



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G Y  
HA 73G EN LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN  
CHAVIÑA, AYACUCHO - 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Edith Marlene Tenorio Acuña

Neire Roger Palma Jambo

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2019

## DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi cariño a mi amada hija Adriana Salazar y mis queridos padres María y Alejandro quienes fueron el pilar fundamental para el logro de este proyecto. A mis hermanos Flor, Katy, Ronald, Wilian y Deyvis quienes me fortalecieron para continuar y por confiar siempre en mí. Es para mí una gran satisfacción dedicarles a cada uno de mis familiares este anhelado trabajo de investigación.

*Edith*

Esta tesis se la dedico a Dios a mi familia quienes por ellos soy lo que soy, mis padres, por su apoyo incondicional de cada día sus consejos, comprensión, amor, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos y metas. A mis hermanos por estar siempre presentes.

*Roger*

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis padres María y Alejandro por su apoyo incondicional, a mi querida hija Adriana Salazar por su paciencia y aliento constante para el logro de este proyecto. Agradezco también a mi asesor, el Ing. Víctor Álvarez León por haberme brindado el soporte técnico - científico y guiarme durante el desarrollo de la tesis. Y para finalizar agradezco a cada uno de mis familiares y amigos que con sus consejos me motivaron a seguir adelante en mi carrera profesional.

*Edith*

Primero quiero agradecer a Dios por cuidarme, guiarme y por haberme dado fuerzas para culminar una meta más en mi vida profesional. Agradezco a mis padres por el apoyo brindado en todos estos años de mi vida, y se siempre estarán conmigo. A mis hermanos por sus consejos de cada día, a mi asesor Ing. Víctor Álvarez León por el apoyo brindado, por sus valiosas aportaciones que hicieron posible este proyecto. A mi amiga Edith y Marina por su apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria, por compartir momentos de alegría, tristezas y demostrarme que siempre podré contar con ellas. A mi novia Vanesa, mi motivación, inspiración y felicidad. Gracias a cada uno de ellos por su apoyo, sé que están orgullosos de mí.

*Roger*

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Formulación del problema .....	27
1.3. Objetivos.....	27
1.4. Hipótesis .....	28
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
2.1. Tipo de investigación.....	29
2.2. Población y muestra.....	31
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	31
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
3.1 Determinación de la influencia de la emulsión gasificable san-g en la fragmentación de la roca por voladura en chaviña .....	38
3.2 Euantificación de los parámetros de voladura san-g y ha 73g, para mostrar los principales indicadores de los procesos unitarios post voladura.....	38
3.3 Evaluación de la granulometría obtenida con san-g y ha 73g, para optimizar la fragmentación del mineral por voladura. ....	45
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
6.1. Discusión .....	51
6.2. Conclusiones.....	54
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características principales de diferentes mezclas de ANFO pesado .....	16
Tabla 2 Dimensiones de los oxidantes en los explosivos y su efecto en la velocidad de detonación para un diámetro dado de taladro .....	17
Tabla 3 Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura.....	23
Tabla 4 Densidades para diferentes agentes de voladura .....	24
Tabla 5 Escala de clasificación por Grado de Toxicidad .....	26
Tabla 6 Matriz Operacionalización de Variables .....	30
Tabla 7 Equipos usados para obtener datos de la voladura .....	33
Tabla 8 Caracterización geomecánica del macizo rocoso .....	35
Tabla 9 Resumen de disparos y consumo de San – G en Tajo de Chaviña .....	38
Tabla 10 Resumen de densidades, consumo de explosivos y tonelaje de disparado.....	39
Tabla 11 Medición de VOD .....	39
Tabla 12 Factor de Potencia HA 73G y SAN - G .....	40
Tabla 13 Resumen de disparos realizados sin evidencia de gases nitrosos (humos anaranjados).....	41
Tabla 14 Registros de p80 obtenidos del análisis granulométrico realizado a los frentes de minado .....	45
Tabla 15 Registros de p80 obtenido en el análisis granulométrico del proyecto 4104-01 ..	46
Tabla 16 Levantamiento topográfico de límites de rotura del proyecto 4112 y 4104.....	47
Tabla 17 Dig Rate de los disparos de SAN– G y HA 73G.....	48
Tabla 18 Costo de Voladura HA 73G y SAN – G.....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación general de los explosivos industriales .....	14
Figura 2 Estructura del ANFO Pesado .....	16
Figura 3 Proceso de análisis granulométrico .....	34
Figura 4 Diseños de carga propuestos con HA 73G para Sílice granular/Masiva. ....	35
Figura 5 Diseños de carga propuestos con SAN-G para Sílice granular/Masiva.....	36
Figura 6 Histograma de Factor de Potencia HA 73G y SAN-G.....	40
Figura 7 Disparos Proyecto 4112 07 y 08 (Sin humos naranjas) .....	42
Figura 8 Disparo Proyecto 4122-09 (Sin humos naranjas).....	42
Figura 9 Disparo Proyecto 4104-01 (Sin humos naranjas).....	43
Figura 10 Disparo Proyecto 4208-29 (Sin humos naranjas).....	43
Figura 11 Disparo Proyecto 4104-02 (Sin humos naranjas).....	44
Figura 12 Disparo Proyecto 4200-28 (Sin humos naranjas).....	44
Figura 13 Histograma de p80 obtenido del análisis granulométrico realizado a los proyectos de minado .....	45
Figura 14 Curva Granulométrica de P80 y pasante del proyecto 4104 - 01 .....	46
Figura 15 Sobrerotura del macizo rocoso del proyecto 4112-07 disparado con HA 73G... 47	
Figura 16 Sobrerotura del macizo rocoso del proyecto 4104-02 disparado con SAN-G – HA73G.....	48
Figura 17 DIG RATE .....	49
Figura 18 Minado del proyecto 4104-02 con HA 73G.....	49
Figura 19 Histograma costo de voladura HA y SAN-G .....	50

## RESUMEN

Se estudió la influencia de la emulsión gasificable SAN-G y HA 73G en la fragmentación de la roca por voladura en minería a tajo abierto en una mina de Chaviña-Ayacucho; la cual se inició con la revisión bibliográfica de la emulsión gasificable SAN-G y se definió la zona de pruebas para la aplicación de este explosivo y compararlo con el HA 73G que se utiliza actualmente en mina. El desarrollo de estas pruebas se realizó en 11 proyectos de voladura de producción que representa un total de 2922 taladros cargados. Se concluye que todos los disparos realizados con SAN-G tuvieron menor Factor de Potencia (0.42 a 0.55 kg/Tm), obteniéndose a pesar de ello un p80 promedio con granulometría de 3.76" mayor de lo requerido (2.50"); mientras que todos los disparos realizados con HA 73G tuvieron un Factor de potencia de 0.48 a 0.61 kg/Tm, obteniéndose un p80 promedio de 2.84". La VOD que presenta el SAN-G está en el intervalo de 4958 m/s a 5343 con un promedio de 5143 m/s utilizando una densidad promedio de 1.05 gr/cm<sup>3</sup>. La VOD que presenta el HA 73G está en el intervalo de 5082 m/s a 5215 con un promedio de 5148.50 m/s utilizando una densidad promedio de 1.08 gr/cm<sup>3</sup>. Estos explosivos presentan un íntimo contacto entre el oxidante y el combustible, permitiendo que la reacción de óxido reducción sea veloz, lo que genera una mejor calidad de gases de voladura y un color de humos gris claro como se percibió en los 11 disparos realizados. El costo de voladura promedio obtenido con Emulsión Gasificable SAN-G está en 0.22 \$/Tm por debajo del costo de voladura de HA 73G que está en 0.24 \$/Tm esto representa una disminución de 7.22 %. Teniendo en cuenta las condiciones litológicas propias del terreno; la mezcla con que se obtuvo buenos resultados es el HA 73G (Heavy ANFO 73 gasificable).

**Palabras clave:** Emulsión gasificable, fragmentación, p80, taladro.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La perforación y voladura es generalmente la primera, y tal vez la más importante operación minera unitaria en el ciclo total del minado. Los diseños de voladura inadecuado o de funcionamiento defectuoso podrían tener graves consecuencias a lo largo del ciclo de minado, es por ello que es importante tener en cuenta los tipos de explosivos que se va utilizar dependiendo del tipo de roca y el tipo de fragmentación que se desea obtener. La mezcla de emulsión y ANFO se ha identificado a lo largo de las operaciones de proyección como agente de voladura y seguro (Exsa, 2009).

La necesidad de tener voladuras con características óptimas en empresas mineras y el ingenio para la innovación tecnológica, han logrado que la Empresa Famesa fabrique recientemente un nuevo explosivo SAN-G, el cuál es una emulsión gasificable tipo agua en aceite, con un adecuado balance de oxígeno, sensibilizada mediante el uso de una solución gasificante (N 20) lo que le permite obtener una alta velocidad de detonación, es seguro y resistente al agua. Como resultado de la reacción química entre la emulsión matriz inerte y la solución N 20, se produce gas Nitrogeno que queda atrapado en burbujas dentro de la matriz. Son estas burbujas de Nitrogeno las que sensibilizan la emulsión. El SAN-G es sensibilizado en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros, mediante la dosificación de una solución gasificante produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO pesado. La densidad del SAN-G es de 0.90-1.20 g/cm<sup>3</sup>. (Famesa, 2017).



