensual	USD/mes	7040.00
Extracción de material adicional	Unidad	SUPERFAM DOS
Volumen Teórico por remover del programa mensual	m3	1868.16
Volumen adicional sobre excavación por programa	m3/programa	280.22
Rendimiento del LHD 6yd3	m3/hr	26.00
Tiempo adicional extracción por voladura	hr/programa	10.78
Costo extracción (incluye Scoop y operador)	USD/hr	80.00
Costo extracción material adicional mensual	USD/mes	862.23
Transporte de Material adicional	Unidad	SUPERFAM DOS
Volumen Teórico por remover por voladura	m3	1868.16
Volumen adicional por sobre rotura	m3 / programa	280.22
Tonelaje	t/programa	952.76
Capacidad camión	t/viaje	30.00
Viajes por programa	viaje/programa	32.00
Tiempo transporte por viaje	hr/ viaje	1.00
Tiempo Adicional transporte	hr/programa	32.00
Costo Transporte (Camión c/Operador)	USD/t	1.80
Costo transporte de material adicional mensual	USD/mes	1714.97

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el plan mensual de avance para labores de sección 4.0 m x 4.0 m, diseñado por la Superintendencia de operaciones mina, el metraje objetivo será de 120 m,

para lo cual de acuerdo con los avances obtenidos en las pruebas con el explosivo SUPERFAM DOS, se requerirá de 36 disparos.

Tabla 22

Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con SUPERFAM DOS

RESUMEN DE COSTOS DE EJECUCIÓN DE UNA LABOR 4.0 m X 4.0 m CON SUPERFAM DOS		
Costo perforación mensual	28992.60	USD/mes
Costo explosivos y accesorios mensual	5288.49	USD/mes
Costo sostenimiento mensual	7040.00	USD/mes
Costo extracción material adicional mensual	862.23	USD/mes
Costo transporte de material adicional mensual	1714.97	USD/mes

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de perforación están calculados de acuerdo con el metraje por taladro ejecutado y cantidad de taladros perforados en campo según el diseño de malla, incluyendo taladros de producción y taladros auxiliares, estos sujetos al rendimiento de perforación de acuerdo con la longitud de la barra y el metraje por taladro ejecutado; obteniendo un costo de ejecución de 5.9 \$/m, considerando la cantidad de taladros programados para el diseño de frentes 4.0 m x 4.0 m y la cantidad de disparos para cumplir el plan mensual, se obtiene un total de 28,992.60 \$ al mes (ver Tabla 21).

Los costos de explosivos y accesorios están calculados de acuerdo con el diseño de carga de columna, metraje y el tipo de taladro (arranque, ayudas, cuadradores, hastiales, coronas y arrastres), también de acuerdo con la densidad del explosivo de columna. Considerando el número de disparos necesarios para cumplir el programa mensual, se obtiene un costo de explosivos y accesorios de 146.90 \$/disparo y un total de 5,288.49 \$ al mes (ver Tabla 21).

Los costos de sostenimiento están calculados de acuerdo con los componentes involucrados en el sostenimiento aplicable para secciones de 4.0 m x 4.0 m y roca de RMR

de 45-60, que es la calidad de roca de las labores en donde se realizaron las pruebas, también se considera el sobre costo que genera la sobre rotura obtenida post voladura; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual, se obtuvo un total de 7,040.00 \$ al mes (ver Tabla 21).

Los costos de extracción de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.0 m x 4.0 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad del equipo Scoop y el tiempo que le toma limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 80.00 \$/hr, se obtiene un total de 862.23 \$ al mes, por extracción del material adicional obtenido (ver Tabla 21).

Los costos de transporte de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.0 m x 4.0 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad de los volquetes y el número de viajes requeridos para limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 1.80 \$/t, se obtiene un total de 1,714.97 \$ al mes, por transporte de material adicional obtenido (ver Tabla 21).

5.3.4 Costos de ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con EMULGRAN

QHANA.

Se realiza el cálculo de la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con EMULGRAN QHANA, de acuerdo con el diseño planteado en la Tabla 11 y haciendo uso de los costos unitarios presentados en las tablas 17 y 18, donde se obtiene lo siguiente:

Tabla 23

Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con EMULGRAN QHANA

DESARROLLO HORIZONTAL 4.0 m X 4.0 m	Programa Mensual de avance (m)	120
Parámetros	Unidad	EMULGRAN QHANA
Sección	m x m	4.0 x 4.0
Área sección	m ²	15.57
Perímetro Sección	m	15.78
Sobre rotura	%	10.00
Densidad roca	g/cm ³	3.40
Longitud de perforación promedio	m	3.90
Longitud de avance promedio	und	3.71
Eficiencia de avance	%	95.00
Número de voladuras para cumplimiento	und	32.00
Perforación	Unidad	EMULGRAN QHANA
Diámetro de perforación	mm	48.00
Longitud de perforación	m	3.90
Número de taladros rimados	und	4.00
Número de taladros arranque	und	4.00
Número de taladros producción	und	12.00
Número de taladros arrastres	und	5.00
Número de taladros hastiales	und	4.00
Número de taladros corona	und	6.00
Total taladros cargados por voladura	und	31.00
Rendimiento de perforación	m.perf/hr	75.00
Tiempo perforación	hr/frente	1.82
Costo Unitario perforación	USD/m	5.90
Costo perforación mensual	USD/mes	25771.20
Explosivos y Accesorios	Unidad	EMULGRAN QHANA
Tipo Explosivo		EMULGRAN QHANA
Tipo de detonador		No eléctrico
Tipo de Cebo		Emulex 80% 11/8" x 7"
Tipo explosivo perimetral (Corona)		EMULGRAN QHANA
Densidad a granel	g/cm ³	1.11
Densidad a granel	g/cm ³	1.11
Densidad de carga lineal	kg/m	2.01
Densidad de carga lineal (Contorno)	kg/m	2.01
Explosivo encartuchado por voladura	kg/voladura	11.07

Explosivo EMULGRAN QHANA por voladura	kg/voladura	142.00
Explosivo ANFO por voladura	kg/voladura	
Total de explosivos por voladura	kg/voladura	153.07
Total detonadores no eléctricos por voladura	und/voladura	31.00
total Famercorte E20 por voladura	kg/voladura	0.00
Cordón detonante por voladura	m/voladura	20.00
Mecha de seguridad	und/voladura	2.00
Explosivo a granel EMULGRAN QHANA por programa	t	4.54
Explosivo a granel ANFO por programa	t	
Emulsión Encartuchada por programa	t	0.35
Detonadores no eléctricos por programa	und	992.00
Precio explosivo a granel	USD/ t	1012.00
Precio explosivo ANFO	USD/ t	
Precio encartuchado	USD/t	2480.00
Precio detonadores no eléctricos	USD/und	1.12
Precio cordón detonante	USD/m	0.24
Precio mecha de seguridad	USD/und	1.11
Precio Famecorte E20	USD/und	4.01
Costo por voladura	USD/voladura	212.89
Costo explosivos y accesorios mensual	USD/mes	6812.54
Sostenimiento (Shotcrete, fibra y perno)	Unidad	EMULGRAN QHANA
Perímetro nominal sostenido Shotcrete (hastial y techo)	m	11.78
Perímetro Real sostenido (hastial y techo)	m	12.96
Distancia entre filas de pernos	m	1.50
Distancia entre pernos de la misma fila	m	1.50
Patrón de pernos	m x m	1.5x1.5
Filas de pernos	fila/programa	80.00
Pernos por fila	unid	7.00
Espesor de shotcrete	pulgada	2.00
Volumen de shotcrete por metro lineal	m3/ml	0.66
% Rebote y rugosidad	%	15.00
Volumen de shotcrete por voladura	m3	2.81
Volumen de shotcrete por programa	m3	89.77
Tiempo de Lanzado Shotcrete	hr/m3	0.25
Tiempo Sostenimiento de Shotcrete por programa	hr	22.44
Área Malla electrosoldada (2.02x9)	m2/und	16.38
Área por cubrir por programa	m2	1555.29
Cantidad de pernos por programa	und	560.00
Cantidad de malla	und	80.30
Rendimiento instalación de pernos	pernos/guardia	80.00

Tiempo instalación de pernos	hr	70.00
Tiempo de Sostenimiento	hr	92.44
Costo unitario perno swellex c/instal.	USD/unidad	11.00
Costo unitario malla c/instal.	USD/unidad	0.00
Costo unitario shotcrete c/instal.	USD/m2	0.00
Costo de pernos	USD/programa	6160.00
Costo de malla	USD/programa	0.00
Costo de shotcrete	USD/programa	0.00
Porcentaje de uso de shotcrete	%	100.00
Costo sostenimiento mensual	USD/mes	6160.00
Extracción material adicional	Unidad	EMULGRAN QHANA
Volumen Teórico por remover por programa mensual	m3	1868.16
Volumen adicional sobre rotura por programa	m3/programa	186.82
Rendimiento del LHD 6yd3	m3/hr	26.00
Tiempo adicional extracción por voladura	hr/programa	7.19
Costo extracción (Scoop y operador)	USD/hr	80.00
Costo extracción material adicional mensual	USD/mes	574.82
Transporte Material adicional	Unidad	EMULGRAN QHANA
Volumen Teórico por remover por voladura	m3	1868.16
Volumen adicional por sobre rotura	m3 / programa	186.82
Tonelaje adicional	t/programa	635.17
Capacidad Camión	t/viaje	30.00
Viajes por programa	viaje/programa	21.00
Tiempo transporte por viaje	hr/ viaje	1.00
Tiempo Adicional transporte	hr/programa	21.00
Costo Transporte (Camión c/Operador)	USD/t	1.80
Costo transporte de material adicional mensual	USD/mes	1143.31

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el plan mensual de avance para labores de sección 4.0 m x 4.0 m, diseñado por la Superintendencia de operaciones mina, el metraje objetivo será de 120 m, para lo cual de acuerdo con los avances obtenidos en las pruebas con el explosivo EMULGRAN QHANA, se requerirá de 32 disparos.

Tabla 24

Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.0 m x 4.0 m con EMULGRAN QHANA

RESUMEN DE COSTOS DE DESARROLLO HORIZONTAL 4.0 m X 4.0 m CON EMULGRAN QHANA		
Costo perforación mensual	25771.2	USD/mes
Costo explosivos y accesorios mensual	6812.54	USD/mes
Costo sostenimiento mensual	6160.00	USD/mes
Costo extracción material adicional mensual	574.82	USD/mes
Costo transporte de material adicional mensual	1143.31	USD/mes

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de perforación están calculados de acuerdo con el metraje por taladro ejecutado y cantidad de taladros perforados en campo según el diseño de malla, incluyendo taladros de producción y taladros auxiliares, estos sujetos al rendimiento de perforación de acuerdo con la longitud de la barra y el metraje por taladro ejecutado; obteniendo un costo de ejecución de 5.9 \$/m, considerando la cantidad de taladros programados para el diseño de frentes 4.0 m x 4.0 m y la cantidad de disparos para cumplir el plan mensual, se obtiene un total de 25,771.20 \$ al mes (ver Tabla 23).

Los costos de explosivos y accesorios están calculados de acuerdo con el diseño de carga de columna, metraje y el tipo de taladro (arranque, ayudas, cuadradores, hastiales, coronas y arrastres), también de acuerdo con la densidad del explosivo de columna. Considerando el número de disparos necesarios para cumplir el programa mensual, se obtiene un costo de explosivos y accesorios de 212.89 \$/disparo y un total de 6,812.54\$ al mes (ver Tabla 23).

Los costos de sostenimiento están calculados de acuerdo con los componentes involucrados en el sostenimiento aplicable para secciones de 4.0 m x 4.0 m y roca de RMR de 45-60, que es la calidad de roca de las labores en donde se realizaron las pruebas, también se considera el sobre costo que genera la sobre rotura obtenida post voladura; de acuerdo con

el número de disparos para cumplir el plan mensual, se obtuvo un total de 6,160.00 \$ al mes (ver Tabla 23).

Los costos de extracción de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.0 m x 4.0 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad del equipo Scoop y el tiempo que le toma limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 80.00 \$/hr, se obtiene un total de 574.82 \$ al mes, por extracción del material adicional obtenido (ver Tabla 23).

Los costos de transporte de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.0 m x 4.0 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad de los volquetes y el número de viajes requeridos para limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 1.80 \$/t, se obtiene un total de 1,143.31 \$ al mes, por transporte de material adicional obtenido (ver Tabla 23).

5.3.5 Costos de ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con SUPERFAM DOS

Se realiza el cálculo de la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con SUPERFAM DOS, de acuerdo con el diseño planteado en la tabla 13 y haciendo uso de los costos unitarios presentados en las tablas 17 y 18, donde se obtiene lo siguiente:

Tabla 25

Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con SUPERFAM DOS

DESARROLLO HORIZONTAL 4.5 m X 4.5 m	Programa Mensual de avance (m)	180
Parámetros	Unidad	SUPERFAM DOS
Sección	m x m	4.5 x 4.5
Área sección	m ²	19.70
Perímetro Sección	m	17.76
Sobre rotura	%	15.00
Densidad roca	g/cm ³	2.80
Longitud de perforación promedio	m	3.90
Longitud de avance promedio	und	3.42
Eficiencia de avance	%	88.00
Número de voladuras para cumplimiento	und	53.00
Perforación	Unidad	SUPERFAM DOS
Diámetro de perforación	mm	48.00
Longitud de perforación	m	3.90
Número de taladros rimados	und	4.00
Número de taladros arranque	und	4.00
Número de taladros producción	und	14.00
Número de taladros arrastres	und	6.00
Número de taladros hastiales	und	4.00
Número de taladros corona	und	7.00
Total taladros cargados por voladura	und	35.00
Rendimiento de perforación	m.perf/hr	75.00
Tiempo perforación	hr/frente	2.03
Costo Unitario perforación	USD/m	5.90
Costo perforación mensual	USD/mes	47,561.67
Explosivos y Accesorios	Unidad	SUPERFAM DOS
Tipo Explosivo		ANFO
Tipo de detonador		No eléctrico
Tipo de Cebo		EMULEX80% 1 1/8" X 7"
Tipo explosivo perimetral (Corona)		ANFO
Densidad a granel	g/cm ³	0.83
Densidad a granel (contorno)	g/cm ³	0.83
Densidad de carga lineal	kg/m	1.50
Densidad de carga lineal (Contorno)	kg/m	1.50
Explosivo encartuchado por voladura	kg/voladura	4.56
Explosivo EMULGRAN QHANA por voladura	kg/voladura	
Explosivo ANFO por voladura	kg/voladura	149.80

Total de explosivos por voladura	kg/voladura	154.36
Total detonadores no eléctricos por voladura	und/voladura	35.00
total Famerquite E20 por voladura	kg/voladura	
Cordón detonante por voladura	m/voladura	20.00
Mecha de seguridad	und/voladura	2.00
Explosivo a granel EMULGRAN QHANA por programa	t	
Explosivo a granel ANFO por programa	t	7.94
Emulsión Encartuchada por programa	t	8.18
Detonadores no eléctricos por programa	und	1855.00
Precio explosivo a granel	USD/ t	
Precio explosivo ANFO	USD/ t	760.00
Precio encartuchado	USD/t	2,480.00
Precio detonadores no eléctricos	USD/und	1.12
Precio cordón detonante	USD/m	0.24
Precio mecha de seguridad	USD/und	1.11
Precio Famerquite E20	USD/und	4.01
Costo por voladura	USD/voladura	171.37
Costo explosivos y accesorios mensual	USD/mes	9,082.61
Sostenimiento (Shotcrete, fibra y perno)	Unidad	SUPERFAM DOS
Perímetro nominal sostenido Shotcrete (hastial y techo)	m	13.76
Perímetro Real sostenido (hastial y techo)	m	15.82
Distancia entre filas de pernos	m	1.50
Distancia entre pernos de la misma fila	m	1.50
Patrón de pernos	m x m	1.5x1.5
Filas de pernos	fila/programa	120.00
Pernos por fila	unid	9.00
Espesor de shotcrete	pulgada	2.00
Volumen de shotcrete por metro lineal	m ³ /ml	0.80
% Rebote y rugosidad	%	15.00
Volumen de shotcrete por voladura	m ³	3.16
Volumen de shotcrete por programa	m ³	167.51
Tiempo de Lanzado Shotcrete	hr/m ³	0.25
Tiempo Sostenimiento de Shotcrete por programa	hr	41.88
Área Malla electrosoldada (2.02x9)	m ² /und	16.38
Área por cubrir por programa	m ²	2,847.35
Cantidad de pernos por programa	unid	1,080.00
Cantidad de malla	unid	151.85
Rendimiento instalación de pernos	pernos/guardia	80.00
Tiempo instalación de pernos	hr	135.00
Tiempo de Sostenimiento	hr	176.88

Costo unitario perno swellex c/instal.	USD/unidad	11.00
Costo unitario malla c/instal.	USD/unidad	0.00
Costo unitario shotcrete c/instal.	USD/m2	0.00
Costo de pernos	USD/programa	11,880.00
Costo de malla	USD/programa	0.00
Costo de shotcrete	USD/programa	0.00
Porcentaje de uso de shotcrete	%	100.00
Costo sostenimiento mensual	USD/mes	11,880.00
Extracción material adicional	Unidad	SUPERFAM DOS
Volumen Teórico por remover por programa mensual	m3	3,546.59
Volumen adicional sobre rotura por programa	m3/programa	531.99
Rendimiento del LHD 6yd3	m3/hr	26.00
Tiempo adicional extracción por voladura	hr/programa	20.46
Costo extracción (Scoop c/ operador)	USD/hr	80.00
Costo extracción material adicional mensual	USD/mes	1,636.89
Transporte Material adicional	Unidad	SUPERFAM DOS
Volumen Teórico por remover por voladura	m3	3,546.59
Volumen adicional por sobre rotura	m3 / programa	531.99
Tonelaje adicional	t/programa	1,489.57
Capacidad camión	t/viaje	30.00
Viajes por programa	viaje/programa	50.00
Tiempo transporte por viaje	hr/ viaje	1.00
Tiempo Adicional transporte	hr/programa	50.00
Costo Transporte (Camión c/operador)	USD/t	1.80
Costo trasporte de material adicional mensual	USD/mes	2,681.22

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el plan mensual de avance para labores de sección 4.5 m x 4.5 m, diseñado por la Superintendencia de operaciones mina, el metraje objetivo será de 180 m, para lo cual de acuerdo con los avances obtenidos en las pruebas con el explosivo SUPERFAM DOS, se requerirá de 53 disparos.