En el presente trabajo de investigación se estudia la influencia de la emulsión gasificable SAN-G en la fragmentación de la roca por voladura en Chaviña, Ayacucho; para lo cual se compara con el explosivo HA 73G (Heavy Anfo 73 gasificable).

**(Llallacachi, 2017)** En la ciudad de Arequipa, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, se presenta la siguiente tesis: “Evaluación Técnico Económico con el Uso de Emulsión Gasificada en Voladura Mina Cuajone”, para optar el título de Ingeniero de Minas. El presente trabajo tiene la finalidad demostrar los resultados de las voladuras con una nueva tecnología en explosivo, una mezcla explosiva gasificable, y los beneficios que representa en optimización en los resultados de fragmentación y ahorro en Costos. El trabajo describe el desarrollo de las pruebas las cuales se llevaron a cabo desde el año 2014 y se masifica su uso después de la prueba, esto originó la necesidad de modificar sistemas técnicos y operativos, como el rediseño en los parámetros de perforación y voladura, capacitación técnica especializada en la aplicación del nuevo explosivo, acondicionamiento de la logística a la tecnología de gasificación (camiones Fábrica). Los resultados obtenidos en Mina Cuajone con la aplicación integral de la mezcla explosiva gasificada, se ve reflejado en un ahorro tangible de 5 780 157 dólares. Finalmente, con esta nueva tecnología en explosivo se está logrando la fragmentación requerida, especialmente en zonas mineralizadas donde se obtiene una reducción de la fragmentación de 7.1% e incremento de la velocidad de excavación de las palas en 10%.

**(Cortez, 2014)** En la ciudad de Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, se presenta la siguiente tesis: “Evaluación Técnico-Económica-egológica de los resultados de las pruebas realizadas usando Emulsiones Gasificadas en Cuajone –

Southern Perú”, para optar el título profesional de Ingeniero de Minas. En el presente trabajo de investigación se analiza, evalúa y se discute el uso de la emulsión gasificada AP-73Q, y se compara con los resultados obtenidos usando el ANFO pesado 45/55 en las operaciones mineras de voladura de rocas en Cuajone. Para lo cual se llevaron a cabo varios disparos primarios. Algunos de estos disparos primarios fueron cargados solamente con emulsión gasificada AP-73; para poder comparar los resultados obtenidos, y otros disparos fueron cargados con emulsión gasificada AP-73Q y ANFO pesado 45/55. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en términos de fragmentación y uniformidad de esta, se debe mencionar que en términos generales con las dos mezclas explosivas comerciales se obtuvieron buenos resultados desde un punto de vista técnico económico-ecológico. Para lo cual, se recomienda en forma especial que se continúe con estas pruebas usando las dos mezclas explosivas comerciales mencionadas anteriormente. También se debe estandarizar el uso de los fulminantes electrónicos para la iniciación de los disparos primarios. Lo mismo que se debe continuar usando cámaras de aire en los taladros de producción, etc.

**(Cruzado, 2014)** En la ciudad de Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, se presenta la siguiente tesis: “Evaluación Técnica Económica del Uso del SANG en Mina “La Arena”, para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas. En minera “La Arena” de Río Alto Mining Limited se trabajó con Heavy Anfo, explosivo que tenía el problema de la fragmentación requerida y emanación de óxidos nitrosos al medio ambiente. El material disparado es transportado directamente al PAD de lixiviación, ya que esta mina no cuenta con chancadora. El material de desmonte del tajo es destinado a los botaderos, es por ello que se realiza un análisis en la aplicación de un explosivo, que permita la obtención de la fragmentación requerida y que no

contamine el medio ambiente. Asimismo es importante indicar que en los alrededores de la mina se presentan viviendas de las comunidades, así como estructuras que debemos cuidar para lo cual se requirió de monitorear las vibraciones y encontrarse por debajo del estándar requerido, así también se procedió a registrar el consumo de explosivos y accesorios, cumplir con la programación de voladura de los proyectos asignados por el cliente, la evaluación de los costos de cada proyecto disparado y la evaluación de los parámetros de voladura, teniendo en cuenta el tipo de roca.

**(Mendoza, 2016)** en la ciudad de Cajamarca, Universidad Privada del Norte se presenta la siguiente tesis: “Optimización de la Fragmentación del Mineral por voladura a Tajo Abierto para la Reducción de Costos en Minera La Zanja S.R.L.”, para obtener el título de Ingeniero de Minas; se ha realizado estudios para evaluar remplazar el anfo pesado (HA) por la emulsión matriz gasificable (SAN-G) y así lograr optimizar la fragmentación de la roca en la zona de mineral y reducir costos de uso del martillo rompedor (picotón). La tesis está limitado a evaluar las características de desempeño del explosivo siguientes variables: Densidad del explosivo durante el carguío del explosivo en los taladros, monitoreo de la velocidad de detonación y toma de fotografías del material volado para el optimizar la fragmentación y con ello reducir los costos operativos.

El cambio del uso del explosivo anfo pesado (HA) por la emulsión matriz gasificante (SAN-G) ha permitido obtener la fragmentación requerida en el material roto/volado, ahorrando un promedio de 0.02 \$/Ton según las pruebas realizadas el cual influye en el costo operativo (OPEX).

**(Condori, 2015)** En la ciudad de Cajamarca, Universidad Privada del Norte se presenta la siguiente tesis: “Estudio del Explosivo AP 72Q Tecnología Quantex, para Optimizar Voladuras a Cielo Abierto en Southern Copper Corporation Mina Cuajone” – Abril 2015, para optar el título de Ingeniero de Minas. La mezcla explosiva AP 73Q Tecnología Quantex fue diseñada por EXSA S.A. a inicios del último trimestre del 2014, realizando, luego, la introducción del producto en la minería a cielo abierto tanto a nivel nacional como internacional. La investigación analiza una muestra de 10 voladuras utilizando el nuevo explosivo, AP 73Q Tecnología Quantex y el explosivo convencional HA 45/55 para determinar si efectivamente existe ahorro, y mejoras en los resultados post voladura (fragmentación, vibraciones), Así como comparar su VOD's y determinar la mejor utilización del producto en diferentes tipos de roca.

En las muestras tomadas se analizan los indicadores relevantes para las voladuras a cielo abierto y el costo por tonelada de material roto. Los resultados muestran mediante indicadores la eficiencia del explosivo y la disminución de los costos hasta en un 10.0% por tonelada de material roto.

**(Sangay, 2015)** en la ciudad de Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú, se presenta la siguiente tesis: “Análisis de Factibilidad para el Uso de Anfo Pesado a base de Emulsión Gasificable en Minera Yanacocha”, para optar el título de Licenciado en Ingeniería de Minas. El presente estudio tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica, económica y operativa de un nuevo tipo de emulsión, componente principal del ANFO Pesado que se usa comúnmente en el proceso de voladura en Minera Yanacocha. Este nuevo producto es una emulsión gasificable de mejor calidad y mayor costo en comparación con la emulsión matriz que se utiliza actualmente. La principal ventaja y motivo de investigación es su capacidad de gasificar por la adición de un

agente químico. Ello permite variar su densidad y como consecuencia variar la velocidad de detonación, poder rompedor y otras propiedades, dependiendo de las características del material. Con este propósito, en el área de Perforación & Voladura se diseñó un plan para determinar y cuantificar las posibles ventajas que presenta el nuevo producto. Se inició con la instalación de los equipos para gasificar en los camiones fábrica, posteriormente se transportó la emulsión gasificable a la mina y finalmente se hicieron las pruebas in situ para medir sus parámetros antes, durante y después de la voladura. Estas pruebas son motivo del presente estudio. El parámetro que se midió antes de la voladura fue la densidad, un aspecto crítico para determinar los costos y la calidad del explosivo. Durante la voladura, se midió la velocidad de detonación que es el mejor parámetro que representa la calidad del explosivo en cuanto a poder rompedor. Finalmente, post voladura se analizó la fragmentación del material, presencia de humos y lo más importante el dig-rate (tasa de excavación) de los equipos de minado. Tras realizar las pruebas mencionadas, se hizo el análisis correspondiente y se determinó que el producto tiene ventajas desde el punto de vista económico y operativo. Se logró un ahorro importante sin afectar el dig-rate de los equipos de minado, además de eliminar la generación de gases nitrosos. En base a estos resultados, se implementó el uso de emulsión gasificable para la fabricación de ANFO Pesado en Minera Yanacocha. Sin embargo, también se concluyó que no es viable el reemplazo total de la emulsión gasificable por la emulsión matriz, debido a que en una mezcla en particular resulta más económico el uso de la emulsión matriz obteniendo los mismos resultados en la fragmentación del material.