Tabla 26

Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con SUPERFAM DOS

RESUMEN DE COSTOS DE DESARROLLO HORIZONTAL 4.5 m X 4.5 m CON SUPERFAM DOS		
Costo perforación mensual	47,561.67	USD/mes
Costo explosivos y accesorios mensual	9,082.61	USD/mes
Costo sostenimiento mensual	11,880.00	USD/mes
Costo extracción material adicional mensual	1,636.89	USD/mes
Costo transporte de material adicional mensual	2,681.22	USD/mes

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de perforación están calculados de acuerdo con el metraje por taladro ejecutado y cantidad de taladros perforados en campo según el diseño de malla, incluyendo taladros de producción y taladros auxiliares, estos sujetos al rendimiento de perforación de acuerdo con la longitud de la barra y el metraje por taladro ejecutado; obteniendo un costo de ejecución de 5.9 \$/m, considerando la cantidad de taladros programados para el diseño de frentes 4.5 m x 4.5 m y la cantidad de disparos para cumplir el plan mensual, se obtiene un total de 47,561.67 \$ al mes (ver Tabla 25).

Los costos de explosivos y accesorios están calculados de acuerdo con el diseño de carga de columna, metraje y el tipo de taladro (arranque, ayudas, cuadradores, hastiales, coronas y arrastres), también de acuerdo con la densidad del explosivo de columna. Considerando el número de disparos necesarios para cumplir el programa mensual, se obtiene un costo de explosivos y accesorios de 171.37 \$/disparo y un total de 9,082.61 \$ al mes (ver Tabla 25).

Los costos de sostenimiento están calculados de acuerdo con los componentes involucrados en el sostenimiento aplicable para secciones de 4.5 m x 4.5 m y roca de RMR de 45-60, que es la calidad de roca de las labores en donde se realizaron las pruebas, también se considera el sobre costo que genera la sobre rotura obtenida post voladura; de acuerdo con

el número de disparos para cumplir el plan mensual, se obtuvo un total de 11,880.00 \$ al mes (ver Tabla 25).

Los costos de extracción de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.5 m x 4.5 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad del equipo Scoop y el tiempo que le toma limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 80.00 \$/hr, se obtiene un total de 1,636.89 \$ al mes, por extracción del material adicional obtenido (ver Tabla 25).

Los costos de transporte de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.5 m x 4.5 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad de los volquetes y el número de viajes requeridos para limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 1.80 \$/t, se obtiene un total de 2,681.22 \$ al mes, por transporte de material adicional obtenido (ver Tabla 25).

5.3.6 Costos de ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con EMULGRAN QHANA.

Se realiza el cálculo de la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con EMULGRAN QHANA, de acuerdo con el diseño planteado en la tabla 13 y haciendo uso de los costos unitarios presentados en las tablas 17 y 18, donde se obtiene lo siguiente:

Tabla 27

Costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con EMULGRAN QHANA

DESARROLLO HORIZONTAL 4.0 m X 4.0 m	Programa Mensual de avance (m)	180
Parámetros	Unidad	EMULGRAN QHANA
Sección	m x m	4.5 x 4.5
Área sección	m ²	19.70
Perímetro Sección	m	17.76
Sobre rotura	%	7.00
Densidad roca	g/cm ³	2.80
Longitud de perforación promedio	m	3.90
Longitud de avance promedio	und	3.78
Eficiencia de avance	%	97.00
Número de voladuras para cumplimiento	und	48.00
Perforación	Unidad	EMULGRAN QHANA
Diámetro de perforación	mm	48.00
Longitud de perforación	m	3.90
Número de taladros rimados	und	4.00
Número de taladros arranque	und	4.00
Número de taladros producción	und	14.00
Número de taladros arrastres	und	6.00
Número de taladros hastiales	und	4.00
Número de taladros corona	und	7.00
Total taladros cargados por voladura	und	35.00
Rendimiento de perforación	m.perf/hr	75.00
Tiempo perforación	hr/frente	2.03
Costo Unitario perforación	USD/m	5.90
Costo perforación mensual	USD/mes	43,074.72
Explosivos y Accesorios	Unidad	EMULGRAN QHANA
Tipo Explosivo		EMULGRAN QHANA
Tipo de detonador		No eléctrico
Tipo de Cebo		EMULEX 80% 11/2" X 12"
Tipo explosivo perimetral (Corona)		EMULEX 80% 11/2" X 12"
Densidad a granel	g/cm ³	1.12
Densidad a granel (contorno)	g/cm ³	1.11
Densidad de carga lineal	kg/m	2.03
Densidad de carga lineal (Contorno)	kg/m	2.01

Explosivo encartuchado por voladura	kg/voladura	10.94
Explosivo EMULGRAN QHANA por voladura	kg/voladura	145.60
Explosivo ANFO por voladura	kg/voladura	
Total de explosivos por voladura	kg/voladura	174.74
Total detonadores no eléctricos por voladura	und/voladura	35.00
total Famercorte E20 por voladura	kg/voladura	0.00
Cordón detonante por voladura	m/voladura	20.00
Mecha de seguridad	und/voladura	2.00
Explosivo a granel EMULGRAN QHANA por programa	t	6.99
Explosivo a granel ANFO por programa	t	0.00
Emulsión Encartuchada por programa	t	0.53
Detonadores no eléctricos por programa	und	1680.00
Precio explosivo a granel	USD/ t	1012.00
Precio explosivo ANFO	USD/ t	
Precio encartuchado	USD/t	2,480.00
Precio detonadores no eléctricos	USD/und	1.12
Precio cordón detonante	USD/m	0.24
Precio mecha de seguridad	USD/und	1.11
Precio Famecorte E20	USD/und	4.01
Costo por voladura	USD/voladura	220.69
Costo explosivos y accesorios mensual	USD/mes	10,593.23
Sostenimiento (Shotcrete, fibra y perno)	Unidad	EMULGRAN QHANA
Perímetro nominal sostenido Shotcrete (hastial y techo)	m	13.76
Perímetro Real sostenido (hastial y techo)	m	14.72
Distancia entre filas de pernos	m	1.50
Distancia entre pernos de la misma fila	m	1.50
Patrón de pernos	m x m	1.5x1.5
Filas de pernos	fila/programa	120.00
Pernos por fila	unid	8.00
Espesor de shotcrete	pulgada	2.00
Volumen de shotcrete por metro lineal	m3/ml	0.75
% Rebote y rugosidad	%	15.00
Volumen de shotcrete por voladura	m3	3.25
Volumen de shotcrete por programa	m3	156.13
Tiempo de Lanzado Shotcrete	hr/m3	0.25
Tiempo Sostenimiento de Shotcrete por programa	hr	39.03
Área Malla electrosoldada (2.02x9)	m2/und	16.38
Área por cubrir por programa	m2	2,649.28
Cantidad de pernos por programa	unid	960.00

Cantidad de malla	unid	139.76
Rendimiento instalación de pernos	pernos/guardia	80.00
Tiempo instalación de pernos	hr	120.00
Tiempo de Sostenimiento	hr	159.03
Costo unitario perno swellex c/instal.	USD/unidad	11.00
Costo unitario malla c/instal.	USD/unidad	0.00
Costo unitario shotcrete c/instal.	USD/m2	0.00
Costo de pernos	USD/programa	10,560.00
Costo de malla	USD/programa	0.00
Costo de shotcrete	USD/programa	0.00
Porcentaje de uso de shotcrete	%	100.00
Costo sostenimiento mensual	USD/mes	10,560.00
Extracción material adicional	Unidad	EMULGRAN QHANA
Volumen Teórico por remover por programa mensual	m3	3,546.59
Volumen adicional sobre rotura por programa	m3/programa	248.26
Rendimiento del LHD 6yd3	m3/hr	26.00
Tiempo adicional extracción por voladura	hr/programa	9.55
Costo extracción (Scoop c/ operador)	USD/hr	80.00
Costo extracción material adicional mensual	USD/mes	763.88
Transporte Material adicional	Unidad	EMULGRAN QHANA
Volumen Teórico por remover por voladura	m3	3,546.59
Volumen adicional por sobre rotura	m3 / programa	248.26
Tonelaje adicional	t/programa	695.13
Capacidad camión	t/viaje	30.00
Viajes por programa	viaje/programa	23.00
Tiempo transporte por viaje	hr/ viaje	1.00
Tiempo Adicional transporte	hr/programa	23.00
Costo Transporte (Camión c/operador)	USD/t	1.80
Costo trasporte de material adicional mensual	USD/mes	1,251.24

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el plan mensual de avance para labores de sección 4.5 m x 4.5 m, diseñado por la Superintendencia de operaciones mina, el metraje objetivo será de 180 m, para lo cual de acuerdo con los avances obtenidos en las pruebas con el explosivo EMULGRAN QHANA, se requerirá de 48 disparos.

Tabla 28

Resumen de costos involucrados en la ejecución de una labor de sección 4.5 m x 4.5 m con EMULGRAN QHANA

RESUMEN DE COSTOS DE DESARROLLO HORIZONTAL 4.5 m X 4.5 m		
Costo perforación mensual	43,074.72	USD/mes
Costo explosivos y accesorios mensual	10,593.23	USD/mes
Costo sostenimiento mensual	10,560.00	USD/mes
Costo extracción material adicional mensual	763.88	USD/mes
Costo transporte de material adicional mensual	1,251.24	USD/mes

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de perforación están calculados de acuerdo con el metraje por taladro ejecutado y cantidad de taladros perforados en campo según el diseño de malla, incluyendo taladros de producción y taladros auxiliares, estos sujetos al rendimiento de perforación de acuerdo con la longitud de la barra y el metraje por taladro ejecutado; obteniendo un costo de ejecución de 5.9 \$/m, considerando la cantidad de taladros programados para el diseño de frentes 4.5 m x 4.5 m y la cantidad de disparos para cumplir el plan mensual, se obtiene un total de 43,074.72 \$ al mes (ver Tabla 27).

Los costos de explosivos y accesorios están calculados de acuerdo con el diseño de carga de columna, metraje y el tipo de taladro (arranque, ayudas, cuadradores, hastiales, coronas y arrastres), también de acuerdo con la densidad del explosivo de columna. Considerando el número de disparos necesarios para cumplir el programa mensual, se obtiene un costo de explosivos y accesorios de 220.69 \$/disparo y un total de 10,593.23 \$ al mes (ver Tabla 27).

Los costos de sostenimiento están calculados de acuerdo con los componentes involucrados en el sostenimiento aplicable para secciones de 4.5 m x 4.5 m y roca de RMR de 45-60, que es la calidad de roca de las labores en donde se realizaron las pruebas, también se considera el sobre costo que genera la sobre rotura obtenida post voladura; de acuerdo con

el número de disparos para cumplir el plan mensual, se obtuvo un total de 10,560.00 \$ al mes (ver Tabla 27).

Los costos de extracción de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.5 m x 4.5 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad del equipo Scoop y el tiempo que le toma limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 80.00 \$/hr, se obtiene un total de 763.88 \$ al mes, por extracción del material adicional obtenido (ver Tabla 27).

Los costos de transporte de material adicional están calculados de acuerdo con el tonelaje teórico post voladura para secciones de 4.5 m x 4.5 m y el material adicional obtenidos de acuerdo con la sobre rotura, la capacidad de los volquetes y el número de viajes requeridos para limpiar el frente; de acuerdo con el número de disparos para cumplir el plan mensual y teniendo un costo fijo de 1.80 \$/t, se obtiene un total de 1,251.24 \$ al mes, por transporte de material adicional obtenido (ver Tabla 27).

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN

6.1. Comparativo de indicadores operativos de los explosivos

Al comparar los explosivos presentados, se determina cuál es el explosivo con mejor performance operacional. La comparación se realiza para frentes de dimensiones 4.0 m x 4.0 m y 4.5 m x 4.5 m.

6.1.1 Labores de avance con sección de 4.0 m x 4.0 m

En el siguiente análisis se desarrollará una comparativa entre el SUPERFAM DOS y el EMULGRAN QHANA para labores de avance con sección de 4,0 m x 4,0 m.

En la siguiente tabla se representa los resultados labores de avance con sección de 4.0 m x 4.0 m.

Tabla 29

Indicadores de interés en labores de avance con sección de 4.0 m x 4.0 m

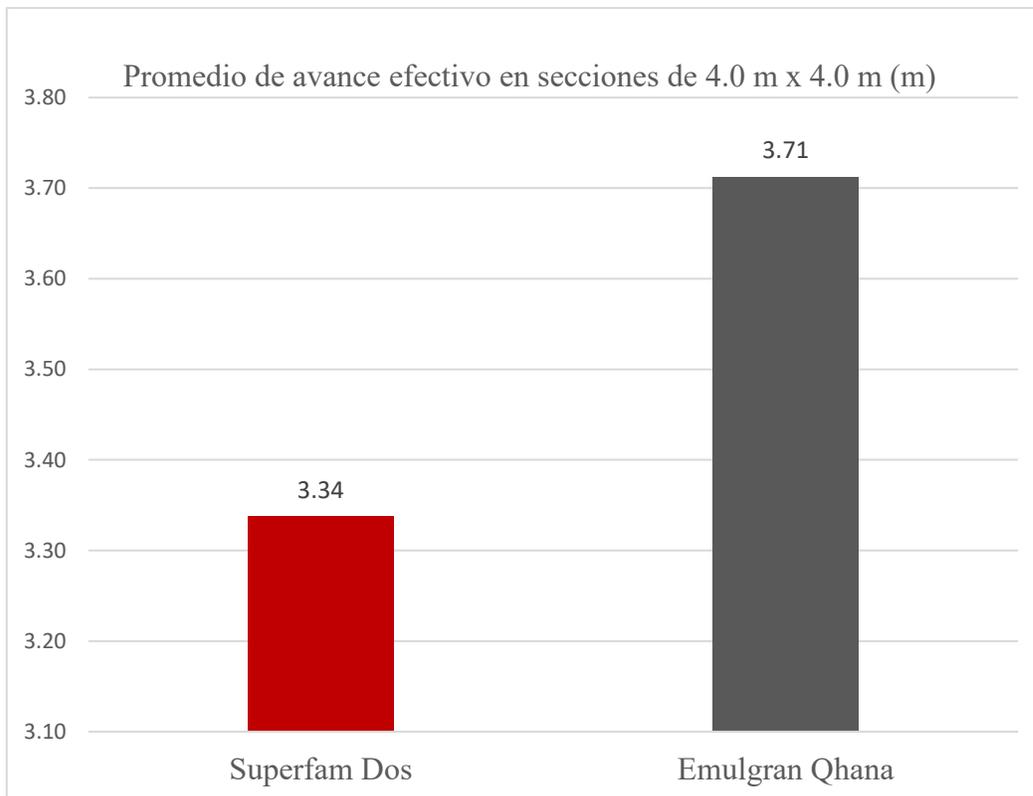
LABORES DE AVANCE DE 4.0 m x 4.0 m			
Indicadores de Interés	Unidad	SUPERFAM DOS	EMULGRAN QHANA
Avance efectivo	m	3.34	3.71
Sobre rotura	%	14.93	10.28
Factor de carga	kg/m ³	2.42	2.58
Tiempo de carguío	min/disp	57.25	44.25
Tiempo de reingreso	min/disp	60.00	30.00
Granulometría P (80)	cm	21.28	15.85
Factor de potencia	Kg/t	0.80	0.87
Factor de avance	Kg/m	41.10	46.25
Eficiencia de avance	%	86.28	95.88

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la tabla anterior, en la siguiente figura se ilustra de manera gráfica la comparación de los indicadores operativos entre el SUPERFAM DOS y el explosivo EMULGRAN QHANA en secciones de dimensión 4.0 m x 4.0 m.

Figura 16

Comparativo de avance efectivo en secciones de 4.0 m x 4.0 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

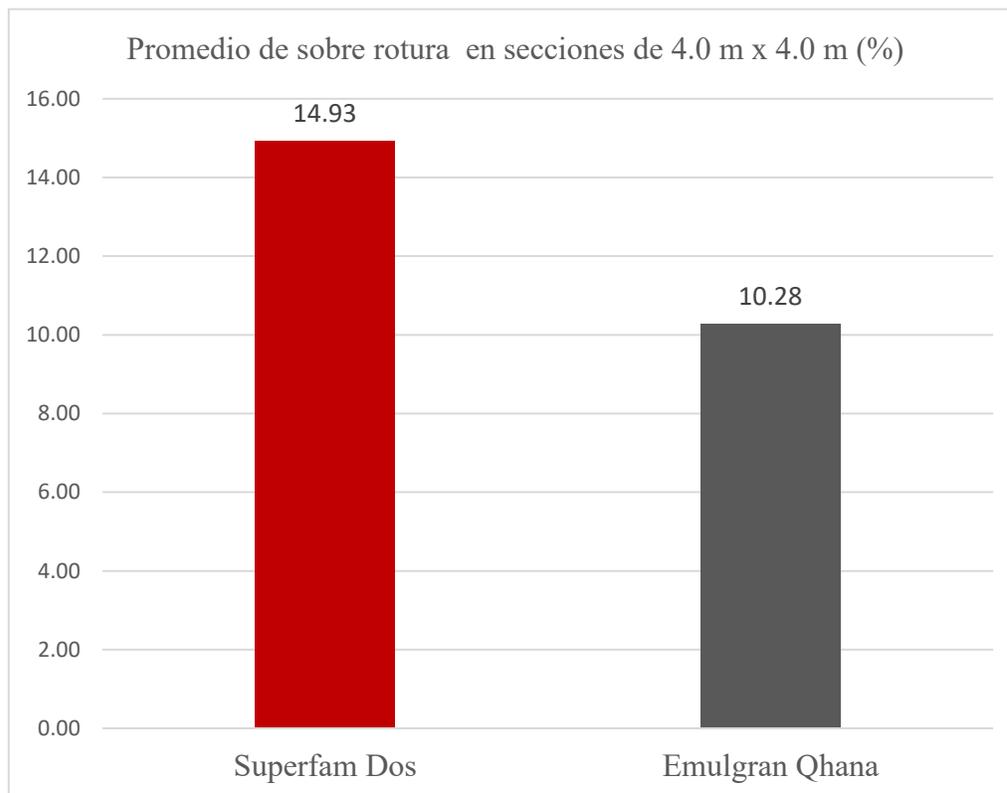
Se concluye que con el explosivo EMULGRAN QHANA se obtiene un mayor avance efectivo de 3,34 m a 3,71 m, obteniendo una mejora en campo de 37 cm, para estas secciones se tiene un plan mensual de avance de 120 m, establecido por la superintendencia de operaciones; entonces se concluye que haciendo uso de SUPERFAM DOS se llega a la meta mensual con 36 disparos, mientras que con EMULGRAN QHANA se ejecutarían solo 32

disparos, de esta manera se valida la optimización de avances con el uso de emulsión sensibilizada bombeable.