Los explosivos son sustancia o mezclas químicas, con propiedad de cambiar a un estado más estable, mediante una reacción química exotérmica en un instante de tiempo, liberando toda la energía que contienen en forma de gases, sonido y calor de una manera violenta. Parte de esta energía liberada es utilizada en la fragmentación de roca, especialmente la producción de gases a gran presión y temperatura. En la industria minera, la voladura es el método más productivo para la excavación en roca dura (Exsa, sf, pág. 9).

Existe una gran variedad de clasificaciones para los explosivos en base a sus distintas características o aplicaciones (ver figura 1). Para esta investigación se presenta la clasificación de los explosivos de uso industrial, los cuales son aplicados en minería.

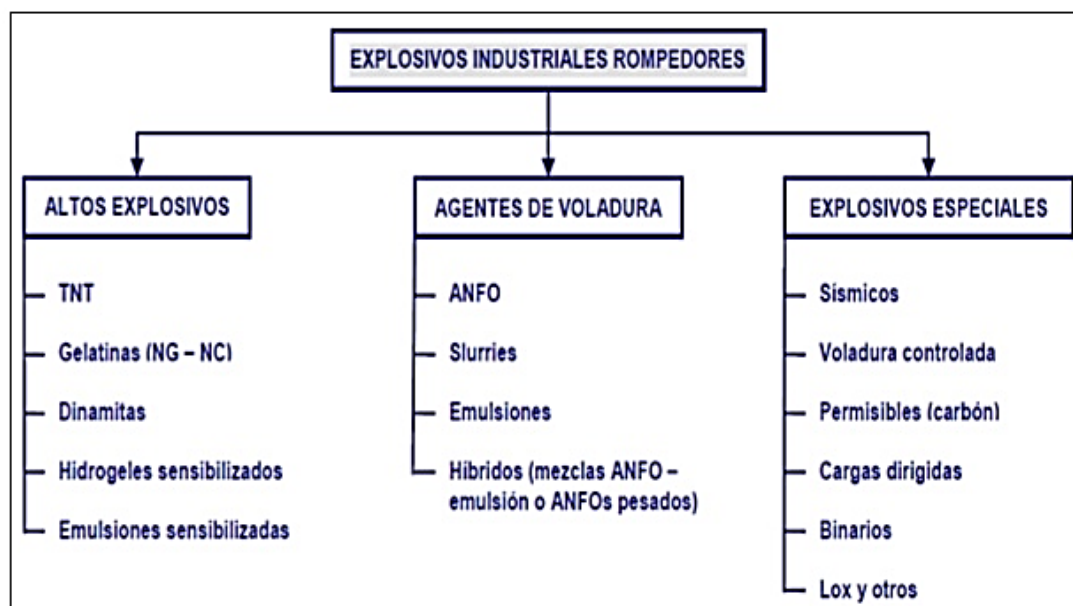


Figura 1 Clasificación general de los explosivos industriales.

Fuente: Exsa SA, 2009

Debido al tema de investigación se describirá solo los agentes de voladura que están involucrados y son objeto de estudio, los cuales son más utilizados hoy en día en minería a tajo abierto en todo el mundo.

El ANFO es una mezcla explosiva industrial cuya aplicación se ha extendido por todo el mundo, debido a su seguridad en la manipulación, bajo costo y alto rendimiento energético. ANFO, por sus siglas en inglés hace referencia a Ammonium Nitrate/Fuel Oil, los componentes que se mezclan para formar el agente explosivo. Su composición es de 94% nitrato de amonio y 6% combustible. El nitrato de amonio es una sal inorgánica, no explosiva, siendo de aplicación en minería aquella que se fabrica como partículas esféricas o prills porosos, en consecuencia es crítica su capacidad de absorción y retención (Exsa,sf, pág. 29).

Exsa (sf) define al ANFO PESADO como mezclas de emulsión y ANFO en diferentes proporciones, que permiten:

1. Bajar el costo y potencia de una emulsión pura, para voladura en rocas difíciles, secas o húmedas.
2. Darle resistencia al agua al ANFO, al saturar con emulsión los espacios libres entre los prills o perlas del nitrato.

Estos ANFOs pesados se pueden preparar en diferentes relaciones de acuerdo a los requerimientos de la voladura y la presencia de agua, entre 10% a 90% de emulsión y la diferencia ANFO, siendo los ratios más difundidos 30-70, 50-50, 60-40 y 80-20. Normalmente las mezclas con menos de 50 % de emulsión no son resistentes al agua, pero se incrementa notablemente la potencia del explosivo, y las mayores de 50 % emulsión son progresivamente más resistentes al agua.

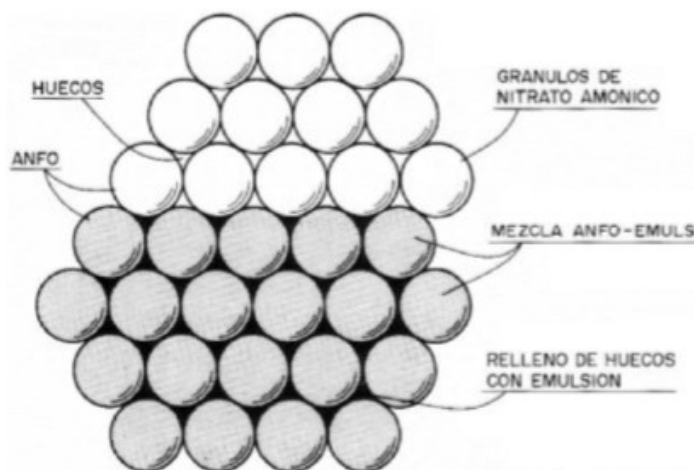


Figura 2 Estructura del ANFO Pesado

Fuente: López Jimeno, 2003

Tabla 1

*Características principales de diferentes mezclas de ANFO Pesado.*

MEZCLAS EXPLOSIVAS	COMPOSICIÓN (%)		DENSIDAD (gr/cc)	VOD (m/s)	RESIST H <sub>2</sub> O
	EMU	ANFO			
HA-37	30	70	1.05(±0.01)	4800 – 5000	Nula
HA-46	40	60	1.15(±0.01)	5000 – 5200	Baja
HA-55	50	50	1.27(±0.01)	5200 – 5400	Buena
HA-64	60	40	1.29(±0.01)	4500 – 4800	Excelente

Fuente: EXSA 2014.

**Nota:**

- Tipo de Emulsión: emulsión matriz para todas las mezclas de la tabla
- VOD: Los rangos de VOD son para taladros de 10 5/8” de diámetro
- HA = Heavy ANFO

Las emulsiones explosivas son agentes de voladura 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, comúnmente diésel 2 (López Jimeno 2003, pág. 155).

El tamaño de los componentes de esta mezcla (oxidante y combustible) tiene influencia directa en la velocidad de detonación y en general en el performance del explosivo “el desarrollo de los explosivos ha llevado aparejado una reducción progresiva del tamaño de las partículas, pasando desde los sólidos a las soluciones salinas con sólidos y, por último, a las micro gotas de una emulsión explosiva” (López Jimeno 2003, pág. 155).

Tabla 2

*Dimensiones de los oxidantes en los explosivos y su efecto en la velocidad de detonación para un diámetro dado de taladro.*

<b>EXPLOSIVO</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>	<b>ESTADO</b>	<b>VOD (Km/s)</b>
ANFO	2.0	Sólido	3.2
Dinamita	0.2	Sólido	4.0
Hidrogel	0.2	Sólido/Líquido	3.3
Emulsión	0.001	Líquido	5.0 – 6.0

Fuente: Bampfield & Morrey. 1984

La emulsión pura no es un agente de voladura, debido a que no es sensible ni siquiera al booster porque su densidad es muy alta. Para sensibilizarla, se puede utilizar un mecanismo físico como la generación de burbujas de gas, las cuales al ser comprimidas adiabáticamente se comportan como puntos calientes o hot spots, favoreciendo tanto la iniciación como la propagación de la detonación. Estos agentes gasificantes pueden ser poliestireno expandido o microesferas de vidrio (López Jimeno, 2003, pág. 158).

Según el Manual de Exsa SA indican que, existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no. Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca (Exsa SA, 2009).

(Exsa SA, 2009) considera que una voladura se evalúa por los resultados obtenidos.

Para calificarla se consideran los siguientes aspectos:

– **El volumen o tonelaje del mineral movido**

Deberá ser igual o cercano al volumen teórico calculado previamente considerando el esponjamiento del mineral roto (Exsa SA, 2009).

– **Avance del disparo**

El avance del frente disparado en voladura de bancos en superficie deberá sobrepasar la última fila de taladros. En túneles y galerías el avance máximo es equivalente a la amplitud del túnel, por tanto el avance deberá ser al menos igual a la profundidad de los taladros. La periferia en los túneles deberá ser igual a la proyectada; si resulta menor, requerirá ensanche adicional (desquinche). Por otro lado, si sobrepasa el límite especificado resultarán problemas de costo, y en ciertos casos problemas de estabilidad y gastos de sostenimiento (Exsa SA, 2009).

– **El nivel del piso en bancos o el piso del nuevo banco disparado debe resultar al mismo nivel del existente.**

Si se presentan irregularidades como lomos (toes), debe presumirse muy poca sobre perforación o falta de carga de fondo. Estos lomos dificultan el trabajo de las palas cargadoras y requieren trabajo adicional, usualmente de voladura secundaria para eliminarlos. En galerías y túneles es indispensable mantener el nivel del piso para el drenaje de agua y para el tendido de líneas de riel donde se utilice transporte con locomotora (Exsa SA, 2009).

- **El grado de fragmentación del mineral disparado o el tamaño promedio requerido de los fragmentos depende del trabajo en que se van a emplear.**

Por lo general la fragmentación demasiado gruesa o demasiado menuda, es inconveniente. Debe observarse el porcentaje de rocas grandes que tendrán que ser reducidos posteriormente. La fragmentación tiene relación directa con la facilidad de paleo y transporte y con sus costos (Exsa SA, 2009).

- **La sobre rotura (over break) y la sobre rotura hacia atrás (back break) en bancos.**

Afectan la estabilidad de la nueva cara libre de voladura y a los taladros que hayan sido perforados a continuación de la última fila disparada. Generalmente indica exceso de carga explosiva en la última fila de taladros. En túneles y labores subterráneas debilita y agrieta a la roca remanente en toda la periferia, afectándola a profundidad, con el riesgo de colapso del techo o paredes. Aparte de condiciones geológicas de incompetencia, debilidad estructural y alto grado de fracturamiento, tienen responsabilidad en este problema el exceso de carga explosiva y/o el encendido instantáneo o con tiempos muy cortos entre taladros, debido al fuerte golpe que producen (Exsa SA, 2009).

– **El desplazamiento y acumulación del mineral volado.**

Debe ser adecuado para facilitar las operaciones de carga y acarreo. La forma de acumulación se proyecta de acuerdo al tipo de equipo que se va a emplear en la limpieza del disparo. La forma aproximada de los montículos de detritos se consigue con el trazo de perforación y con el diagrama del tendido de iniciación, distribución de los retardos y de la disposición de las caras libres. Así, una distribución con amarres en “V” resulta en un montículo central, mientras que un amarre en líneas longitudinales resultará en acumulación a lo largo de toda la cara del frente disparado (Exsa SA, 2009).

– **La falta de desplazamiento.**

Cuando un disparo rompe mineral pero no se mueve de su sitio, se dice que el tiro se ha “congelado”. Esto se traduce en mala fragmentación en la parte inferior e interior del banco, en dificultad para la remoción del mineral roto y en riesgo de encontrar mineral explosivo no detonado. Esto ocurre generalmente cuando los retardos no funcionan o no han sido distribuidos adecuadamente, y en subterráneo cuando falla el arranque (Exsa SA, 2009).

– **La dispersión de fragmentos a distancia (fly rocks).**

Además de incrementar el riesgo de proyección de fragmentos volantes, tiene el inconveniente en minas de “diluir” el mineral de valor económico al mezclarlo con desmonte, cuando se desparrama lejos de la cara de voladura (Exsa SA, 2009).

– **La generación de humos.**

Se la califica por porcentajes dependiendo de la coloración de los mismos, los cuales pueden ser anaranjados (gases nitrosos) o grises (gases carbonosos). Los humos están íntimamente vinculados con la calidad del explosivo fabricado, por lo que el control de la calidad de los insumos como el producto final debe ser estrictamente evaluados (Exsa SA, 2009).

– **VOD.**

Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, puede ser expresada para el caso de explosivos confinados como no confinados; por sí misma es la propiedad más importante cuando se desea clasificar un explosivo. Como en la mayoría de casos el explosivo está confinado en un barreno, el valor de velocidad de detonación confinada es el más importante (Exsa SA, 2009).

– **La densidad.**

La densidad del explosivo es usualmente indicada en términos de gravedad específica, la gravedad específica de explosivos comerciales varía de 0.6 a 1.7. Los explosivos densos usualmente generan mayores velocidades de detonación y mayor presión; estos suelen ser utilizados cuando es necesaria una fina fragmentación de la roca. Los explosivos de baja densidad producen una fragmentación no tan fina y son usados cuando la roca está diaclasada o en canteras en las que se extrae mineral grueso (Exsa SA, 2009).

– **Velocidad Pico Partícula.**

Las voladuras producen vibraciones en el subsuelo que pueden causar daños en las estructuras circundantes debido a los esfuerzos y deformaciones de tipo dinámico que se superponen a las estáticas. Los estudios teóricos muestran que la velocidad a la que se desplazan las partículas en el subsuelo es la variable determinante de la magnitud de los esfuerzos a los que son sometidas las estructuras (Exsa SA, 2009).

– **Factor de potencia.**

Es la relación entre el número de kilogramos de explosivos empleados en una voladura determinada y el número de toneladas a romper producto de esa voladura o el volumen correspondiente en metros cúbicos a romper. Las unidades son kg/TM o  $\text{kg/m}^3$  (Exsa SA, 2009).

La sobre rotura hacia atrás conocida como Back break, esto producto de la voladura depende de varios factores como la cantidad y energía del explosivo, volumen de gases, secuenciamiento de tiempos entre filas, confinamiento, ausencia de cara libre, dirección de la línea de onda, etc.

El resultado medible que se obtenga determinará la eficiencia del disparo hacia el límite del proyecto tratando de minimizar este resultado (Exsa SA, 2009).

López, López y García (2014) definen que la velocidad de detonación de un explosivo es la velocidad con que la onda de detonación se propaga a través del explosivo. Este parámetro tiene un significado físico de potencia cedida por la detonación del

explosivo, ya que a mayor velocidad mayor será también la energía de tensión cedida en el mismo tiempo.

Los estudios de López et al. (2014) han descrito que los explosivos de alta velocidad se denominan rompedores. Son explosivos adecuados para la voladura de rocas duras – frágiles, donde la fisuración se produce por esa potencia de la onda de detonación. Por el contrario, si la roca es blanda y deleznable, es mejor que la explosión dé lugar a una gran cantidad de gases (pág. 221). En la tabla 3 se detalla valores aproximados de velocidad de detonación para diferentes agentes de voladura.

Tabla 3

*Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura*

AGENTE DE VOLADURA	VOD (m/s) PARA TALADROS DE DIÁMETRO		
	32mm	76 mm	229 mm
Emulsión a Granel	4000 – 4600	4300 – 4900	3700 – 5800
ANFO Cargado Neumáticamente	2100 – 3000	3700 – 4300	4300 – 4600
ANFO Vaciado	1800 – 2100	3000 – 3400	4300 – 4600
ANFO Encartuchado	-	3000 – 3700	4300 – 4600
ANFO Pesado	-	-	3400 – 5800

Fuente: Konya & Albarrán, 1998

La densidad es un parámetro crítico en los explosivos, debido a que de éste dependen muchas características importantes como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras. Además, los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base a su peso (Konya & Albarrán, 1998).

Mora (sf) define que la densidad es un concepto que va íntimamente ligado con el graneado del explosivo. A mayor finura de grano, se obtiene mayor densidad, cuando se carga a hueco lleno. En el límite por comprensión o fusión se puede obtener las mayores densidades de un explosivo (Mora H., 2008).

En la tabla 4 se muestran algunas densidades referenciales para agentes de voladura, las cuales varían entre 0.8 y 1.6 gr/cc. Similarmente a la velocidad de detonación, a mayor densidad incrementa el poder rompedor del explosivo.

Tabla 4

*Densidades para diferentes agentes de voladura.*

<b>TIPO</b>	<b>DENSIDAD (gr/cc)</b>
Emulsión a Granel	1.1 – 1.6
ANFO Cargado Neumáticamente	0.8 – 1.0
ANFO vaciado	0.8 – 0.9
ANFO Encartuchado	1.1 – 1.2
ANFO Pesado	1.1 – 1.4

Fuente: Konya & Albarrán, 1998

La fragmentación que se obtiene como resultado de la voladura es una operación unitaria de suma importancia en el costo global de la mina – planta. Es muy importante analizar el impacto que tendrá la fragmentación obtenida ya que la idea es que se obtenga la mejor calidad de roca, con la forma más eficiente y por supuesto, al menor costo posible.



Dentro del mecanismo de rotura de la roca son diversos los factores que tienen influencia directa en la fracturación del macizo rocoso, pudiendo distinguirse efectos diferentes. Los diferentes factores pueden diferenciarse entre factores intrínsecos a la roca, o bien, factores propios de los explosivos a utilizar. Si bien, en una voladura no es posible actuar sobre los primeros (el macizo rocoso), el éxito de los resultados de una voladura pasará siempre por escoger el mejor explosivo para cada tipo de roca.