En la siguiente figura se representa la diferencia de sobre rotura obtenida con cada explosivo.

Figura 17

Comparativo del porcentaje de sobre rotura en secciones de 4.0 m x 4.0 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

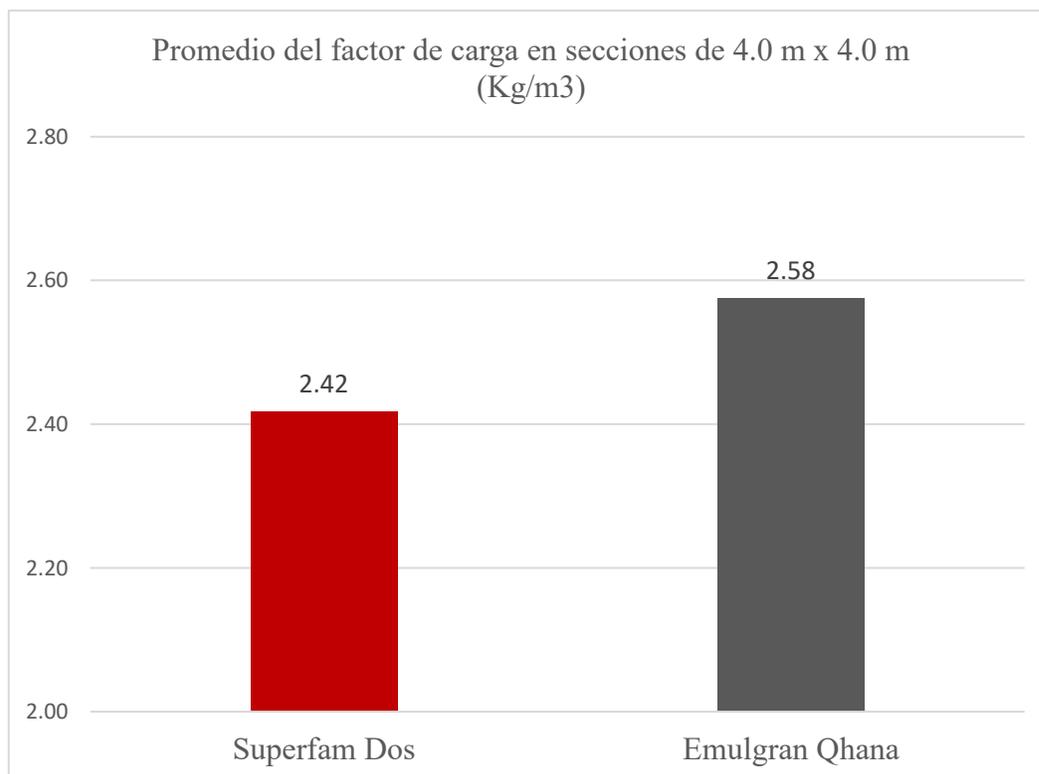
Se concluye que el porcentaje de sobre rotura obtenida con EMULGRAN QHANA es menor, con una reducción significativa de 14.93% a 10.28%, obteniendo una mejora en campo de 4.65%; considerando que el máximo permisible en la unidad es de 10% establecido por la Superintendencia de Operaciones. Mantenerse dentro del límite permisible con lleva a

tener labores perfiladas con menor uso de elementos de sostenimiento y menor tiempo en desate de labores.

Esta reducción fue posible debido a que en el diseño de carga en las coronas se realizó voladura controlada “diseño de columna con cañas”, se optó por esta técnica debido a la elevada presión de detonación del EMULGRAN QHANA, se aplicó un diseño de carga mixto para controlar la sobre rotura.

Figura 18

Comparativo de factor de carga en secciones de 4.0 m x 4.0 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

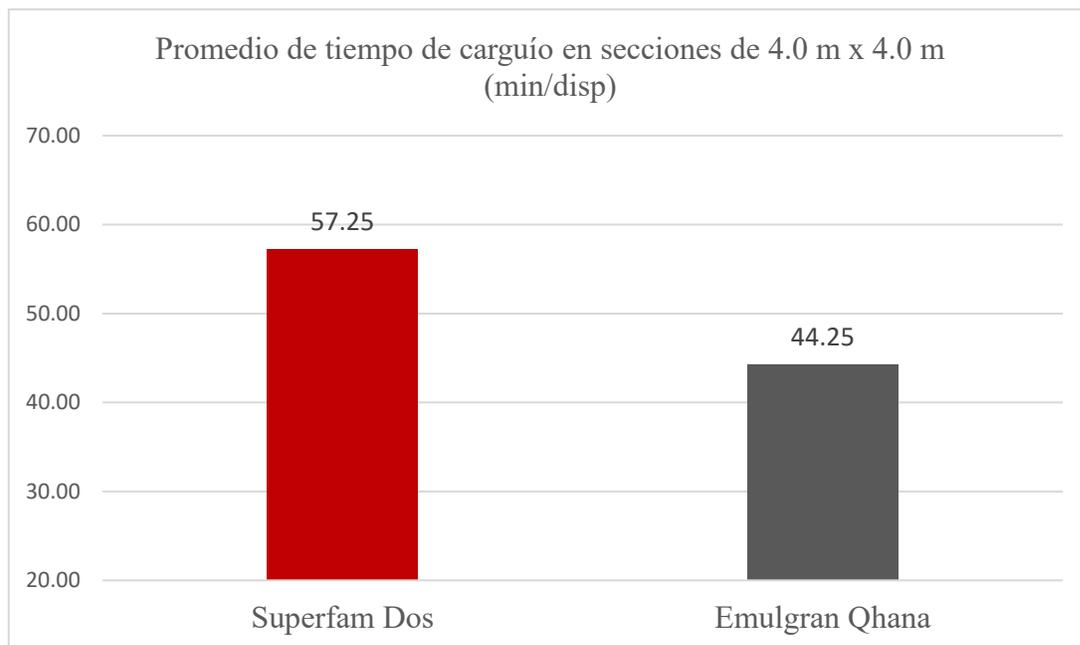
Fuente: Elaboración propia.

Se observa un incremento del factor de carga de $2.42 \frac{Kg}{m^3}$ a $2.58 \frac{Kg}{m^3}$, y se concluye que el uso de EMULGRAN QHANA implica mayor inversión de material explosivo, esto se

da debido a la mayor densidad del EMULGRAN QHANA ($1.12 \frac{gr}{cm^3}$) sobre la del SUPERFAM DOS ($0.8 \frac{gr}{cm^3}$) que ocupa las mismas dimensiones de taladro, si bien el indicador se ha visto incrementado debido a la densidad, el factor de carga para frentes está dentro de lo establecido por la Superintendencia de operaciones para secciones de 4.0 m x 4.0 m, entre $2.4 \frac{Kg}{m^3}$ a $2.7 \frac{Kg}{m^3}$.

Figura 19

Comparativo de tiempos de carguío en secciones de 4.0 m x 4.0 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa una disminución promedio considerable para el carguío de frentes de 4.0 m x 4.0 m, de $57.25 \frac{min}{disp}$ a $44.25 \frac{min}{disp}$, una mejora de 13 minutos, esto debido al diferente sistema de inyección de cada explosivo; mientras que para el carguío de SUPERFAM DOS,

se utilizó una bombona con inyección a presión tipo jetanol genérica, que ejecuta el carguío en un rango de presión de 60 PSI a 70 PSI.

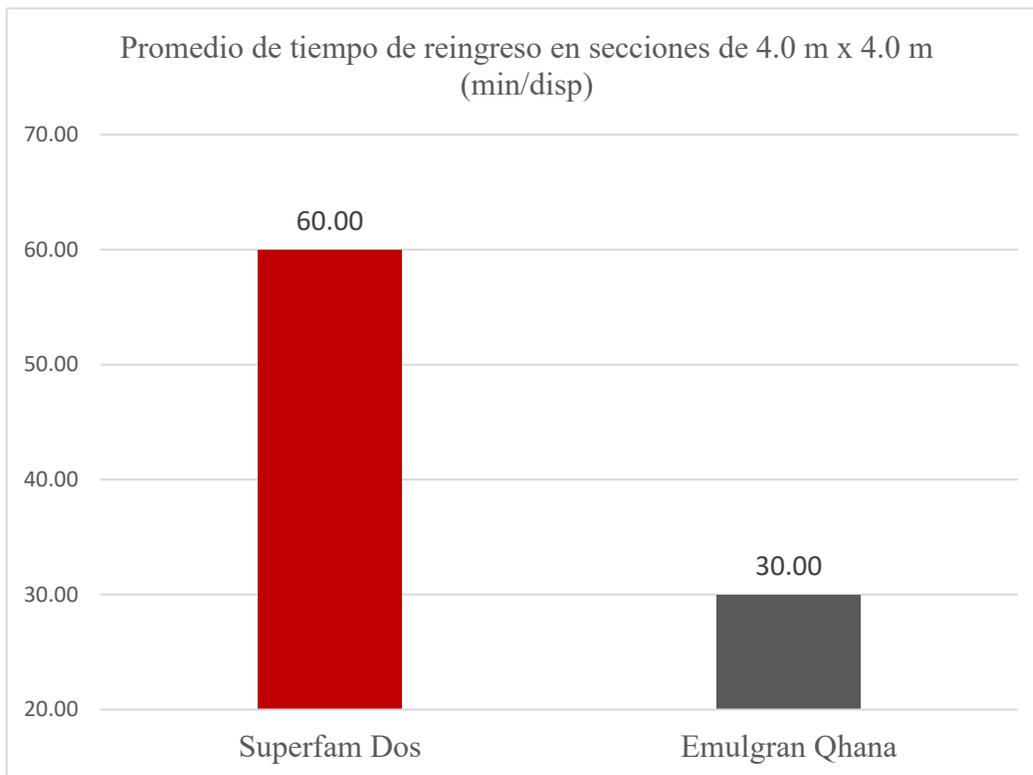
El EMULGRAN QHANA usa un sistema de inyección a presión desde un equipo Famejet, que viene a ser la bombona patentada por Famesa y fabricada para este tipo de emulsión sensibilizada, que ejecuta el carguío en un rango de presión de 70 PSI a 80 PSI.

Debido a la facilidad del transporte del sistema Famejet, montado a una camioneta, se hace uso solo de dos personas, uno que controla la inyección y presión del EMULGRAN QHANA, y otra persona que inyecta la emulsión a los taladros; también la presión de trabajo del EMULGRAN QHANA toma rol en la reducción del tiempo.

Tener los frentes listos para la hora de disparo con holgura de tiempo, genera una buena práctica de seguridad, evitando de esta manera incidentes y/o accidentes en el proceso de carguío, pérdidas durante la detonación del frente, ya que el personal operativo y el supervisor toman su tiempo para la verificación de cebado y amarres de los sistemas de iniciación.

Figura 20

Comparativo de tiempos de reingreso en secciones de 4.0 m x 4.0 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

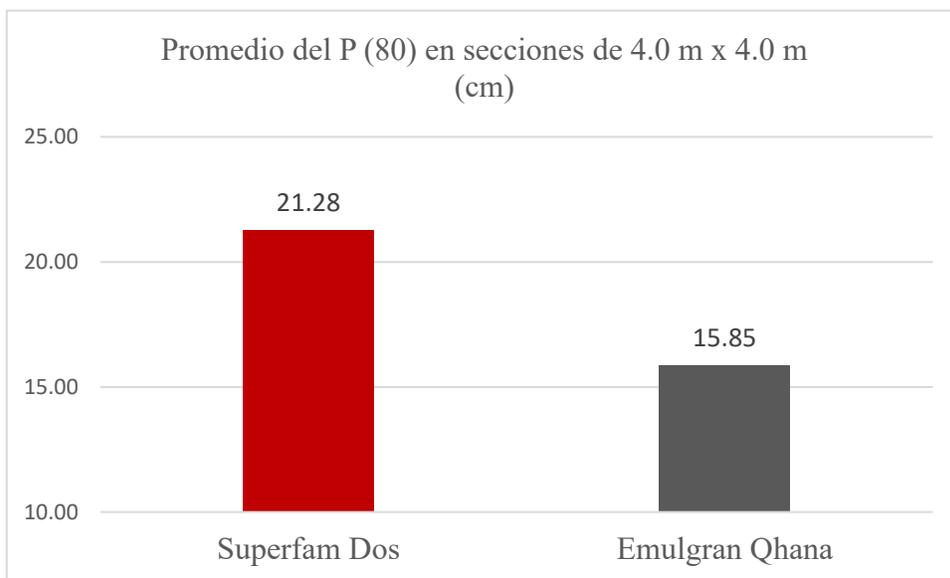
Se obtuvo reducción de 50% en los tiempos de reingreso a la labor post voladura, de 60 min para el SUPERFAM DOS a 30 min para el EMULGRAN QHANA, Esta diferencia de tiempo se debe a la emisión de gases que produce la detonación de estos explosivos.

Los gases emitidos por la detonación de SUPERFAM DOS, son de categoría 2, según la ficha técnica del proveedor y hoja MSDS, etiquetados como de emisión media, por tal motivo requieren mayor tiempo para su disipación en el aire, este tiempo es variable dependiendo de la zona del disparo y está sujeto a evaluación de los niveles de CO y NO₂, evaluación que se realiza in situ con un analizador de gases portátil.

Los gases emitidos por la detonación de EMULGRAN QHANA en la sección de 4.0 m x 4.0 m, son de categoría 1, según la ficha técnica del proveedor y hoja MSDS, clasificados como excelente, por tal motivo requiere menor tiempo para su disipación en el aire, estableciéndose un tiempo medio de 30 minutos, el cual estuvo sujeto a la evaluación de la atmosfera con el analizador de gases portátil, de esa forma se determinó el tiempo de reingreso menor, el repercute en los tiempos para retomar las operaciones de acarreo y seguridad ya que se tendrá una atmosfera limpia en menor tiempo.

Figura 21

Comparativo de P (80) en secciones de 4.0 m x 4.0 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

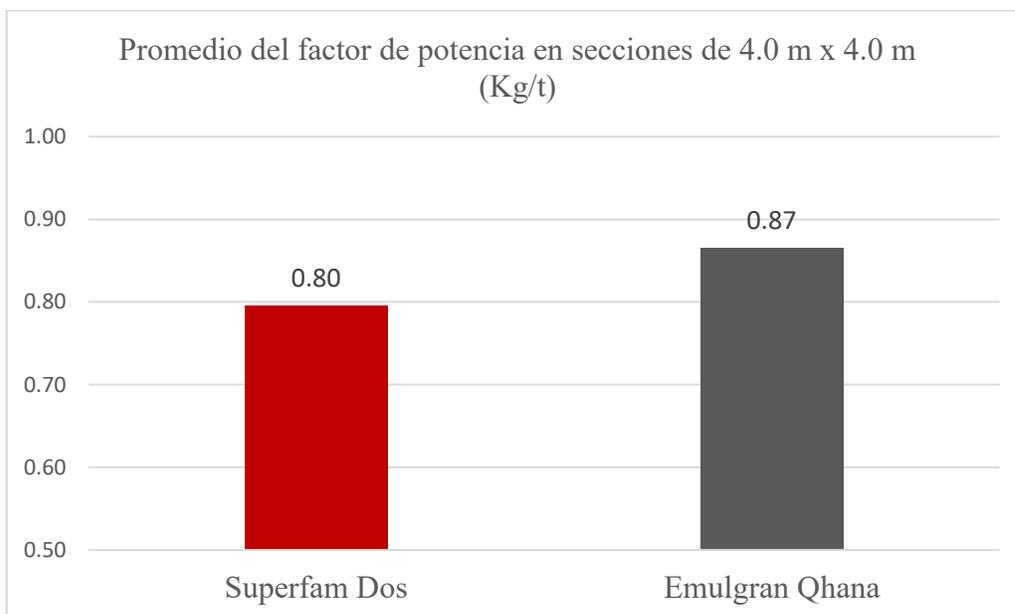
La granulometría representada por el percentil 80 de las muestras obtenidas post voladura, se ve disminuida de 21.28 cm obtenido por el uso de SUPERFAM DOS a 15.85 cm obtenido por el uso de EMULGRAN QHANA, con una reducción de 5.43 cm, la reducción obtenida se debe en gran parte a la presión de detonación que se libera por el uso

del EMULGRAN QHANA, esto se evidencia en la ficha técnica del producto, siendo la presión de detonación directamente proporcional a la velocidad de detonación.

La Superintendencia de Operaciones tiene establecido un P (80) promedio de 6” (15.24 cm), el cual es la granulometría operacional objetivo, ya que incide en los tiempos de carguío con Scoop, mejor eficiencia de carguío, cuidado de aceros de equipos de carguío.

Figura 22

Comparativo del factor de potencia en secciones de 4.0 m x 4.0 m.