Surge en muchas ocasiones el debate en determinar cuál es el mejor tipo de explosivo, existiendo diversidad de opiniones, pero la dificultad no viene en escoger el mejor explosivo, sino en escoger el explosivo más adecuado para el macizo rocoso a volar. (PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS EN MINERÍA, 2013)

Se ha observado que ocasionalmente la fragmentación, no es la adecuada en algunos de los estratos volados, en particular en los estratos más duros, el mineral queda mal fragmentado dando como resultado grandes bloques de rocas, lo que trae como consecuencia baja productividad y disponibilidad mecánica de los equipos de carga y acarreo, a su vez se traduce en un aumento en el costo de producción de mineral removido. En los estratos de menor dureza se observa sobre fragmentación y proyecciones indebidas de rocas, demostrando que la distribución de energía en estas zonas no es la apropiada, indicando que se ha incurrido en un consumo innecesario de explosivos (Montiel N., 2014).

La detonación de todo explosivo comercial produce polvo, vapor de agua ( $H_2O$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO-NO_2$ ) óxidos de carbono ( $CO-CO_2$ ) y eventualmente gases sulfurosos ( $H_2S$ ,  $SO_3$  y  $AlO_2$ ) si contenía azufre o aluminio. Entre los gases inocuos

generados hay siempre cierto porcentaje de productos irritantes tóxicos o letales llamados en conjunto “humos”, como el monóxido de carbono y el bióxido de nitrógeno. De acuerdo a la proporción contenida de estos gases tóxicos se ha establecido escalas de clasificación por grado de toxicidad para la exposición del personal trabajador después del disparo, teniendo como ejemplo a la siguiente del USBM (Buró de Minas de USA).

El Factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y NO en diferentes proporciones). De acuerdo a la proporción contenida de estos gases tóxicos se ha establecido escalas de clasificación por grado de toxicidad, cuya equivalencia métrica según ISO es:

Tabla 5

*Escala de Clasificación por Grado de Toxicidad*

CATEGORIA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO <sub>2</sub> )
1 <sup>ra</sup>	de 0 a 4.53 dm <sup>3</sup>
2 <sup>da</sup>	de 4.53 a 9.34 dm <sup>3</sup>
3 <sup>ra</sup>	de 9.34 a 18.96 dm <sup>3</sup>

Fuente: Manual de Voladura EXSA S.A (2002)

Los gases liberados en las voladuras son indicadores de la eficiencia de la reacción y se asocian a la energía liberada. Cuando se produce un color gris claro de gases, está cerca el balance de oxígeno y se libera el máximo de energía; cuando son amarillos y/o rojizos indican una reacción deficiente. Estos indicadores visuales de mezclas

deficientes pueden ser una clasificación sistemática para la identificación de las mezclas en el campo (Famesa, 2017).

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la influencia de la emulsión gasificable SAN-G y HA73G en la fragmentación de la roca en Chaviña, Ayacucho – 2018?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la emulsión gasificable SAN-G y HA73G en la fragmentación de la roca por voladura en Chaviña, Ayacucho - 2018

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar los parámetros de voladura SAN-G y HA 73G, para mostrar los principales indicadores de los procesos unitarios post voladura.
- Evaluar la granulometría obtenida con SAN-G y HA 73G, para optimizar la fragmentación del mineral por voladura.
- Evaluar parámetros del nuevo explosivo emulsión matriz gasificable SAN-G para reemplazar al HA 73G.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El uso de la emulsión gasificable SAN-G y HA 73G influyen en la fragmentación de la roca en Chaviña, Ayacucho – 2018.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Los parámetros de voladura SAN-G y HA 73G influyen en la fragmentación de la roca.
- La granulometría obtenida con SAN-G asegura un p80 adecuado en la fragmentación.
- Dentro de los parámetros evaluados, se observa los mejores beneficios en el nuevo explosivo emulsión matriz gasificable SAN-G.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según el propósito, el tipo de investigación es aplicada, porque se basa en recoger información de la realidad para enriquecer el conocimiento teórico científico. Se pretende aplicar una tecnología existente, el explosivo SAN-G para mejorar la fragmentación de la roca por voladura en Chaviña, Ayacucho -2018.

El diseño de investigación es cuasi experimental, ya que se realizan pruebas para determinar si el uso del explosivo SAN-G en voladuras a cielo abierto genera a diferencia del explosivo HA 73G, una fragmentación p80 de 2 1/2” en la operación.

En los diseños cuasi experimentales, los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento: son grupos intactos. Además, la variable independiente es manipulable de forma intencional para analizar la alteración de la variable dependiente. (METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN, 2014-6° Edición, pág. 151)

Tabla 6 *Matriz Operacionalización de Variables*

VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
INDEPENDIENTE	Parámetros de voladura SAN-G y HA 73G	Los parámetros en Voladura son todas las Variables que se pueden controlar durante y después del disparo, las cuales se miden para poder valorar la voladura.	Las propiedades de cada grupo de explosivos permiten predecir cuáles serán los resultados de fragmentación, desplazamiento y vibraciones más probables. Las características más importantes son: potencia y energía desarrollada, velocidad de detonación, densidad, presión de detonación, resistencia al agua y sensibilidad. Otras propiedades que afectan al empleo de los explosivos y que es preciso tener en cuenta son: los humos, la resistencia a bajas y altas temperaturas, la desensibilización por acciones externas, etc. (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, 2015)	Densidad del explosivo	Entre 1.15 a 1.19 g/cc
				Velocidad de detonación VOD	Por encima de los 6000 m/s
				Factor de potencia	Bajo (0.18 a 0.20 kg/ton)
					Media (0.21 a 0.28 kg/ton)
					Alto (0.30 a 0.48 kg/ton)
Gases nitrosos	Color gris claro. Color Amarillo, rojizo.				
DEPENDIENTE	Fragmentación de la roca	La fragmentación de rocas es uno de los principales objetivos en toda operación de voladura.	Se evalúa la fragmentación para determinar el tamaño promedio de la roca y su distribución (porcentaje de material fino y grueso).	Granulometría	p80
				Sobre rotura (back break)	Metros
				Velocidad de excavación de frente de minado (dig rate)	Minutos

Fuente: Elaboración propia.

## **2.2. Población y muestra**

### **2.2.1. Población:**

Proyectos de voladura de producción en Chaviña.

### **2.2.2. Muestra:**

11 proyectos de voladura de producción en Chaviña, que representa un total de 2922 taladros cargados, ejecutados a partir del 06 de Setiembre al 22 de diciembre del 2018.

Los bancos utilizados para la prueba fueron el B-4112 y B-4104, con dominios de alteración sílice granular y sílice masiva.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. De recolección de información:**

La técnica de recolección de datos es la observación y el análisis documental, realizado a través de la información de reportes de voladura y bibliográfico. Esta última nos ha servido para recaudar información del mapeo geomecánico del macizo rocoso del banco en estudio, parámetros de la perforación en bancos, Kpis de la voladura, nivel de daño que se produjo en el macizo. Los instrumentos a utilizar son la ficha de experimentación para anotar las mediciones de los Kpis de la voladura y la fragmentación.

Para realizar el monitoreo de las velocidades de detonación, se utilizó un equipo Microtrap, de marca MREL, este equipo es conectado al taladro por medio de un cable de prueba (Probecable) de 10.80 ohm/m, el cual va unido

a “la prima” (cebo), luego por medio de un cable coaxial RG 58, se aleja el equipo de la zona de disparo.

Los instrumentos para la recolección de datos se ubican en el Anexo 1 y son los siguientes:

- Instrumento para resumen de disparos y consumos de SANG y Heavy Anfo en tajos de Chaviña.
- Instrumento para resumen de disparos realizados para evidencia de gases nitrosos.
- Instrumento para registro de p80 obtenidos del análisis granulométrico.
- Instrumento para levantamiento topográfico de límites de rotura.
- Instrumento para dig rate de los disparos.
- Instrumento para costo de voladura HA 73G y SAN-G.

El procedimiento del experimento es el siguiente:

Una vez ubicada la emulsión gasificada en silos de almacenamiento se procede a transportarlo con un camión a la zona donde se realiza la voladura, en donde previamente se han realizado las perforaciones correspondientes, luego se procede a rellenar las perforaciones con la sustancia mencionada, luego se lo hará reaccionar para obtener la explosión requerida para lograr la voladura. Para cuantificar el experimento se usa el siguiente equipo en la Tabla 7.



Tabla 7

*Equipos usados para obtener datos de la voladura.*

<b>EQUIPO</b>	<b>USO</b>
Cámara de alta velocidad	Para el análisis por cuadro del proceso de detonación
Grabado de Vod	Para medir la velocidad de detonación VOD de las explosiones
Densímetro de líquidos	Para comprobar la densidad del sensibilizador N-20
Software Power Split	Para el análisis de fragmentación
Decímetro de balanza	Para medir la densidad de la emulsión
Termómetro digital	Para medir la temperatura del explosivo y ambiente

Fuente: Elaboración propia

### **2.3.2. De análisis de los datos:**

Luego se realizó una recopilación de los datos obtenidos en los instrumentos y posteriormente sistematizados a través de herramientas informáticas como son las hojas Excel y Word.

Para realizar el análisis de fragmentación, se tomaron las fotografías del material volado en los proyectos cargados y disparados con SAN-G, se utilizó el software Power Split, el cual está diseñado para hacer análisis granulométrico; con la toma de fotografías del frente volado, este programa empieza generando la imagen de las rocas fracturadas y la convierte en una net de fragmentos y gráficos, luego es medida, matizada y plotada a una selección estadística.

Se analizó un promedio de 20 fotos por proyecto disparado, distribuidos por frentes de minado según su avance. Esto nos da un indicativo de los resultados

preliminares obtenidos y la distribución granulométrica que se ve reflejado en el minado y material que es trasladado a PAD.

### PROCESO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 3 Proceso de análisis granulométrico  
Fuente: Famesa Explosivos

### Tipo y Columna Explosiva

En la etapa inicial de las pruebas se mantuvo el diseño de Per-Vol, luego teniendo en Consideración las propiedades del macizo rocoso, su interacción con el explosivo, la Geometría de la malla de perforación y los resultados obtenidos se modificó el diseño de carga para las mezclas explosivas Gasificables. Estos nuevos diseños fueron evaluados post voladura, analizando la granulometría obtenida y los Dig Rate de las excavadoras en los frentes disparados.

Los diseños están en función de los dominios litológicos brindados por el área de geología de la mina en Chaviña:

Tabla 8

*Caracterización geomecánica del macizo rocoso*

Tipo de alteración	Densidad (g/cc)	RMR	RQD	Tipo de roca
Sílice granular deleznable	2.05	58	53	III: Media
Sílice granular	2.31	65	62	II: Buena
Sílice Masiva	2.50	70	65	II: Buena

Fuente: Área de Geología de la mina en Chaviña.

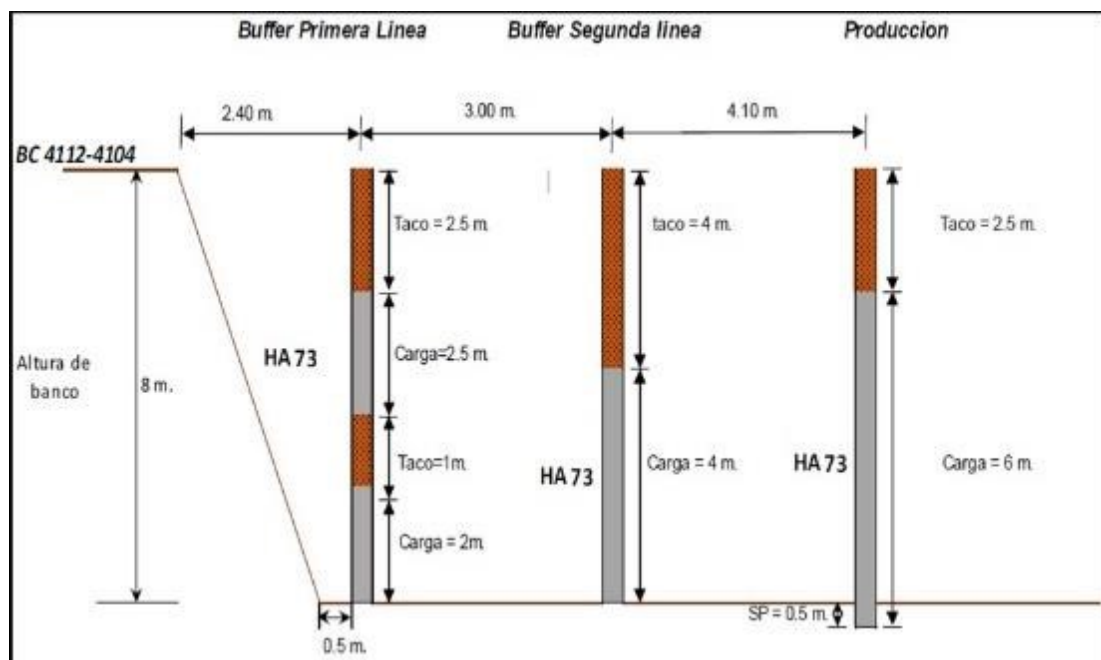


Figura 4 Diseños de carga propuestos con Heavy Anfo para Sílice granular/Masiva.

Fuente: Famesa Explosivos, 2017.

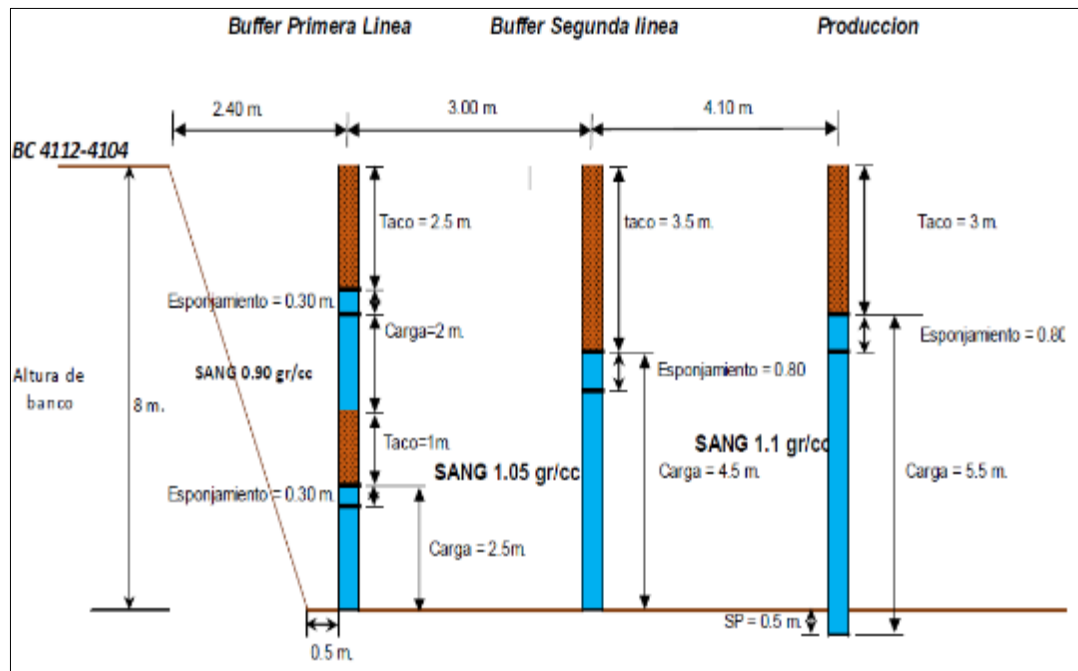


Figura 5 Diseños de carga propuestos con SAN-G para Sílice granular/Masiva.

Fuente: Famesa Explosivos, 2017.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

El área en estudio se encuentra ubicado en el departamento de Ayacucho, entre las provincias de Lucanas, en los distritos de Chaviña y Sancos; entre las coordenadas 614,000 E, 8'349,000 N y 618,000 E, 8'344,000 N UTM (PSAD 56, zona 18 S).

El proyecto es un yacimiento de tipo ácido sulfato (alta sulfuración) con alteraciones sílice masiva, sílice vuggy-granular, sílice alunita, argílico y propilítica; emplazada en rocas volcánicas de composición andesítica.

Las reservas de la unidad minera han sido actualizadas al 25 de enero 2015 considerando el modelo de recursos los cuales fueron estimados por cuerpos mineralizados de oro y plata. Se tiene como reservas 2, 282,452 TM con 0.28 g/TM Au y 92 g/TM Ag, el desmonte a extraer es 1 953, 425 TM resultando un striping ratio es de 0.86. Se proyecta recuperar 36,659 onzas de Au equivalentes con una recuperación metalúrgica en oro de 89% y plata de 20% en zona de óxidos.