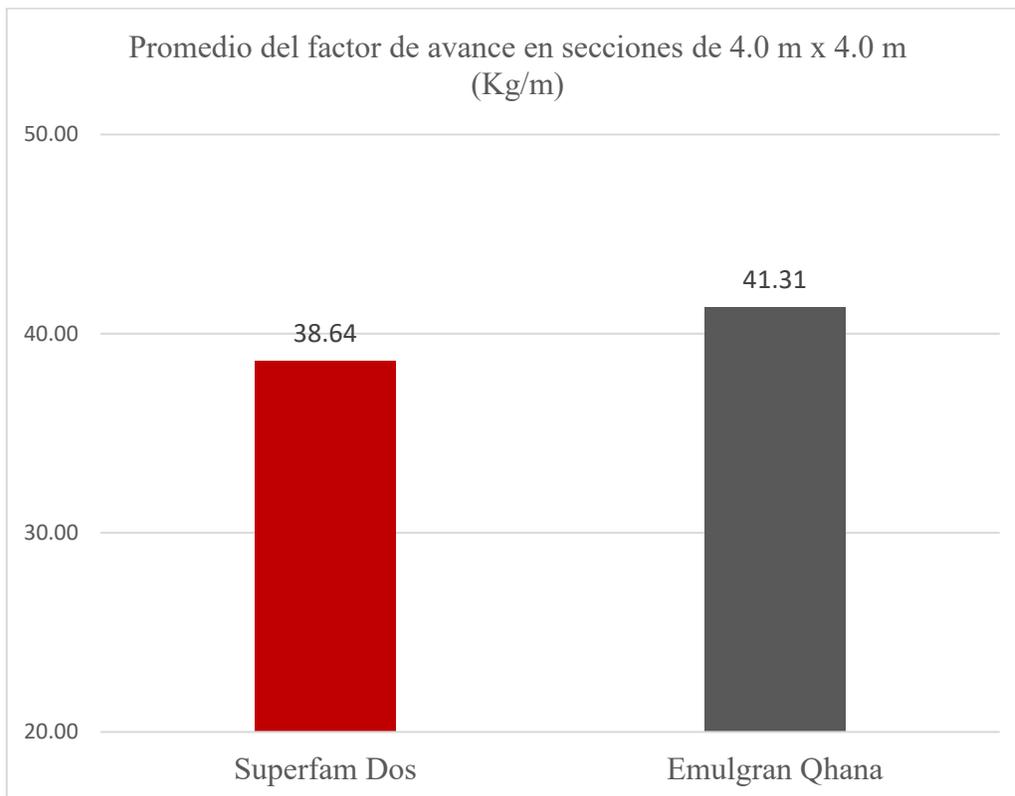
Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un incremento del factor de potencia de $0.80 \frac{Kg}{t}$ a $0.87 \frac{Kg}{t}$, y se concluye que el uso de EMULGRAN QHANA implica mayor inversión de material explosivo, esto se da debido a la mayor densidad del EMULGRAN QHANA ($1.12 \frac{gr}{cm^3}$) sobre la del SUPERFAM DOS ($0.8 \frac{gr}{cm^3}$) que ocupa las mismas dimensiones de taladro, si bien el

indicador se ha visto incrementado debido a la densidad, el factor de potencia para frentes está dentro de lo establecido por la Superintendencia de operaciones para secciones de 4.0 m x 4.0 m, entre $0.7 \frac{Kg}{t}$ a $0.9 \frac{Kg}{t}$.

Figura 23
Comparativo del factor de avance en secciones de 4.0 m x 4m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

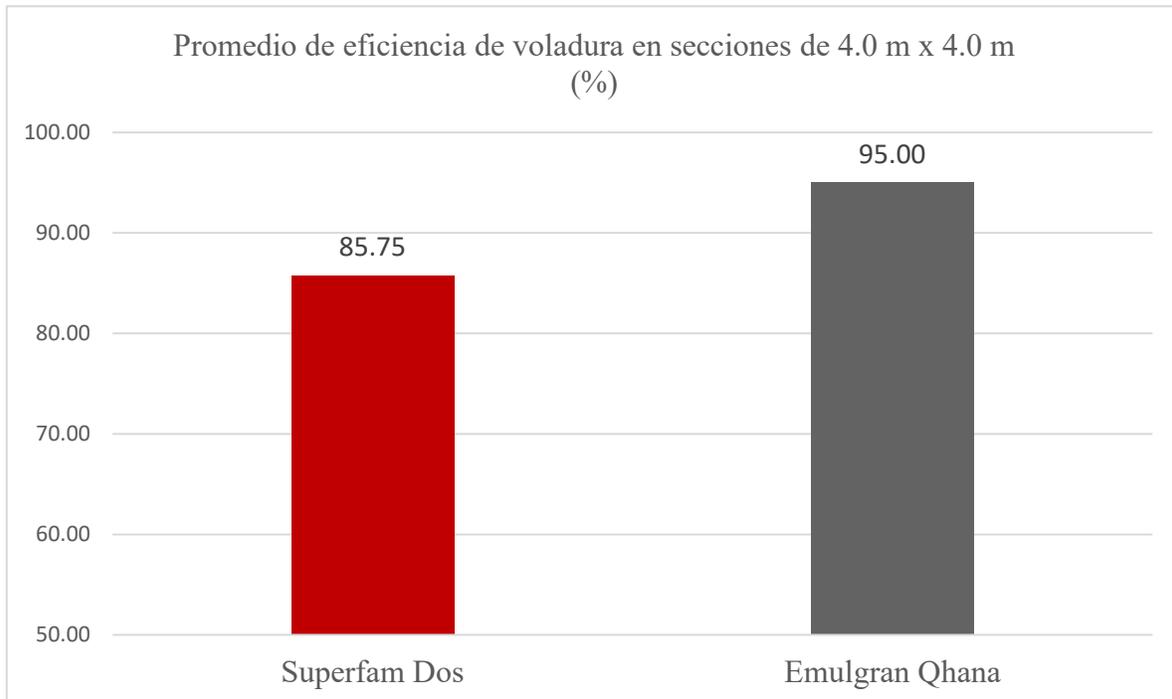
Fuente: Elaboración propia.

Se observa un incremento del factor de avance de $38.64 \frac{Kg}{m}$ a $41.31 \frac{Kg}{m}$, y se concluye que el uso de EMULGRAN QHANA implica mayor inversión de material explosivo para avanzar un metro en la sección, esto se da debido a la mayor densidad del EMULGRAN

QHANA ($1.12 \frac{gr}{cm^3}$) sobre la del SUPERFAM DOS ($0.8 \frac{gr}{cm^3}$) que ocupa las mismas dimensiones de taladro.

Figura 24

Comparativo de la eficiencia de voladura en secciones de 4.0 m x 4.0 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene una eficiencia mayor para el uso de EMULGRAN QHANA, esto debido al avance obtenido respecto al metraje perforado en ambos casos; fue una mejora de 85.75% a un 95%, se interpreta de este indicador, que los recursos utilizados en ambos casos, son mejor aprovechados en el caso de la voladura con EMULGRAN QHANA.

6.1.2 Labores de avance con sección de 4.5 m x 4.5 m

En el siguiente análisis se desarrollará una comparativa entre el SUPERFAM DOS y el EMULGRAN QHANA para labores de avance con sección de 4.5 m x 4.5 m.

En la siguiente tabla se representa los resultados para labores de avance con sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla 30
Comparativo de la eficiencia de voladura en secciones de 4.5 m x 4.5 m

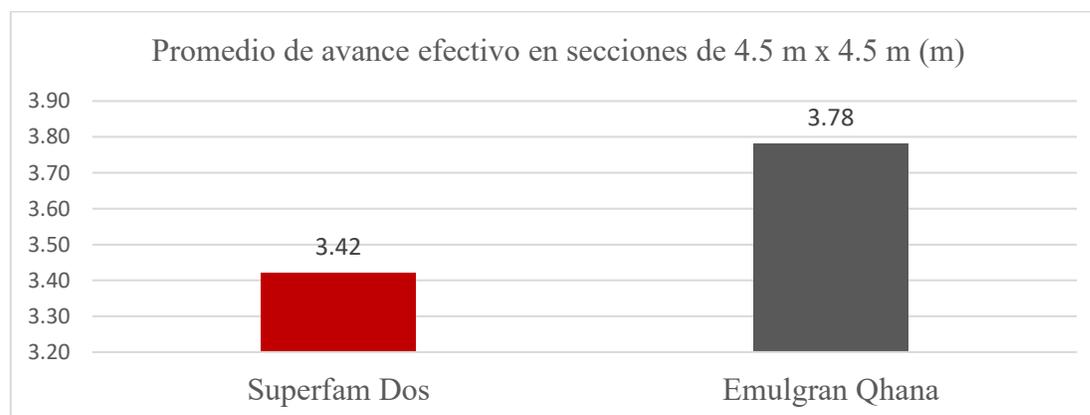
LABORES DE AVANCE DE 4.5 m x 4.5 m			
Indicadores de Interés	Unidad	SUPERFAM DOS	EMULGRAN QHANA
Avance efectivo	m	3.42	3.78
Sobre rotura	%	15.00	7.00
Factor de carga	kg/m ³	2.23	2.28
Tiempo de carguío	min/disp	61.6	48.00
Tiempo de reingreso	min/disp	60.00	30.00
Granulometría P (80)	cm	21.5	16.7
Factor de potencia	Kg/t	0.79	0.82
Factor de avance	Kg/m	45.13	46.19
Eficiencia de avance	%	87.7	97.00

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la tabla anterior, en la siguiente figura se ilustra de manera gráfica la comparación de los indicadores operativos entre el SUPERFAM DOS y el explosivo EMULGRAN QHANA en frentes de dimensión 4.5 m x 4.5 m.

Figura 25

Comparativo de avance efectivo en secciones de 4.5 m x 4.5 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

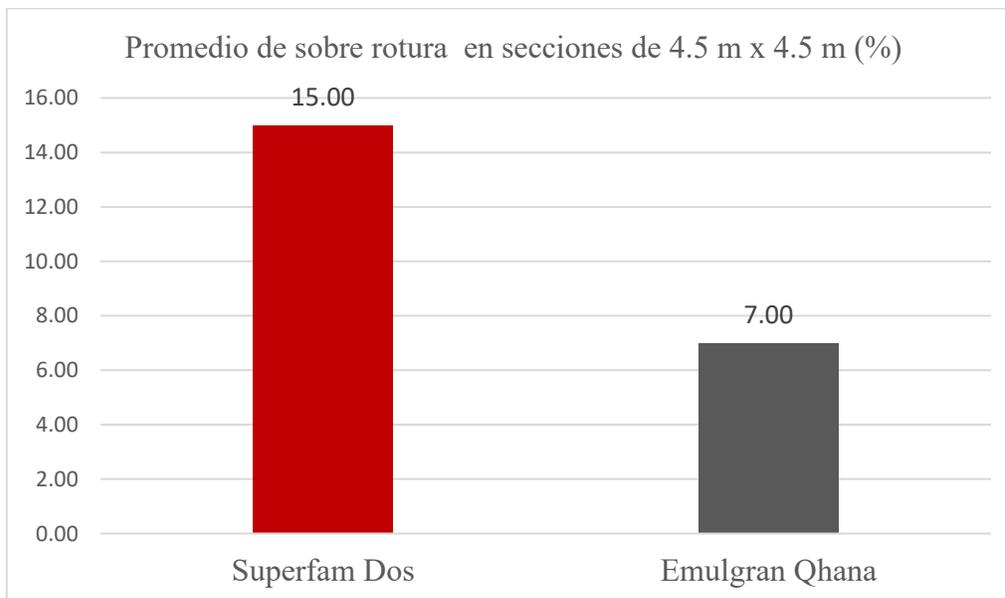
Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que con el explosivo EMULGRAN QHANA se obtiene un mayor avance efectivo de 3,42 m a 3,78 m, obteniendo una mejora en campo de 36 cm, para estas secciones se tiene un plan mensual de avance de 180 m, establecido por la superintendencia de operaciones; entonces se concluye que haciendo uso de SUPERFAM DOS se llega a la meta mensual con 53 disparos, mientras que con EMULGRAN QHANA se ejecutarían solo 48 disparos, de esta manera se valida la optimización de avances con el uso de emulsión sensibilizada bombeable.

En la siguiente figura se representa la diferencia de sobre rotura obtenida con cada explosivo.

Figura 26

Comparativo de sobre rotura en secciones de 4.5 m x 4.5 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

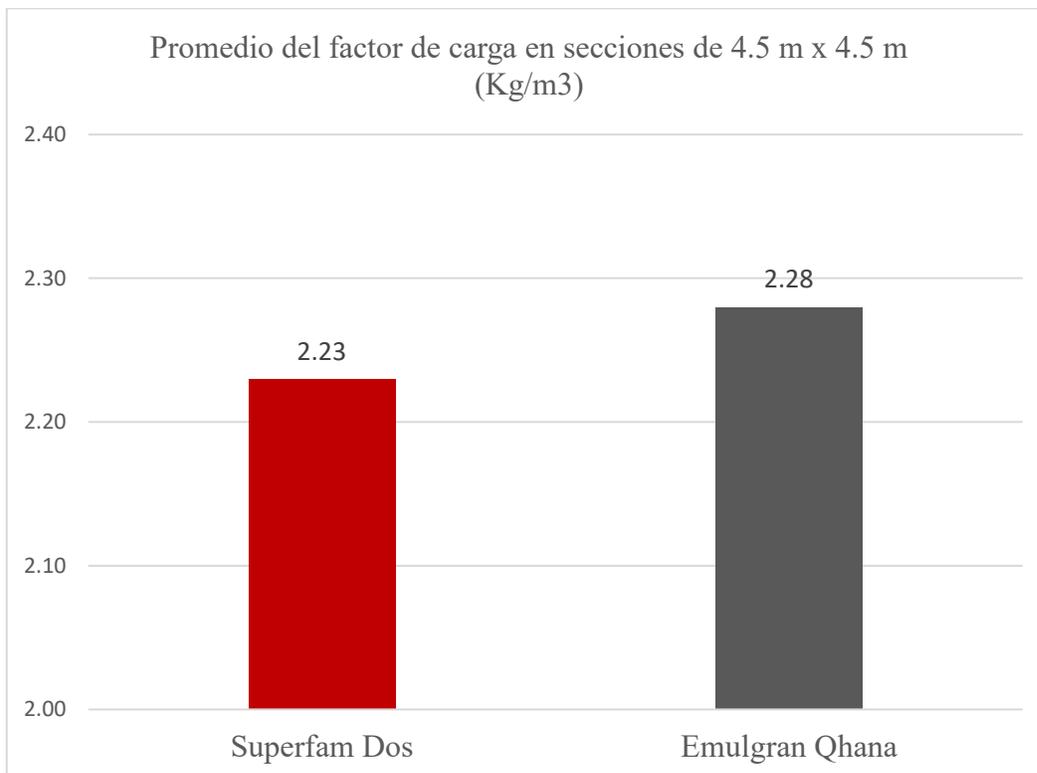
Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que el porcentaje de sobre rotura obtenida con EMULGRAN QHANA es menor, con una reducción significativa de 15.00% a 7.00%, obteniendo una mejora en campo de 8.00%; considerando que el máximo permisible en la unidad es de 10% establecido por la Superintendencia de Operaciones.

Mantenerse dentro del límite permisible con lleva a tener labores perfiladas con menor uso de elementos de sostenimiento y menor tiempo en desate de labores. Esta reducción fue posible debido a que en el diseño de carga en las coronas se realizó voladura controlada “diseño de columna con cañas”, se optó por esta técnica debido a la elevada presión de detonación del EMULGRAN QHANA, se aplicó un diseño de carga mixto para controlar la sobre rotura.

Figura 27

Comparativo de factor de carga en secciones de 4.5 m x 4.5 m



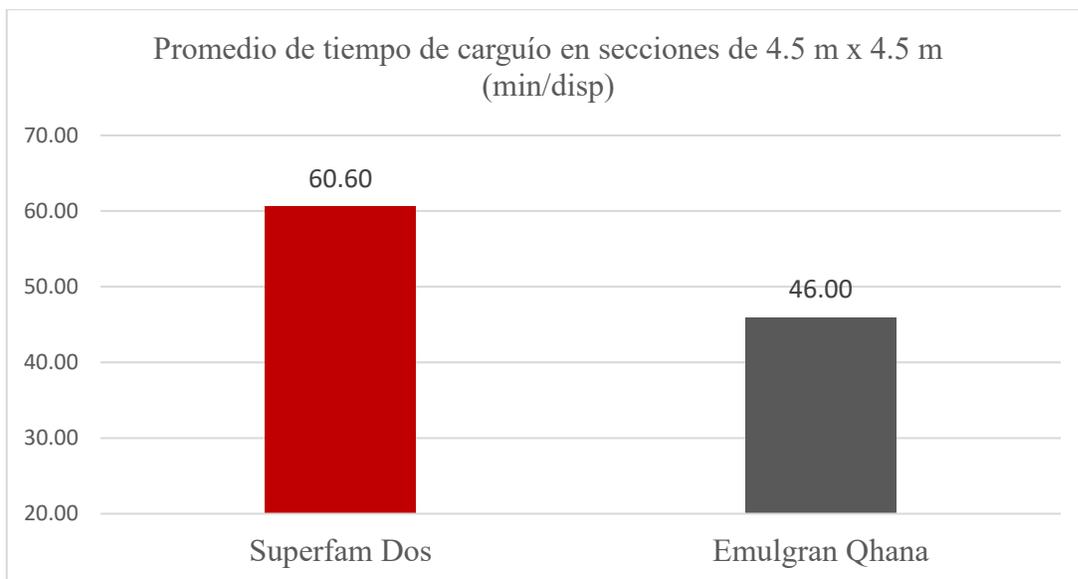
Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un incremento del factor de carga de $2.23 \frac{Kg}{m^3}$ a $2.28 \frac{Kg}{m^3}$, y se concluye que el uso de EMULGRAN QHANA implica mayor inversión de material explosivo, esto se da debido a la mayor densidad del EMULGRAN QHANA ($1.12 \frac{gr}{cm^3}$) sobre la del SUPERFAM DOS ($0.8 \frac{gr}{cm^3}$) que ocupa las mismas dimensiones de taladro, si bien el indicador se ha visto incrementado debido a la densidad, el factor de carga para frentes está dentro de lo establecido por la Superintendencia de operaciones para secciones de 4.5 m x 4.5 m, entre $2.2 \frac{Kg}{m^3}$ a $2.4 \frac{Kg}{m^3}$.

Figura 28

Comparativo de tiempos de carguío en secciones de 4.5 m x 4.5 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa una disminución promedio considerable para el carguío de frentes de 4.5 m x 4.0 m, de $61.60 \frac{\text{min}}{\text{disp}}$ a $46.00 \frac{\text{min}}{\text{disp}}$, una mejora de 15.6 minutos, esto debido al diferente sistema de inyección de cada explosivo; mientras que para el carguío de SUPERFAM DOS, se utilizó una bombona con inyección a presión tipo jetanol genérica, que ejecuta el carguío en un rango de presión de 60 PSI a 70 PSI.

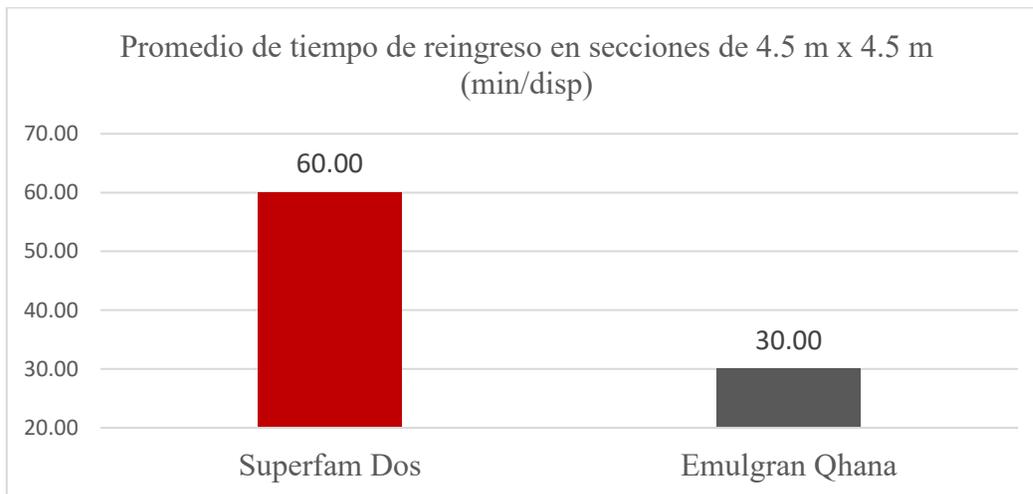
El EMULGRAN QHANA usa un sistema de inyección a presión desde un equipo Famejet, que viene a ser la bombona patentada por Famesa y fabricada para este tipo de emulsión sensibilizada, que ejecuta el carguío en un rango de presión de 70 PSI a 80 PSI.

Debido a la facilidad del transporte del sistema Famejet, montado a una camioneta, se hace uso solo de dos personas, uno que controla la inyección y presión del EMULGRAN QHANA, y otra persona que inyecta la emulsión a los taladros; también la presión de trabajo del EMULGRAN QHANA toma rol en la reducción del tiempo.

Tener los frentes listos para la hora de disparo con holgura de tiempo, genera una buena práctica de seguridad, evitando de esta manera incidentes y/o accidentes en el proceso de carguío, pérdidas durante la detonación del frente, ya que el personal operario y el supervisor toman su tiempo para la verificación de cebado y amarres de los sistemas de iniciación.

Figura 29

Comparativo de tiempos de reingreso en secciones de 4.5 m x 4.5 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo reducción de 50% en los tiempos de reingreso a la labor post voladura, de 60 min para el SUPERFAM DOS a 30 min para el EMULGRAN QHANA, Esta diferencia de tiempo se debe a la emisión de gases que produce la detonación de estos explosivos.

Los gases emitidos por la detonación de SUPERFAM DOS, son de categoría 2, según la ficha técnica del proveedor y hoja MSDS, etiquetados como de emisión media, por tal motivo requieren mayor tiempo para su disipación en el aire, este tiempo es variable dependiendo de la zona del disparo y está sujeto a evaluación de los niveles de CO y NO₂, evaluación que se realiza insitu con un analizador de gases portátil.

Los gases emitidos por la detonación de EMULGRAN QHANA en sección de 4.5m x 4.5m, son de categoría 1, según la ficha técnica del proveedor y hoja MSDS, etiquetados como de emisión excelente, por tal motivo requiere menor tiempo para su disipación en el aire, estableciéndose un tiempo medio de 30 minutos, el cual estuvo sujeto a la evaluación

de la atmosfera con el analizador de gases portátil, de esa forma se determinó el tiempo de reingreso menor, el cual incide en tiempos para retomar las operaciones de acarreo y seguridad ya que se tendrá una atmosfera limpia en menor tiempo.

Figura 30

Comparativo de P (80) en secciones de 4.5 m x 4.5 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

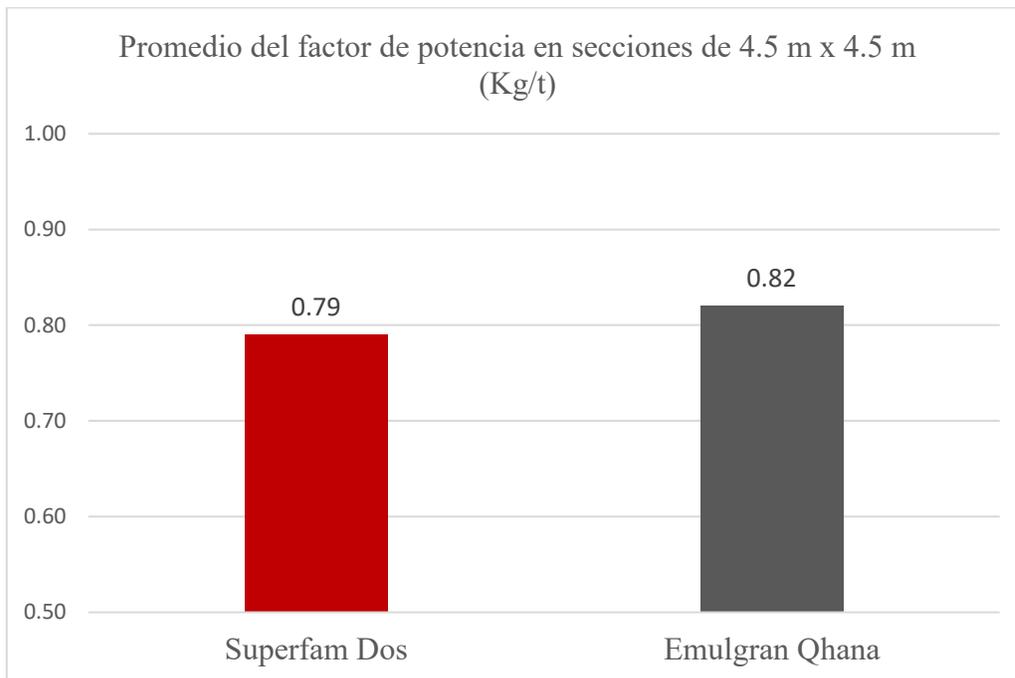
Fuente: Elaboración propia.

La granulometría representada por el percentil 80 de las muestras obtenidas post voladura, se ve disminuida de 21.5 cm obtenido por el uso de SUPERFAM DOS a 16.7 cm obtenido por el uso de EMULGRAN QHANA, con una reducción de 4.8 cm, la reducción obtenida se debe en gran parte a la presión de detonación que se libera por el uso del EMULGRAN QHANA, esto se evidencia en la ficha técnica del producto, siendo la presión de detonación directamente proporcional a la velocidad de detonación.

La Superintendencia de Operaciones tiene establecido un P (80) promedio de 6” (15.24 cm), el cual es la granulometría operacional objetivo, ya que incide en los tiempos de carguío con Scoop, mejor eficiencia de carguío, cuidado de aceros de equipos de carguío.

Figura 31

Comparativo del factor de potencia en secciones de 4.5 m x 4.5 m



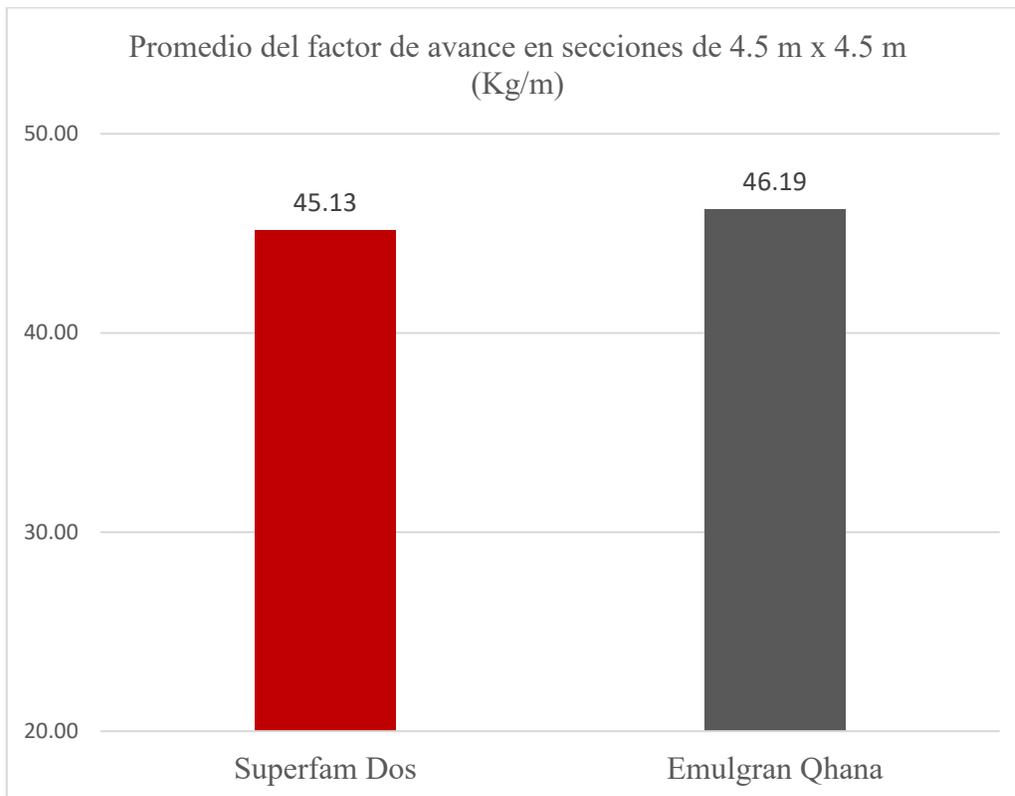
Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un incremento del factor de potencia de $0.79 \frac{Kg}{t}$ a $0.82 \frac{Kg}{t}$, y se concluye que el uso de EMULGRAN QHANA implica mayor inversión de material explosivo, esto se da debido a la mayor densidad del EMULGRAN QHANA ($1.12 \frac{gr}{cm^3}$) sobre la del SUPERFAM DOS ($0.8 \frac{gr}{cm^3}$) que ocupa las mismas dimensiones de taladro, si bien el indicador se ha visto incrementado debido a la densidad, el factor de potencia para frentes está dentro de lo establecido por la Superintendencia de operaciones para secciones de 4.5 m x 4.5 m, entre $0.75 \frac{Kg}{t}$ a $0.85 \frac{Kg}{t}$.

Figura 32

Comparativo del factor de avance en secciones de 4.5 m x 4.5 m



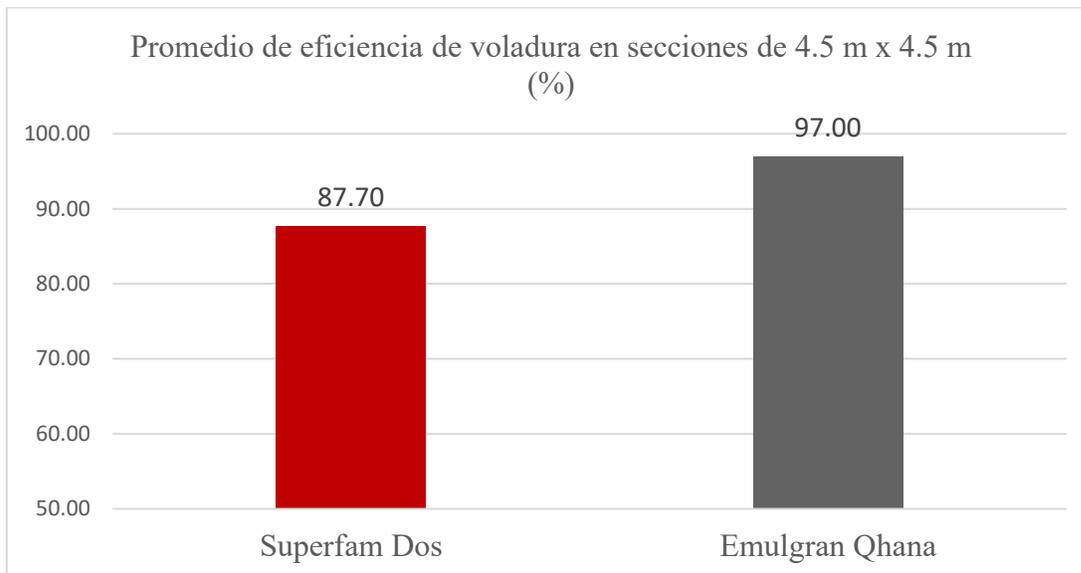
Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un incremento del factor de avance de $45.13 \frac{Kg}{t}$ a $46.19 \frac{Kg}{t}$, y se concluye que el uso de EMULGRAN QHANA implica mayor inversión de material explosivo para avanzar un metro en la sección, esto se da debido a la mayor densidad del EMULGRAN QHANA ($1.12 \frac{gr}{cm^3}$) sobre la del SUPERFAM DOS ($0.8 \frac{gr}{cm^3}$) que ocupa las mismas dimensiones de taladro.

Figura 33

Comparativo de la eficiencia de voladura en secciones de 4.5 m x 4.5 m



Nota. Los disparos fueron realizados en roca media de RMR 45-60.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene una eficiencia mayor para el uso de EMULGRAN QHANA, esto debido al avance obtenido respecto al metraje perforado en ambos casos; se interpreta de este indicador, que los recursos utilizados en ambos casos, son mejor aprovechados en el caso de la voladura con EMULGRAN QHANA.

6.2. Comparación económica de los costos calculados para ambos explosivos.

Obtenidos los costos de ejecución de labores 4.0 m x 4.0 m y 4.5 m x 4.5 m, se agruparán de acuerdo con el tipo de explosivo utilizado (SUPERFAM DOS y EMULGRAN QHANA), de esta manera obtendremos el resumen de los costos de ejecución y los beneficios económicos del uso de la emulsión sensibilizada EMULGRAN QHANA en un lapso anual.

Tabla 31

Costos totales y ahorros generados por el uso de EMULGRAN QHANA en secciones de dimensión 4.0 m x 4.0 m y 4.5 m x 4.5 m

DESARROLLOS HORIZONTALES 4.0 m x 4.0 m			
Parámetros	Unidad	SUPERFAM DOS	EMULGRAN QHANA
Programa mensual	m/mes	120.00	120.00
Expansión de la malla	%	0.00	0.00
Número Voladuras	und/mes	36.00	32.00
Diferencia	und/mes	4.00	
Resumen de costos y ahorros	Unidad	SUPERFAM DOS	EMULGRAN QHANA
Costo Perforación	USD/mes	28,992.60	25,771.20
Ahorro Perforación	USD/mes	3,221.40	
Costo Explosivos & Accesorios	USD/mes	5,288.49	6,812.54
Ahorro Explosivos	USD/mes	-1,524.05	
Costo Sostenimiento	USD/mes	7,040.00	6,160.00
Ahorros Sostenimiento	USD/mes	880.00	
Costo Extracción Material Adicional	USD/mes	862.23	574.82
Ahorros extracción	USD/mes	287.41	
Costo Transporte Material Adicional	USD/mes	1,714.97	1,143.31
Ahorros Transporte	USD/mes	571.66	
Costo total (4.0 m x 4.0 m)	USD/mes	43,898.29	40,461.87
Ahorro total (4.0 m x 4.0 m)	USD/mes	3,436.41	
DESARROLLOS HORIZONTALES 4.5 m x 4.5 m			
Parámetros	Unidad	SUPERFAM DOS	EMULGRAN QHANA
Programa mensual	m/mes	180.00	180.00
Expansión de la malla	%	0.00	0.00
Número Voladuras	und/mes	53.00	48.00
Diferencia	und/mes	5.00	
Resumen de costos y ahorros	Unidad	SUPERFAM DOS	EMULGRAN QHANA
Costo Perforación	USD/mes	47,561.67	43,074.72
Ahorro Perforación	USD/mes	4,486.95	
Costo Explosivos & Accesorios	USD/mes	9,082.61	10,593.23
Ahorro Explosivos	USD/mes	-1,510.61	
Costo Sostenimiento	USD/mes	11,880.00	10,560.00
Ahorros Sostenimiento	USD/mes	1,320.00	
Costo Extracción Material Adicional	USD/mes	1,636.89	763.88
Ahorros extracción	USD/mes	873.01	
Costo Transporte Material Adicional	USD/mes	2,681.22	1,251.24
Ahorros Transporte	USD/mes	1,429.98	
Costo total (4.5 m x 4.5 m)	USD/mes	72,842.39	66,243.06
Ahorro total (4.5 m x 4.5 m)	USD/mes	6,599.33	
AHORRO TOTAL ANUAL	USD/año	120,428.87	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

7.1.1 Conclusiones para el explosivo Superfam Dos

El explosivo SUPERFAM DOS esta compuesto por estar esferas o prills de Nitrato de Amonio grado ANFO con una absorción de petróleo como mínimo del 8% y densidad a aparente de 0.8 g/cm³, un combustible líquido y un colorante. Cabe mencionar que la composición de este elemento se realiza en equipos de alta precisión.

Se determinó los indicadores operativos de voladura subterránea, de acuerdo con los parámetros involucrados (número de taladros, densidad de roca, cantidad de explosivo, etc.). Esta información nos ayudó a reconocer los hitos que iba a tomar la investigación de acuerdo con los indicadores seleccionados.

En la ejecución de labores con SUPERFAM DOS mejoraron los indicadores que dependen de la cantidad de explosivo (factor de carga, factor de potencia y factor de avance). Esta información nos ayudó a reconocer cual es el explosivo con mejores indicadores de voladura.

Para las secciones de dimensión 4.0 m x 4.0 m, se obtuvo lo siguiente: avance efectivo de 3,34 m, porcentaje de sobre rotura obtenida 14.93%, factor de carga de 2.42 $\frac{Kg}{m^3}$, el tiempo de carguío de frentes de 4.0 m x 4.0 m, de 57.25 $\frac{min}{disp}$, tiempos de reingreso a la labor post voladura de 60 min, la granulometría representada por el percentil 80 de las muestras

obtenidas 21.28 cm, factor de potencia de $0.80 \frac{Kg}{t}$, factor de avance de $38.64 \frac{Kg}{m}$, eficiencia de voladura 85.75%.

Los costos de ejecución para secciones de dimensión 4.0 m x 4.0 m, de acuerdo con el plan mensual de avances, fueron de 43,898.29 \$/mes.

Para las secciones de dimensión 4.5 m x 4.5 m, se obtuvo lo siguiente: avance efectivo de 3,42 m, porcentaje de sobre rotura de 15%, factor de carga de $2.23 \frac{Kg}{m^3}$, tiempo de carguío de frentes $61.60 \frac{min}{disp}$, tiempos de reingreso a la labor post voladura 60 min, granulometría representada por el percentil 80 fue de 21.5 cm, factor de potencia de $0.79 \frac{Kg}{t}$, factor de avance de $45.13 \frac{Kg}{t}$, eficiencia de voladura 87.7%.

Los costos de ejecución para secciones de dimensión 4.5 m x 4.5 m, de acuerdo con el plan mensual de avances, fueron de 72,842.39 \$/mes.