### 3.1 DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G EN LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA POR VOLADURA EN CHAVIÑA

Tabla 9

*Resumen de Disparos y Consumos de San-G en Tajos de Chaviña*

ITEM	FECHA	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	CANTIDAD EXPLOSIVO	TONELAJE DISPARADO (Tm)	FACTOR DE POTENCIA (Kg/tm)		COSTO VOLADURA (\$/tm)		P80 (pulg)	
							SAN G	HEAVY ANFO	SAN G	HEAVY ANFO		
1	06/09/2018	4112-07	SG	SAN G	25253	49166	0.36	0.17	0.17	0.18	4.51	
2	06/09/2018	4112-08	SG/SM	SAN G	19415	37964	0.50	0.23	0.23	0.25	3.70	
3	12/09/2018	4112-09	SG/SG D	SAN G	36958	94812	0.36	0.17	0.17	0.19	4.32	
4	17/09/2018	4112-10	SG/SM	SAN G	47436	90646	0.36	0.17	0.17	0.18	3.30	
5	25/09/2018	4216-02	ARGILICO	SAN G	15173	35804	0.42	0.21	0.21	0.24		
6	28/09/2018	4104-01	SG	SAN G	51525	108124	0.48	0.24	0.24	0.27	2.96	
7	03/10/2018	4208-29	ARGILICO	SAN G	27671	67636	0.45	0.21	0.21	0.22		
8	07/10/2018	4104-02	SG/SM	HA73G	60953	113031	0.54	0.27	0.27	0.29	2.50	
9	09/10/2018	4184-40	SG	HA73G	16797	29546	0.57	0.28	0.28	0.3		
10	17/10/2018	4200-28	SG	SAN G	21196	50083	0.42	0.22	0.22	0.23		
11	22/10/2018	4104-04	SG/SM	HA73G/HA	54584	101207	0.54	0.27	0.27	0.28	3.17	
						376961	778019.00	0.45	0.22	0.22	0.24	3.49

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 CUANTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VOLADURA SAN-G Y HA 73G, PARA MOSTRAR LOS PRINCIPALES INDICADORES DE LOS PROCESOS UNITARIOS POST VOLADURA.

Durante el desarrollo de las Pruebas Técnicas se cuantifico los parámetros producto de las voladuras. Estas nos dan un indicador de los resultados obtenidos.

- **Control de Densidades “SAN-G” y “HA 73G”**

El control de densidades durante el desarrollo de estas pruebas fue de vital importancia para cumplir con los resultados deseados producto de la voladura. Se

detalla los resultados obtenidos relacionando densidad de explosivo, cantidad de explosivo y tonelaje disparado.

Tabla 10

*Resumen de densidades, Consumos de explosivo y tonelaje disparado*

ITEM	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	ALTURA DE CARGA	TACO	DENSIDAD DE EXPLOSIVO (g/cm <sup>3</sup> )	MALLA	CANTIDAD EXPLOSIVO	TONELAJE DISPARADO
1	4112-07	SILICE GRANULAR	SAN G	6.00	2.50	1.10	4.1 x 4.7	25253	49166
2	4112-08	SILICE GRANULAR	SAN G	6.00	2.50	1.10	4.1 x 4.7	19415	37964
3	4112-09	SILICE GRANULAR	SAN G	6.00	2.50	1.08	4.1 x 4.7	36958	94812
4	4112-10	SILICE MASIVA	SAN G	6.00	2.50	1.08	4.1 x 4.7	47436	90646
6	4104-01	SILICE GRANULAR	SAN G	5.50	3.00	1.08	4.1 x 4.7	51525	108124
8	4104-02	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G	5.70	2.80	1.08	4.1 x 4.7	60953	113031
11	4104-04	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G/HA	5.70	2.80	1.08	4.1 x 4.7	54584	101207

Fuente: Elaboración propia.

- **Medición de la Velocidad de Detonación (VOD)**

Durante las Pruebas se logró realizar siete mediciones de Velocidad de detonación y a la cual detallamos a continuación en la tabla 11.

Tabla 11

*Mediciones de VOD.*

FECHA DE DISPARO	PROYECTO	DENSIDAD	VOD (m/s)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)	TIPO DE INICIADOR	TIPO DE EXPLOSIVO	LONG. TALADRO (m)	TACO FINAL (m)
06/09/2018	4112-07	1.08	4958.00	64.08	Booster 1 Lb	SAN G	8.50	2.50
17/09/2018	4112-10	1.05	5128.00	67.52	Booster 1 Lb	SAN G	8.51	2.50
03/10/2018	4208-29	1.02	5343.00	72.16	Booster 1 Lb	SAN G	8.50	3.00
PROMEDIO		1.05	5143.00	67.92			8.50	
07/10/2018	4104-02	1.08	5082.00	67.34	Booster 1 Lb	HA 73 G	8.48	2.80
22/10/2018	4104-04	1.08	5215.00	70.91	Booster 1 Lb	HA 73 G	8.53	2.80
PROMEDIO		1.08	5148.50	69.13			8.51	

Fuente: Elaboración propia

- Factor de Potencia

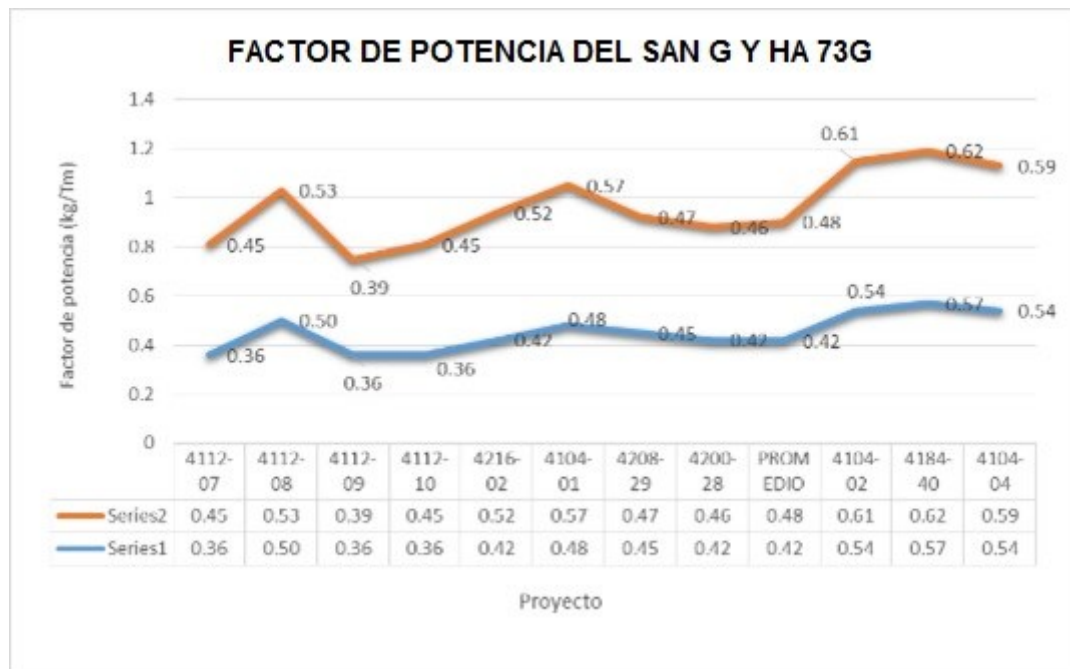


Figura 6 Histograma de Factor de Potencia del SAN-G y HA 73G

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Factor de Potencia SAN-G y HA 73G

FECHA	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	FACTOR DE POTENCIA (Kg/tm)		DIFERENCIA	P80 (pulg)
				SAN G	HEAVY ANFO		
06/09/2018	4112-07	SG	SAN G	0.36	0.45	0.09	4.51
06/09/2018	4112-08	SG/SM	SAN G	0.50	0.53	0.03	3.70
12/09/2018	4112-09	SG/SG D	SAN G	0.36	0.39	0.03	4.32
17/09/2018	4112-10	SG/SM	SAN G	0.36	0.45	0.09	3.30
25/09/2018	4216-02	ARGILICO	SAN G	0.42	0.52	0.10	
28/09/2018	4104-01	SG	SAN G	0.48	0.57	0.09	2.96
03/10/2018	4208-29	ARGILICO	SAN G	0.45	0.47	0.02	
17/10/2018	4200-28	SG	SAN G	0.42	0.46	0.04	
		<b>PROMEDIO</b>		<b>0.42</b>	<b>0.48</b>		<b>3.76</b>
07/10/2018	4104-02	SG/SM	HA73G	0.54	0.61	0.07	2.50
09/10/2018	4184-40	SG	HA73G	0.57	0.62	0.05	
22/10/2018	4104-04	SG/SM	HA73G/HA	0.54	0.59	0.05	3.17
		<b>PROMEDIO</b>		<b>0.55</b>	<b>0.61</b>	0.06	<b>2.84</b>
				<b>9.89</b>	<b>%</b>		

Fuente: Elaboración propia.



En la figura 6 y tabla 12 se detalla el comparativo de los indicadores de Factor de Potencia obtenido en los proyectos disparados. Ambos explosivos tienen un factor de potencia alto (0.42 a 0.61 kg/Tm). Esto comparado con la mezcla explosiva que se está empleando para estos tipos de roca, donde se obtiene un ahorro en el consumo de explosivo de 9.89 %.