7.1.2 Conclusiones para el explosivo Emulgran Qhana

El explosivo EMULGRAN QHANA está compuesto por nitrato amónico y nitrato sódico, el cual contiene un 14% al 20% de agua, un 4% de gasoil y de 1% a 2% de otros productos, debido a estas componentes tiene un costo mayor; proporciona facilidad para trabajar con densidades de 0,95 a 1,45 lo cual lo hace una alternativa eficiente por su gran resistencia al agua y energía disponible. Esta información nos ayudó a reconocer cada característica que presenta los dos explosivos para así poder evidenciar que explosivo mejoraría los indicadores de voladura.

Se realizó la comparación de los indicadores operativos de los explosivos, evidenciando un mejor performance en la ejecución de labores con EMULGRAN QHANA

ligado a los indicadores que no dependen de la cantidad de explosivo (avance efectivo, sobre rotura, tiempo de carguío, tiempo de reingreso, P80 y eficiencia de voladura).

Para las secciones de dimensión 4.0 m x 4.0 m, se obtuvo lo siguiente: avance efectivo de 3,71 m, porcentaje de sobre rotura obtenida 10.28 %, factor de carga de $2.58 \frac{Kg}{m^3}$, el tiempo de carguío de frentes de 4.0 m x 4.0 m, de $44.25 \frac{min}{disp}$, tiempos de reingreso a la labor post voladura de 30 min, la granulometría representada por el percentil 80 de las muestras obtenidas 15.85 cm, factor de potencia de $0.87 \frac{Kg}{t}$, factor de avance de $41.31 \frac{Kg}{m}$, eficiencia de voladura 95.00 %.

Los costos de ejecución para secciones de dimensión 4.0 m x 4.0 m, de acuerdo con el plan mensual de avances, fueron de 40,461.87 \$/mes.

Para las secciones de dimensión 4.5 m x 4.5 m, se obtuvo lo siguiente: avance efectivo de 3,78 m, porcentaje de sobre rotura de 7 %, factor de carga de $2.28 \frac{Kg}{m^3}$, tiempo de carguío de frentes $46 \frac{min}{disp}$, tiempos de reingreso a la labor post voladura 30 min, granulometría representada por el percentil 80 fue de 16.70 cm, factor de potencia de $0.82 \frac{Kg}{t}$, factor de avance de $46.19 \frac{Kg}{t}$, eficiencia de voladura 97.00 %.

Los costos de ejecución para secciones de dimensión 4.5 m x 4.5 m, de acuerdo con el plan mensual de avances, fueron de 66,243.06 \$/mes.

Esta investigación ayudo a concluir que se invierte más en material explosivo cuando se usa EMULGRAN QHANA, lo anunciado esta evidenciado por los indicadores ligados a la masa explosiva que se obtuvieron, pero se optimizan los indicadores de avance efectivo, sobre rotura, tiempo de carguío, tiempo de reingreso, P80 y eficiencia de voladura; los cuales incurren de forma positiva en los ahorros anuales obtenidos (120,428.87 \$), justificando de esta forma el uso de mayor masa explosiva.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar más estudios sobre los indicadores que están ligados a la cantidad de explosivo, puesto que, dependiendo de la densidad del tipo de explosivo, estos indicadores pueden reflejar un aumento, pero sus características técnicas traen mayores beneficios; sería mejor tratar con la energía que proporciona la masa explosiva.

También profundizar en el cambio de la malla de perforación, ya que se tiene un explosivo más eficiente y de características técnicas superiores, incurriría en el diseño actual planteado, generando más beneficios.

De los resultados de los indicadores para minería subterránea se recomienda trabajar en base a los indicadores históricos de la unidad minera en estudio, debido a que las realidades geológicas y operaciones son distintas entre unidades mineras.

De los resultados de la comparación de los explosivos para mejorar los indicadores en las empresas mineras subterráneas, se debe evaluar cada indicador y determinar en qué magnitud varió y si es aún válido, de acuerdo con el rango establecido por la Superintendencia de Operaciones Mina.

De los cálculos de los costos que conlleva la ejecución de los disparos con ambos explosivos, se recomienda detallar los costos unitarios y materiales involucrados de los costos en los que incurre la ejecución de una labor de avance.

Finalmente, al realizar la comparación económica de los costos obtenidos para ambos explosivos, se recomienda contabilizar de forma anual los ahorros generados, ya que estos reflejan el impacto positivo o negativo del uso de ambos explosivos.

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A. (2016). *Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el abra*. [Tesis de titulación, Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139156/Optimizacion-de-parametros-de-tronadura-en-funcion-de-explosivos-de-alta-energia.pdf?sequence=1>
- Arrio, A., y Eduardo, O. (2018). *Evaluación de la metodología Roger Holmberg para el diseño de túneles mineros*. <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/10184>
- Beraun, K. (2019). *Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336-Sociedad Minera El Brocal Colquijirca 2018*. Huancayo: Universidad continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7112>
- Berrospi, V. (2019). *Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A. Cerro de Pasco: UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN*. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1778/1/T026_47113814_T.pdf
- Díaz, G. (2019). *Optimización del avance lineal en las labores de exploración y desarrollo de la Unidad Minera Santa María - Compañía Minera Poderosa S.A. con la aplicación de los criterios fundamentales de la ingeniería de la voladura*.
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/629960/Diaz_BG.pdf?sequence=3 Lima: Universidad peruana de ciencias aplicadas.

EUDE. (09 de Setiembre de 2020). *¿Por qué es importante la minería en la economía?*

<https://www.eude.es/blog/mineria-sector-eude/>

Enaex stronger bonds (s.f) *Emulsiones Explosivos*.

Encartuchados.<https://www.enaex.com/pe/es/emultex-cn-2/>

FAMESA. (2019). *AGENTES DE VOLADURA*. Lima. <http://www.famesa.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/FT-45.-Superfam-Dos.pdf>

Hernández, E. (2019). *Estudio comparativo de la sobre-excavación en desarrollos horizontales con ANFO versus desarrollos realizados con emulsión en la mina esmeralda, división el teniente, codelco chile*. [Tesis de titulación, Universidad Técnica Federico Santa Maria]. Repositorio Digital USM.

Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Perú: País Minero*.

http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159

PennState College of Earth and Mineral Sciences (s.f). *Patterns for Drift Rounds*.

<https://www.e-education.psu.edu/geog000/node/871>

Parra, G. C. (2018). *Reducción de la carga explosiva con el uso del explosivo emulnor, en la corona de labores de desarrollo para optimizar los costos de voladura en CIA minera Macdesa*. Arequipa: Universidad nacional de San Agustin de Arequipa.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7730/MIparragc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Robles, R., y Foladori, G. (2019). Una revisión histórica de la automatización de la minería en México. *50*(197).

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362019000200157

Torres, R. (2019). *Optimización operacional en coladura realizando sustitución de explosivos Exadit por Emulex en la unidad de Parcoy compañía consorcio Minero Horizonte*. Moquegua: Universidad Nacional de Moquegua.

http://200.48.160.221:8080/bitstream/handle/UNAM/86/T095_71408401_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CAPITULO 9

ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica del explosivo EMULGRAN QHANA.

EMULGRAN® QHANA

Descripción y composición

El EMULGRAN® QHANA es un agente de voladura a granel a base de una emulsión del tipo agua en aceite, con componentes sensibilizantes que le permiten obtener una alta velocidad de detonación y presión de detonación, es seguro, resistente al agua y proporciona una mejora en los avances y en los volúmenes de roca fragmentada, teniendo además una buena calidad de gases de voladura.

Usos

El EMULGRAN® QHANA se utiliza en las mismas condiciones que cualquier agente de voladura tipo Anfo (minería subterránea y obras civiles) así también donde exista presencia de agua y donde las condiciones de ventilación no permitan el uso del Anfo.

El EMULGRAN® QHANA presenta las siguientes ventajas:

· Al cargar los taladros, las columnas explosivas se acoplan por completo, desarrollando con dicha condición, toda su energía y transfiriéndola al interior del taladro.

· Por su alto poder rompedor hace necesario ampliar las plantillas de perforación y como resultado se tiene una reducción de los costos de voladura.

· Es un agente de voladura muy seguro puesto que no es sensible al detonador N° 8 y debe ser iniciado por una prima conformada por un cebo de Emulnor de un peso concordante con el diámetro y peso de las columnas explosivas usadas y con un detonador Fanel.

El carguío del EMULGRAN® QHANA en los taladros se realiza con las unidades de bombeo especialmente diseñadas sobre una unidad móvil. Las unidades bombeables "FAMEJET" son cargadores de emulsión, móviles, mecanizados, compactos accionados neumáticamente o eléctricamente, fácilmente transportable que permite alimentar en forma eficiente y continua a los taladros con caudales de 10 kg/min a 25 kg/min dependiendo de las diferentes secciones de voladura que existe en la mina.

Características Técnicas

	Unidad	EMULGRAN® QHANA
Densidad relativa	g/cm ³	1,12 ± 0,05
Viscosidad a temperatura ambiente (*)	cP	Min. 8 000
Velocidad de detonación (**)	m/s	5 200 ± 300
Presión de detonación	kbar	76
Volumen normal de gases	L/kg	984
Potencia relativa en peso (***)	%	73
Potencia relativa en volumen (***)	%	120
Energía	kcal/kg	856
Resistencia al agua	---	Excelente
Diámetro crítico	mm	27
Categoría de humos	---	Primera
Temperatura de trabajo	(°C)	5°C a 50°C

(*) Medido con BROKFIELD HA DVII A 50 RPM.

(**) Velocidad de detonación en medio confinado de 2'.

(***) Potencia relativa referida al ANFO, con potencia convencional de 100.

Presentación

	Material de caja	Capacidad de caja	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
EMULGRAN® QHANA	Cartón	1 Bolsa	20,0	21,5	65,5 x 30,8 x 23,5

Transporte

Clase : 1

División : 1.5

N° ONU : 0332



Fuente: Catálogo de productos comerciales Famesa Explosivos S.A.C 2022.

Anexo B. Hoja de seguridad del explosivo EMULGRAN QHANA.



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: EMULGRAN

MS-GC-029/ES
Rev. 07
27/11/2020

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA				
Nombre Comercial del Producto: EMULGRAN 300 ; EMULGRAN 600				
Denominación Genérica SUCAMEC: EMULSIÓN O HIDROGEL ENCARTUCHADA				
Nombre de la Compañía:	FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.			
Dirección:	Km 28 Autopista Ancón - Puente Piedra			
Ciudad:	Lima			
Código Postal:	Lima 22			
Teléfono de Emergencia:	(+51 1) 613-9850 -- (+51 1) 613-9800 anexo 100			
E-mail:	famesa@famesa.com.pe			
SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS				
Marca en Etiqueta	Clase	Nº UN		
	1.1 D	0241		
Riesgos Potenciales Para la Salud				
El EMULGRAN (Emulsión Encartuchada), no representa riesgo a la integridad física cuando se manipula de acuerdo al reglamento vigente. Una detonación accidental puede causar laceraciones, perforaciones y otros daños traumáticos, inclusive fatales. La combustión del material puede producir vapores tóxicos.				
Por inhalación	No, bajo condiciones normales de manipuleo.			
Por la Piel	No, bajo condiciones normales de manipuleo. Eventualmente puede causar irritación al contacto con el contenido.			
Por los Ojos	No, bajo condiciones normales de manipuleo.			
Por Ingestión	Ninguna bajo una correcta manipulación. La ingestión premeditada causa desordenes en el sistema gastrointestinal, irritación, cianosis, náuseas, vómitos.			
Riesgos Especiales				
Fuego y Explosión	Si se expone directamente al fuego ardera vigorosamente y puede llegar a explotar en ciertas condiciones. En caso eventual de explosión, es inminente una detonación en masa.			
Detonación	Ningún riesgo de una detonación espontanea.			
SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES				
Naturaleza Química				
Componentes de Riesgo	PEL	TLV	Nº CAS	Nº UN
Nitrato de Amonio	No establecido	No establecido	6484-52-2	1942
Nitrato de Sodio	No establecido	No establecido	7631-99-4	1498
Aluminio	15 mg/m ³	10 mg/m ³ (Polvo)	7429-90-5	1396

Fuente: Catálogo de productos comerciales Famesa Explosivos S.A.C 2022.



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: EMULGRAN

MS-GC-029/ES
Rev. 07
27/11/2020

Aceite Mineral	No establecido	No establecido	-----	-----
Microesferas	No establecido	No establecido	66402-68-4	-----
CAS : Chemical Abstrac Service PEL : Permissible Exposure Limit (Límite de Exposición Permissible) TLV : Threshold Limit Value (Valor Límite Tolerable)				
SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS				
Contacto con ojos	En el caso que por alguna razón eventual, el contenido del producto haga contacto con los ojos, levantar con cuidado los párpados y dejar fluir agua limpia a baja presión por lo menos 15 minutos. Luego proporcione la inmediata atención médica.			
Contacto con piel	Lavar la piel con jabón y abundante agua, remover todo el contaminante de la ropa y zapatos. Si la irritación de la persiste llamar al médico.			
Ingestión	En caso eventual que la masa explosiva sea ingerida, NO INDUCIR AL VOMITO y dar atención médica.			
Inhalación	Si los gases de la detonación son inhalados, movilizar el accidentado a un lugar de aire fresco. Proporcione respiración artificial si es necesario. Si la respiración es dificultosa, proporcione oxígeno. Llame inmediatamente al médico.			
SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS				
Medio de Extinción	Cuando el fuego está declarado no intentar extinguirlo.			
Procedimiento en caso de fuego	Despeje el área y evacue al personal a un lugar seguro. Notifique a las autoridades de acuerdo con los procedimientos de emergencia. Solo el personal entrenado en emergencia se hará cargo de la situación. El material en combustión puede explotar y producir gases tóxicos.			
SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL				
Precauciones Personales	Revisar los riesgos de fuego y explosión, tomar las precauciones normales de seguridad. Solamente personal entrenado y autorizado deberá actuar en la emergencia.			
Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente	El personal a cargo de la emergencia deberá disponer el recojo inmediato del material derramado. No permitir fuego abierto cerca del lugar del derrame. Prevenir que la sustancia contamine el suelo, cuerpos de agua y aguas de drenaje. En caso de contaminación de agua (ríos o canalizaciones), informar a las autoridades competentes. Idéntico procedimiento se aplica a los vertidos al mar.			
Método de eliminación de desechos	La disposición de residuos debe cumplir las regulaciones locales de la autoridad competente.			
Método de limpieza	Recoger los cartuchos dispersados a mano: si se ha derramado sustancia explosiva recogerla con herramienta adecuada. No usar nunca objetos metálicos ni ninguna herramienta que pueda producir chispas. Poner el producto en envases marcados y sellarlos. El material recogido deberá ser manejado por personal calificado de acuerdo con la legislación en vigente.			
SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO				
Precauciones para el manipuleo y uso seguro	El manipuleo de este producto deberá estar a cargo del personal capacitado y autorizado en el manejo del uso del explosivo. Por ningún motivo intentar desarmar, seccionar o extraer el contenido del producto. Antes de ingerir sus alimentos deberá efectuarse una adecuada higiene personal.			
Precauciones para el almacenamiento	El EMULGRAN se almacenará solamente con productos compatibles, de acuerdo a los reglamentos locales y estatales. No almacenar junto con sustancias químicas corrosivas, volátiles, combustibles, ácidos y bases, fuentes de calor ni elementos metálicos. El polvorín destinado para almacenar debe cumplir con todos los requisitos establecidos por el reglamento vigente. El almacén debe tener un ambiente seco, fresco, limpio ventilado y con descarga eléctrica a tierra. El polvorín debe estar inspeccionado permanentemente por personal autorizado y cumplir con los reglamentos vigentes.			



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: EMULGRAN

MS-GC-029/ES
Rev. 07
27/11/2020

SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL			
Medidas para controlar la posibilidad de exposición	La vestimenta debe ser apropiada de acuerdo a reglamentos vigentes, por ejemplo de algodón para evitar la acumulación de cargas estáticas. Evitar respirar los gases de la detonación.		
Equipos de Protección Personal			
Protección a la vista	Se recomienda el uso de lentes de seguridad con protección lateral.		
Protección respiratoria	No requerida bajo las condiciones normales de manipuleo.		
Otras precauciones requeridas	La ropa debe cambiarse si se encuentra contaminada, se recomienda el uso de zapatos de seguridad.		
SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS			
Estado Físico	Masa viscosa	Punto de Fusión	No Aplicable
Densidad	1,25 g/cm ³ (EMULGRAN 300) 1,28 g/cm ³ (EMULGRAN 600)	Temperatura de auto ignición	No Aplicable
Apariencia / Olor	Masa pastosa semisólida en una envoltura plástica / No tiene olor	Punto de explosión	No Aplicable
Solubilidad en agua	Muy poca. Casi insoluble.	Punto de inflamación	No Aplicable
SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD			
Estabilidad Química	Es estable bajo condiciones normales. Puede explotar cuando es sometido a fuego directo, impacto supersónico de algún cuerpo contundente, especialmente cuando está confinado y presente en grandes cantidades.		
Condiciones a Evitar	Mantener alejado de alguna fuente directa de calor. Evitar el fuego, impacto, fricción y chispa.		
Materiales Incompatibles	Sustancias químicas corrosivas, volátiles, combustibles, ácidos y bases.		
Riesgo de Descomposición	Ninguna mientras se cumplan con los requisitos de manipulación, transporte, almacenaje y uso recomendados.		
Riesgo de Reacciones Peligrosas	Ningún riesgo de reacción espontánea.		
SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA			
Efectos de Sobre Exposición			
Los productos por descomposición de la detonación pueden ser tóxicos.			
Por inhalación	Puede ser irritante a las membranas mucosas de las vías del tracto respiratorio.		
Por la Piel	Por contacto prolongado y repetitivo con el contenido puede causar ligera irritación de la piel.		
Por los Ojos	No, bajo condiciones normales de manipuleo. Si por alguna razón la masa explosiva entra en contacto con los ojos produce irritación.		
Por Ingestión	Ninguna bajo una correcta manipulación. La ingestión casual de la masa explosiva causa desordenes en el sistema gastrointestinal.		
Síntomas de Sobre Exposición			
Ninguna sintomatología cuando se respetan los procedimientos autorizados de almacenamiento, manipuleo y uso.			
Precauciones de Seguridad			
Evitar la exposición a los gases de la detonación.			



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: EMULGRAN

MS-GC-029/ES
Rev. 07
27/11/2020

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA			
Ecotoxicidad	No presenta problema ecológico, si se realiza una correcta disposición de los desechos.		
Persistencia / Degradabilidad	Las Emulsiones Encartuchadas son fácilmente degradables.		
Bioacumulación	No se vaticina bioacumulación.		
Efectos sobre el medio ambiente	No provoca daños al medio ambiente por ser una emulsión encartuchada.		
SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN			
Procedimiento de eliminación del producto en los residuos	Se debe cumplir con las regulaciones locales. Si el producto se convierte en residuos deberá revisarse los requisitos de desecho con un especialista de la Ley aplicable sobre Medio Ambiente, antes de disponer cualquier material explosivo.		
Eliminación de envases / embalajes contaminados	Quemar en forma controlada siguiendo estrictamente los procedimientos.		
SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE			
Nº de Clase de riesgo	Nº de Identificación UN	Tipo de Explosivo	Grupo de Embalaje
1.1 D	0241	E	II
SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA			
Normas Internacionales Aplicables		Normas Nacionales Aplicables	
Ley de Transporte de Mercaderías Peligrosas Perú		Reglamento de Control de Explosivos de Uso Civil – Perú (SUCAMEC)	
SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES			
<p>Esta información ha sido preparada de acuerdo a la legislación vigente, y ofrecida como guía de manipulación del producto ofrecido, pero el fabricante no otorga garantía alguna expresa o implícita con respecto a esta información. El fabricante no asume responsabilidad directa, accidental o consecuente de daños resultantes del uso del producto mencionado en este documento.</p> <p>Los explosivos deteriorados así como los desperdicios generados durante su manipuleo y uso, deberán ser destruidos por personal capacitado y autorizado.</p> <p>En caso de ser necesaria alguna información adicional, a través del teléfono de emergencia de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. se le brindará la atención conveniente.</p>			

Fuente: Catálogo de productos comerciales Famesa Explosivos S.A.C 2022.

Anexo C. Ficha técnica de explosivo SUPERFAM DOS.



SUPERFAM DOS®

ANFO

Descripción y composición

El SUPERFAM DOS® es un agente explosivo granular compuesto con Nitrato de Amonio en prills grado ANFO, un combustible líquido y un colorante. La mezcla se realiza en equipos modernos de alta precisión que sumados a la alta calidad de los componentes, nos permite producir un agente de voladura de óptima calidad.

El Nitrato de Amonio con el cual se fabrica el SUPERFAM DOS® presenta una alta capacidad de retención de petróleo, con lo cual obtenemos un producto más estable, de manera que no migre el combustible después de un prolongado tiempo de fabricación.

Usos

El SUPERFAM DOS® se utiliza principalmente en minería superficial como también en minería subterránea, obras civiles y donde el tipo de roca sea blanda o semidura.

El SUPERFAM DOS® es recomendable utilizarlo en labores donde exista una buena ventilación y ausencia de afloramiento de agua, en minería superficial, minería subterránea, obras civiles y trabajos de tunelería.

Cuando se usa en taladros de diámetros convencionales en minería subterránea, con el propósito de optimizar su rendimiento recomendamos iniciarlo con Dinamita tipo Semigelatina® ó Gelatina® ó Emulsiones, tipo Emulnor® 3000; ambas fabricadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. para diámetros mayores, se debe emplear cebos de alta densidad tipo BOOSTER HDP.

Características técnicas

		SUPERFAM DOS®
Densidad aparente (g/cm³)		0,80 ± 0,05
Velocidad de detonación (m/s) (*)		3 000 ± 300
Energía teórica	Por peso (cal/g)	932
	Por volumen (cal/cm³)	746
Energía relativa	Por peso (%)	100
	Por volumen (%)	100
Presión de detonación (kbar)		51

* Confinado en tubo de 2 pulgadas de diámetro.

Presentación

Se presenta envasado en doble bolsa: la bolsa interior es de polietileno con características impermeables, mientras que la bolsa exterior es de polipropileno, material resistente al manipuleo y almacenamiento en la cual se exhibe la identificación del producto.

Material	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
SUPERFAM DOS®	Plástico	25,0	25,3 83,8 x 50,8

Transporte

Clase: 1
División: 1.5D
N° ONU: 0331



MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO
Los explosivos y accesorios de voladura de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos peligrosos, solo en manos autorizadas se constituyen en elementos polipropileno. El adquirente o usuario debe cumplir con lo establecido por las normas correspondientes, a momento de su transporte, almacenamiento y uso, así como extremar precauciones a toda el personal encargado de su manipuleo.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenamiento, manipuleo y uso de los explosivos que produce a sus clientes. El transporte, almacenamiento, manipuleo y uso debe hacerse en concordancia con las regulaciones y procedimientos de la autoridad competente. Debe ser almacenado en depósitos autorizados en zonas seguras, protegidos de la lluvia y el calor, y en concordancia con la tabla de compatibilidad vigente de la autoridad competente.

ATENCIÓN
La información y recomendación aquí descrita no cubren necesariamente todas las aplicaciones del producto ni las distintas condiciones bajo las cuales este sea utilizado. Estas se basan en la experiencia, investigaciones y pruebas realizadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., quien no garantiza resultados favorables ni asume responsabilidad alguna, expresa o implícita en conexión con el uso de estas sugerencias. Este producto puede ser modificado sin previo aviso.



Fuente: Catálogo de productos comerciales Famesa Explosivos S.A.C 2022.

Anexo D. Hoja de seguridad del explosivo SUPERFAM DOS.



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: SUPERFAM DOS®

MS-GC-032/ES
Rev. 07
24/05/2019

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA		
Nombre Genérico: ANFO		
Nombre del Producto: SUPERFAM DOS® - SUPERFAM DOS® AE		
Nombre de la Compañía:	FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.	
Dirección:	Km 28 Autopista Ancón - Puente Piedra	
Ciudad:	Lima	
Código Postal:	Lima 22	
Teléfono de Emergencia:	(51 1) 613-9850 -- (51 1) 613-9800 anexo 100	
E-mail:	famesa@famesa.com.pe	
SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS		
Marca en Etiqueta	Clase	Nº UN
	1.5 D	0331
Riesgos Potenciales Para la Salud		
El SUPERFAM DOS® - SUPERFAM DOS® AE, no presenta riesgo a la integridad física cuando se manipula de acuerdo a las normas vigentes. Una detonación accidental puede causar laceraciones y otros daños traumáticos, inclusive fatales.		
Por inhalación	Los humos resultantes de la detonación contiene óxidos N y C y su inhalación puede causar irritación en las vías respiratorias.	
Por la Piel	No existe absorción por la piel aunque en algunos casos puede causar irritación.	
Por los Ojos	Puede causar irritación.	
Por Ingestión	La ingestión de grandes dosis puede causar irritación.	
Riesgos Especiales		
Fuego y Explosión	Ningún riesgo de un incendio espontaneo siempre y cuando se cumplan con los requisitos recomendados para el manipuleo, transporte, almacenaje y uso establecidos por los reglamentos vigentes. Una descomposición térmica puede causar vapores tóxicos e irritantes. Un calentamiento bajo confinamiento y/o condiciones especiales, puede conducir a una reacción violenta o una explosión.	
Detonación	Ningún riesgo de detonación espontanea, siempre y cuando se cumpla con los requisitos recomendados para el manipuleo, transporte, almacenaje y uso, establecidos por los reglamentos vigentes. En el caso eventual de una explosión, es inminente una detonación en masa.	



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: SUPERFAM DOS®

MS-GC-032/ES
Rev. 07
24/05/2019

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES				
Naturaleza Química				
Componentes de Riesgo	PEL	TLV	N° CAS	N° UN
Nitrato de Amonio	No establecido	No establecido	6484-52-2	1942
Petróleo	No establecido	No establecido	68334-30-5	1202
CAS : Chemical Abstrac Service PEL : Permissible Exposure Limit (Limite de Exposición Permisible) TLV : Threshold Limit Value (Valor Limite Tolerable)				
SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS				
Contacto con ojos	Levantar con cuidado los párpados y dejar fluir agua limpia a baja presión por lo menos 15 minutos. Luego proporcione la inmediata atención médica.			
Contacto con piel	Lavar la piel con agua y jabón.			
Ingestión	En el caso eventual de ingestión accidental inmediatamente provocar el vomito y llevarlo a un centro medico.			
Inhalación	Si los gases de la detonación son inhalados, movilizar el accidentado a un lugar de aire fresco. Proporcione respiración artificial si es necesario. Si la respiración es dificultosa, proporcione oxígeno. Llame inmediatamente al medico.			
SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS				
Medio de Extinción	Si el producto no es directamente afectado por el incendio y/o el fuego no ha alcanzado el producto: Apagar el incendio con agua evitando a toda costa que el fuego alcance al producto, utilizando todos los medios disponibles. Alejar el producto, cuando sea posible, fuera del lugar incendiado.			
Procedimiento en caso de fuego	Si el fuego ha alcanzado el producto o está a punto de alcanzarlo, no intentar extinguirlo. Despeje el área y evacue al personal a un lugar seguro. Notifique a las autoridades de acuerdo con los procedimientos de emergencia. Solo el personal entrenado en emergencia se hará cargo de la situación. El material en combustión puede explotar y producir gases tóxicos.			
SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL				
Precauciones Personales	Revisar los riesgos de fuego y explosión, tomar las precauciones normales de seguridad. Solamente personal calificado deberá ejecutar la disposición del material.			
Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente	Prevenir que la sustancia no contamine el suelo, aguas y aguas de drenaje. En caso de contaminación de agua (ríos o canalizaciones), informar a las autoridades competentes. Idéntico procedimiento se aplica a los vertidos al mar.			
Método de eliminación de desechos	Los residuos y desperdicios deben recogerse, etiquetarse y luego ser destruido por personal capacitado y autorizado.			
Método de limpieza	Recoger el producto y recolectar en envases marcados y sellarlos. El material recogido deberá ser manejado por personal técnico calificado de acuerdo con la legislación vigente.			
SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO				
Precauciones para el manipuleo y uso seguro	El manipuleo de este producto deberá estar a cargo del personal capacitado y autorizado en el manejo del uso del explosivo. Antes de ingerir sus alimentos deberá efectuarse una adecuada higiene personal.			



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: SUPERFAM DOS®

MS-GC-032/ES
Rev. 07
24/05/2019

Precauciones para el almacenamiento	<p>El SUPERFAM DOS® - SUPERFAM DOS® AE, se almacenará solamente con productos compatibles, de acuerdo a los reglamentos locales y estatales. Evitar maltratar las bolsas. Proteger de la humedad, radiación solar y de alguna fuente directa de calor. El polvorín destinado para almacenar debe cumplir con todos los requisitos establecidos por el reglamento vigente. El almacén debe tener un ambiente seco, fresco, limpio ventilado y con descarga eléctrica a tierra. El polvorín debe estar inspeccionado permanentemente por personal autorizado y cumplir con los reglamentos vigentes.</p>		
SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL			
Medidas para controlar la posibilidad de exposición	<p>La cantidad de almacenamiento debe estar de acuerdo con lo indicado por la autoridad competente. La vestimenta debe ser apropiada de acuerdo a reglamentos vigentes, por ejemplo de algodón para evitar la acumulación de cargas estáticas.</p>		
Equipos de Protección Personal			
Protección a la vista	Se recomienda el uso de lentes de seguridad con protección lateral.		
Protección respiratoria	Normalmente no requerido en lugares bien ventilados.		
Otras precauciones requeridas	La ropa debe cambiarse si se encuentra contaminada. Puede ser necesario una ventilación forzada cuando la ventilación natural es limitada.		
SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS			
Estado Físico	Sólido	Punto de Fusión	No Aplicable
Densidad	0,80 g/cm ³	Temperatura de auto ignición	No Aplicable
Apariencia / Olor	Sólido gris granular / Olor característico al hidrocarburo	Punto de explosión	No Aplicable
Solubilidad en agua	Muy soluble	Punto de inflamación	No Aplicable
SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD			
Estabilidad Química	Cuando es expuesto a fuego directo combustiona si no esta confinado, en estado de confinamiento puede ocurrir una detonación.		
Condiciones a Evitar	Mantener alejado de alguna fuente directa de calor. Evitar fuego, impacto, fricción y chispa.		
Materiales Incompatibles	Sustancias químicas corrosivas, volátiles, combustibles, ácidos y bases.		
Riesgo de Descomposición	Ninguna mientras se cumplan con los requisitos de manipulación, transporte, almacenaje y uso recomendados, una eventual descomposición puede involucrar CO, NOx		
Riesgo de Reacciones Peligrosas	Ningún riesgo de reacción espontánea.		
SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA			
Efectos de Sobre Exposición			
Los productos por descomposición de la detonación pueden ser tóxicos.			
Por inhalación	Altas concentraciones de polvo pueden causar irritación y desordenes en el sistema gastrointestinal. La inhalación de gases de descomposición puede causar serio daño en los pulmones.		
Por la Piel	No, bajo condiciones normales de manejo, en contacto con la piel puede producir irritaciones dérmicas.		



HOJA DE SEGURIDAD:
HDS: SUPERFAM DOS®

MS-GC-032/ES
Rev. 07
24/05/2019

Por los Ojos	No, bajo condiciones normales de manipuleo. En contacto con los ojos puede provocar irritación en las mucosas oculares.		
Por Ingestión	Ninguna bajo una correcta manipulación. La ingestión casual de la masa explosiva causa desordenes en el sistema gastrointestinal.		
Precauciones de Seguridad			
Evitar la exposición a los gases de la detonación, el ingreso a la zona de operación debe realizarse solo cuando este seguro que la concentración de los gases sea la permisible.			
SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA			
Ecotoxicidad	El nitrato de amonio presenta baja toxicidad para el medio acuático pero el petróleo es peligroso aun en pequeñas concentraciones.		
Persistencia / Degradabilidad	El petróleo flota en el agua y representa un daño físico potencial.		
Bioacumulación	El producto no es bioacumulable.		
Efectos sobre el medio ambiente	Los riesgos mayores son resultado de su acción explosiva. Si se usa correctamente no presenta peligro o riesgo para el medio ambiente.		
SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN			
Procedimiento de eliminación de los residuos del producto	Incineración controlada en pequeñas cantidades.		
Eliminación de envases / embalajes contaminados	Proceder a su incineración. Cualquier tratamiento de desecho debe ser ejecutado por personal calificado y con licencia.		
SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE			
Nº de Clase de Riesgo	Nº de Identificación UN	Tipo de Explosivo	Etiqueta requerida
1.5 D	0331	B	Si
SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA			
Normas Internacionales Aplicables		Normas Nacionales Aplicables	
Ley de Transporte de Mercaderías Peligrosas Perú		Reglamento de Control de Explosivos de Uso Civil (SUCAMEC)	
SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES			
Esta información ha sido preparada de acuerdo a la legislación vigente, y ofrecida como guía de manipulación del producto ofrecido, pero el fabricante no otorga garantía alguna expresa o implícita con respecto a esta información. El fabricante no asume responsabilidad directa, accidental o consecuente de daños resultantes del uso del producto mencionado en este documento.			
Los explosivos deteriorados así como los desperdicios generados durante su manipuleo y uso, deberán ser destruidos por personal capacitado y autorizado.			
En caso de ser necesaria alguna información adicional, a través del teléfono de emergencia de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. se le brindará la atención conveniente.			



Fuente: Catálogo de productos comerciales Famesa Explosivos S.A.C 2022.

Anexo E. Pruebas del SUPERFAM DOS en campo.

Figura E1

Muestra de prills de SUPERFAM DOS



Nota. Se muestra el buen estado físico de los prills de SUPERFAM DOS. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura E2

Revisión del frente a perforar y control de perforación usando marcas con aerosol



Nota. Se muestra un panorama de marca ante de la perforación. [Fotografía]

Fuente: Elaboración propia.

Figura E3

Carguío del frente de avance con bombona de SUPERFAM DOS



Nota. Se muestra el carguío de SUPERFAMDOS, al costado un operario guiando el camino.

[Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Anexo F. Pruebas del EMULGRAN QHANA en campo y medición de gases post voladura.

Figura F1

Equipo Famejet trasladado en camioneta



Nota. Se muestra el traslado del equipo Famejet autorizada para el carguío de frentes.

[Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura F2

Equipo Famejet homologado en camioneta



*Nota. Equipo Fajemet en una camioneta después de pasar revisión técnica para ingreso a mina.
[Fotografía]*

Fuente: Elaboración propia.

Figura F3

Equipo Famejet estacionado



*Nota. Equipo Famejet estacionado en zona segura para proceder con el carguío de
EMULGRAN QHANA. [Fotografía].*

Fuente: Elaboración propia.

Figura F4

Famejet posicionado para trasladado



Nota. Equipo Famejet en posición de traslado para su labor de uso. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura F5

Operador de carguío

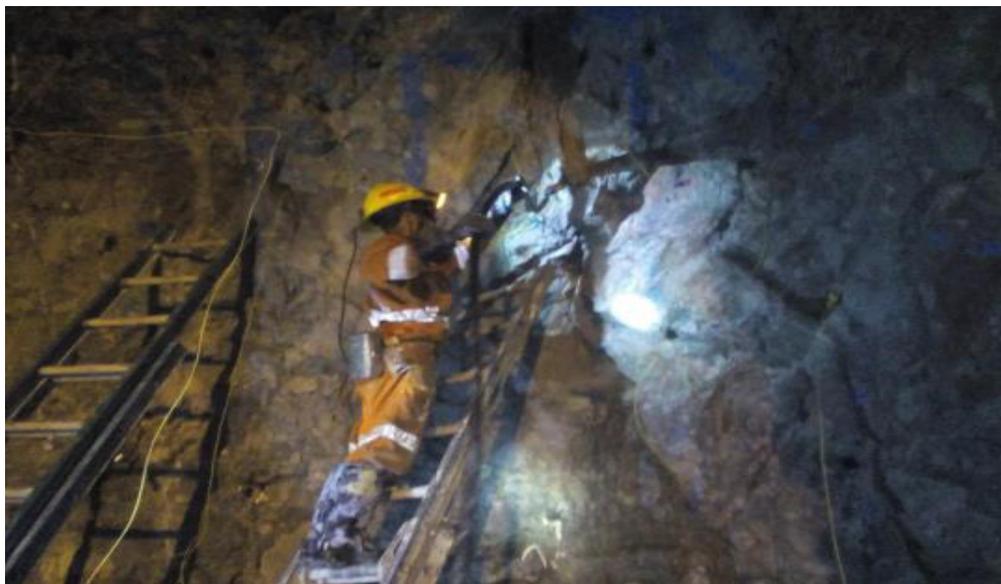


Nota. Operado de carguío manipulando manguera de Famejet. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura F6

Operador de carguío cargando explosivo



Nota. Operador de carguío cargando explosivo controlado en corona. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura F7

Resultados del disparo, cañas en la corona



Nota. Se muestra el resultado después del disparo. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura F8

Analizador de gases dando resultados de la atmosfera post voladura.



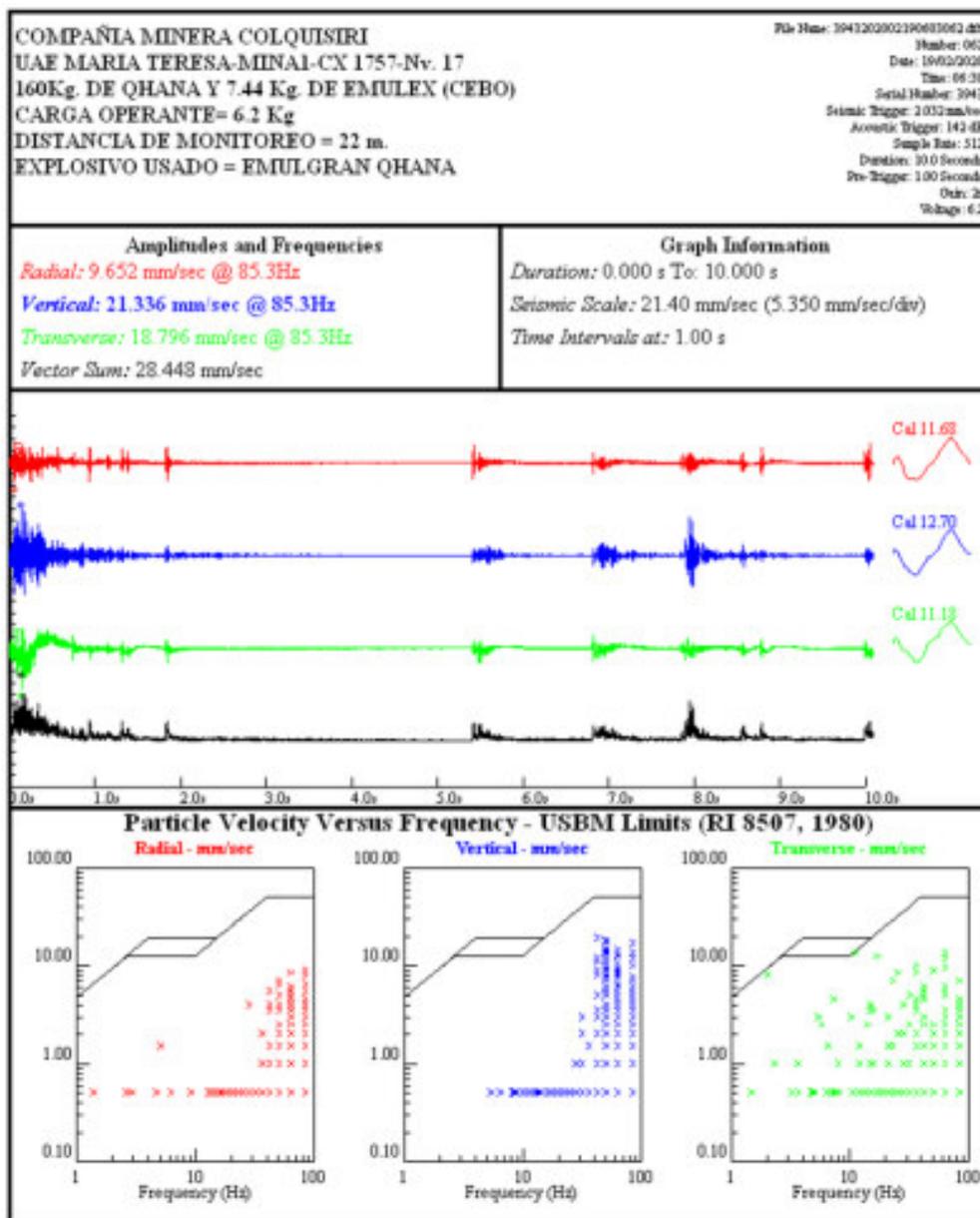
Nota. Se muestra el valor de lo gases post voladura. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Anexo G. Registros sísmográficos de voladuras ejecutadas con EMULGRAN QHANA.

Figura G1

Reporte 1 de sismografía emitido por sismógrafo Instantel

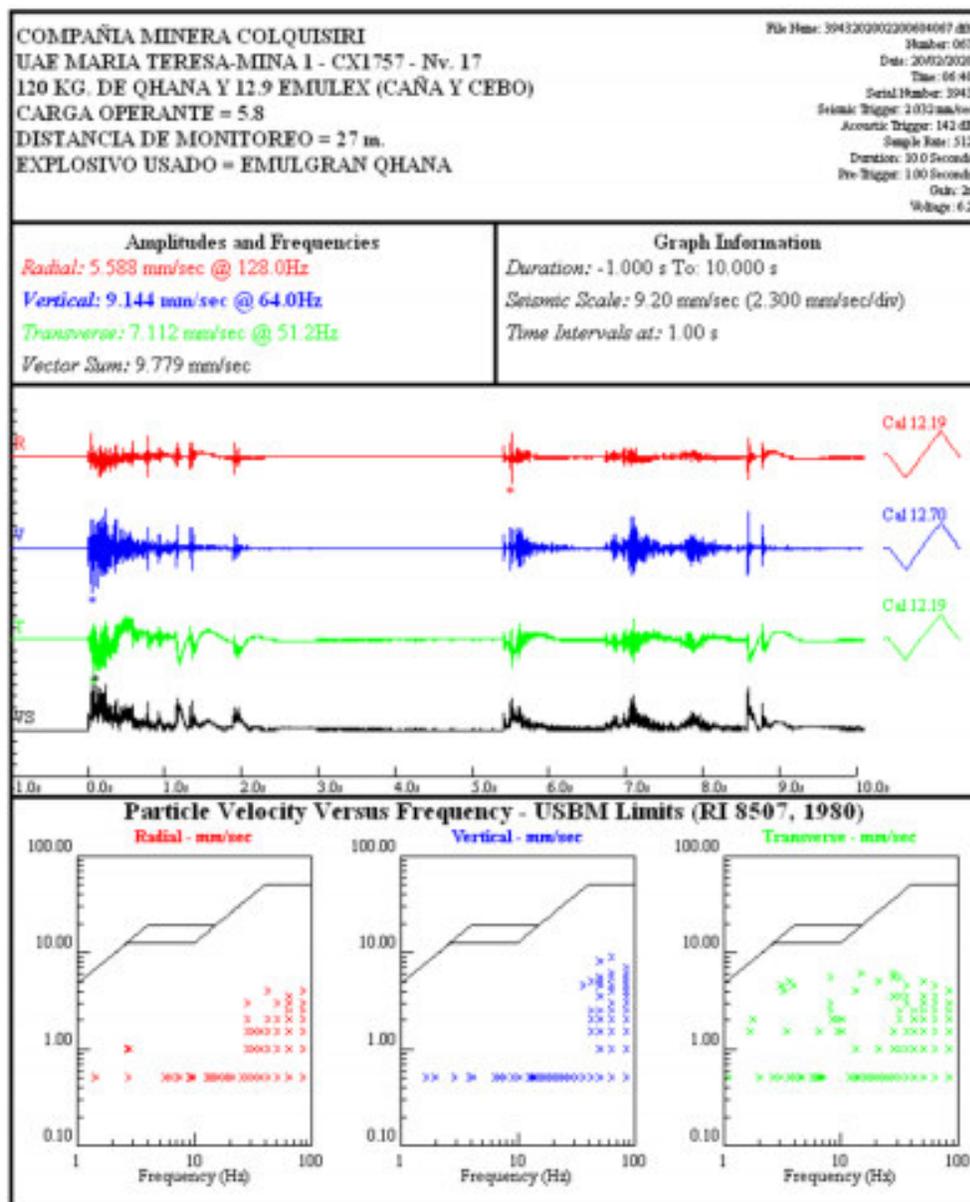


Nota. De Análisis de onda registra el comportamiento dentro de lo programado bajo la norma USBM en CX1757 a distancia de 22m.

Fuente: Elaboración propia.

Figura G2

Reporte 2 de sismografía emitido por sismógrafo InstanTel.



Nota. De Análisis de onda registra el comportamiento dentro de lo programado bajo la norma USBM en CX1757 a distancia de 27m.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo H. Análisis granulométrico de voladura ejecutada con SUPERFAM DOS.

Figura H1

Resultados de la voladura evidenciando granulometría

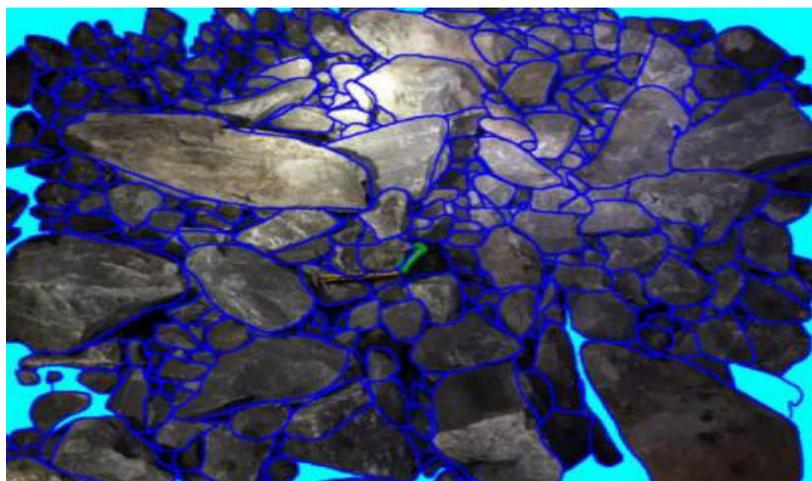


Nota. Se observa granulometría del material roto Rp12161.[Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura H2

Demarcación de bordes de fragmento de roca



Nota. Demarcación de bordes de fragmento de roca en software Wipfrag [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura H3

Reporte del P80 del tamaño de fragmentos analizados

Tamaño[pulg]	% Pasante	RP. 12161 N - MINA 1
15,00	100,00	
10,00	97,65	
8,00	88,88	
6,00	73,83	
4,00	51,50	
2,00	30,59	
1,00	17,79	
0,75	14,20	
0,50	10,33	
0,38	8,24	
0,25	5,99	
0,19	4,76	
0,08	2,41	

% Pasante	Tamaño[pulg]	RP. 12161 N - MINA 1
F10	0,48	
F20	1,16	
F30	1,95	
F40	2,93	
F50	3,86	
F60	4,78	
F70	5,65	
F80	6,60	= 16.9 cm
F90	8,20	
Topsize (99,95%)	11,01	

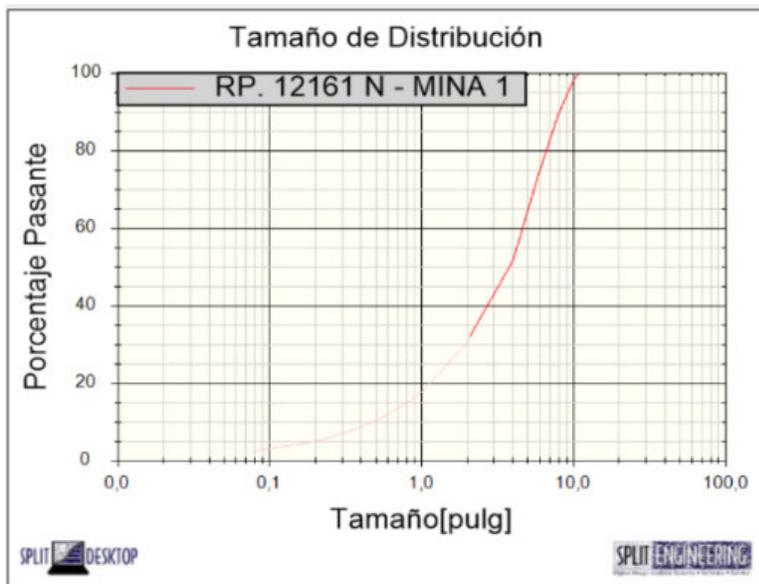
Factor de Corte de Finos[pulg]	RP. 12161 N - MINA 1
Factor de Corte de Finos	2,11
Factor de Finos	20,00
Longitud	---
Latitud	---
Altitud	---

Nota. El P80 es igual al F80, debido al idioma del software se refleja con la simbología F.

Fuente: Elaboración propia.

Figura H4

Abaco de distribución de los tamaños encontrados en la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. Análisis granulométrico de voladura ejecutada con EMULGRAN QHANA.

Figura I1

Resultados de la voladura, se observa granulometría

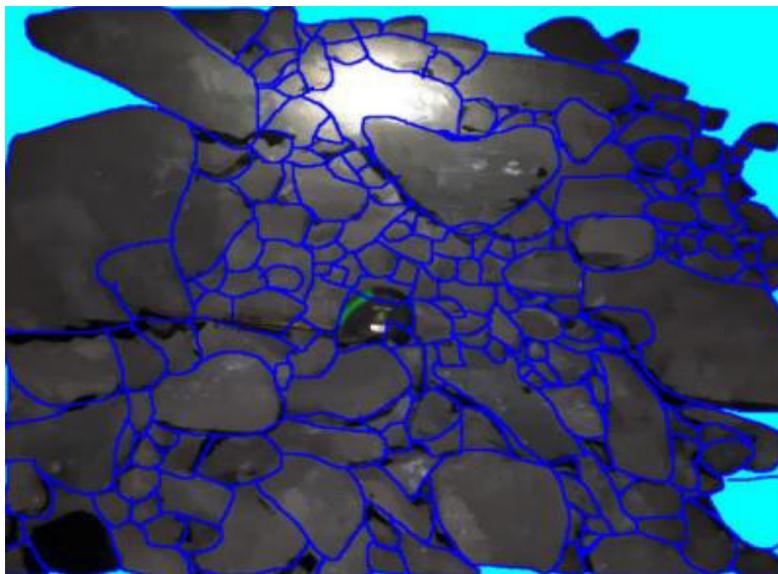


Nota. Resultados de la voladura, se observa granulometría del material roto Cx1757. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura I2

Demarcación de bordes de fragmento de roca en software Wipfrag



Nota. Demarcación de bordes de fragmento de roca en software Wipfrag. [Fotografía].

Fuente: Elaboración propia.

Figura I3

Reporte del P80 del tamaño de fragmentos analizados

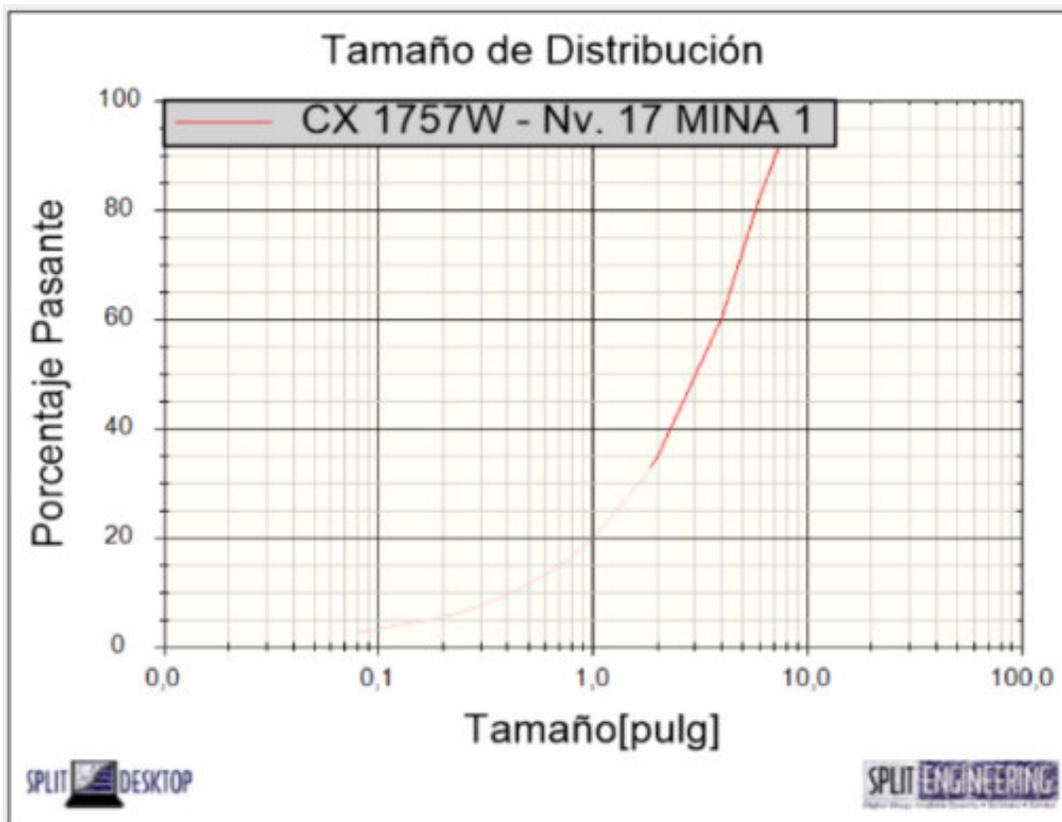
Tamaño[pulg]	% Pasante	
15,00	100,00	
10,00	99,86	
8,00	94,32	
6,00	81,46	
4,00	59,91	
2,00	34,18	
1,00	19,84	
0,75	15,76	
0,50	11,39	
0,38	9,04	
0,25	6,53	
0,19	5,17	
0,08	2,57	
CX 1757W - Nv. 17 MINA		
% Pasante	Tamaño[pulg]	
F10	0,43	
F20	1,01	
F30	1,68	
F40	2,47	
F50	3,27	
F60	4,01	
F70	4,80	
F80	5,84	= 14.8 cm
F90	7,08	
Topsize (99,95%)	10,04	
CX 1757W - Nv. 17 MINA		
Factor de Corte de Finos[pulg]	1,87	
Factor de Finos	20,00	
Longitud	---	
Latitud	---	
Altitud	---	

Nota. El P80 es igual al F80, debido al idioma del software se refleja con la simbología F.

Fuente: Elaboración propia.

Figura I4

Abaco de distribución de los tamaños encontrados en la muestra



Fuente: Elaboración propia.