- **Mitigación de Gases Nitrosos**

*Tabla 13*

*Resumen de Disparos realizados sin evidencia de Gases nitrosos (humos anaranjados)*

ITEM	FECHA	PROYECTO	TIPO DE EXPLOSIVO	HORA DISPARO hh:mm:ss	HUMOS NARANJAS
1	06/09/2018	4112-07	SAN G	12:40:37	NO
2	06/09/2018	4112-08	SAN G	12:40:37	NO
3	12/09/2018	4112-09	SAN G	12:51:04	NO
4	17/09/2018	4112-10	SAN G	12:29:42	NO
5	25/09/2018	4216-02	SAN G	06:45:42	NO
6	28/09/2018	4104-01	SAN G	13:00:00	NO
7	03/10/2018	4208-29	SAN G	12:46:00	NO
8	07/10/2018	4104-02	HA73G	12:26:06	NO
9	09/10/2018	4184-40	HA73G	12:29:29	NO
10	17/10/2018	4200-28	SAN G	12:32:53	NO
11	22/10/2018	4104-04	HA73G/HA	13:01:15	NO

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7 Disparos Proyecto 4112 07 y 08 (Sin humos naranjas)  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 8 Disparo Proyecto 4122-09 (Sin humos naranjas)  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 9 Disparo Proyecto 4104-01 (Sin humos naranjas)  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 10 Disparo Proyecto 4208-29 (Sin humos naranjas)  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 11 Disparo Proyecto 4104-02 (Sin humos naranjas)  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 12 Disparo Proyecto 4200-28 (Sin humos naranjas)  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA OBTENIDA CON SAN-G Y HA 73G, PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL POR VOLADURA.

- **p80**

Tabla 14

*Registros de p80 obtenidos del análisis granulométrico realizado a los frentes de minado*

ITEM	PROYECTO	TIPO DE EXPLOSIVO	P80 REQUERIDO (pulg)	P80 PROMEDIO OBTENIDO (pulg)	ALTURA DE CARGA (m)	TACO (m)	DENSIDAD DE EXPLOSIVO (g/cm <sup>3</sup> )	CANTIDAD EXPLOSIVO	TONELAJE DISPARADO
1	4112-07	SAN G	2.5	4.51	6.00	2.50	1.10	25253	49166
2	4112-08	SAN G	2.5	3.70	6.00	2.50	1.10	19415	37964
3	4112-09	SAN G	2.5	4.32	6.00	2.50	1.08	36958	94812
4	4112-10	SAN G	2.5	3.30	6.00	2.50	1.08	47436	90646
6	4104-01	SAN G	2.5	2.94	5.50	3.00	1.08	51525	108124
8	4104-02	HA73G	2.5	2.50	5.70	2.80	1.08	60953	113031
11	4104-04	HA73G/HA	2.5	3.17	5,70	2.80	1.08	54584	101207

Fuente: Elaboración propia.

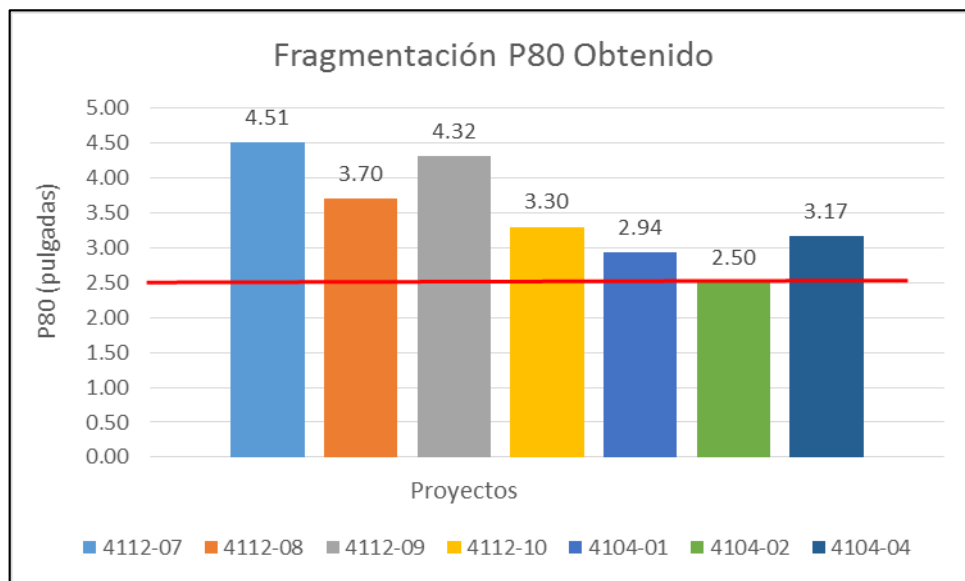


Figura 13 Histograma de p80 obtenido del análisis granulométrico realizado a los proyectos de minado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

*Registros de p80 obtenidos del análisis granulométrico del proyecto 4104-01*

Producto TAMAÑO pulgadas	Peso Acumulativo Pasante
16	100.00
15	100.00
14	100.00
12	99.87
11	99.76
10	99.48
9	99.40
8.5	99.34
8	99.21
7.5	99.16
7	98.84
6.5	98.27
6	97.39
5.5	96.21
5	95.01
4.5	93.06
4	90.02
3.5	85.90
3	80.82
2.5	73.46
2	63.61
1.5	50.70
1	33.24
0.5	11.10
0.25	1.80
0.125	0.41

P80 =	2.94	pulgadas
Mínimo =	0.00	pulgadas
Máximo =	12.518	pulgadas
Promedio :	0.394	pulgadas
Desv Est =	0.461	pulgadas
Moda =	0.500	pulgadas

Fuente: Elaboración propia.

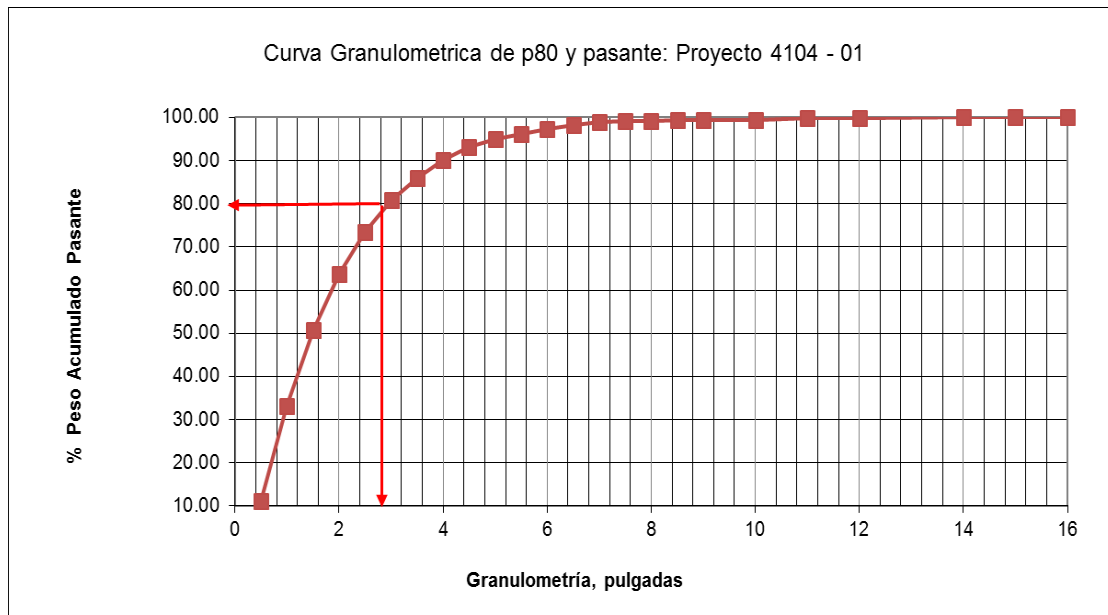


Figura 14 Curva Granulométrica de P80 y pasante del proyecto 4104 - 01

Fuente: Elaboración propia.



- **Control de Sobre Rotura (Back Break)**

Tabla 16

*Levantamiento topográfico de límites de rotura del proyecto 4112 y 4104*

ITEM	TAJO	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	SOBREROTURA AL LIMITE DEL PROYECTO	OBSERVACIONES
1	AYAHUANCA	4112-07	SILICE GRANULAR	HA*	De 2.80 m a 3.6 m en zona de HA	Inicio de la secuencia de detonación en el límite del proyecto
2	AYAHUANCA	4112-08	SILICE GRANULAR	SAN G	'-	Proyecto con cara libre.
3	AYAHUANCA	4112-09	SILICE GRANULAR	SAN G	'-	Proyecto con cara libre.
4	AYAHUANCA	4112-10	SILICE MASIVA	SAN G	'-	Proyecto con cara libre.
6	AYAHUANCA	4104-01	SILICE GRANULAR	SAN G	1.53 m - 1.73 m	Puntual y mínimo.
8	AYAHUANCA	4104-02	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G	1.47 m	Puntual y mínimo.

\* Proyecto compartido en el carguío con SAN G y HA

Fuente: Elaboración propia.



Figura 15 Sobrerotura del macizo rocoso del proyecto 4112-07 disparado con HA.

Fuente: Elaboración propia.

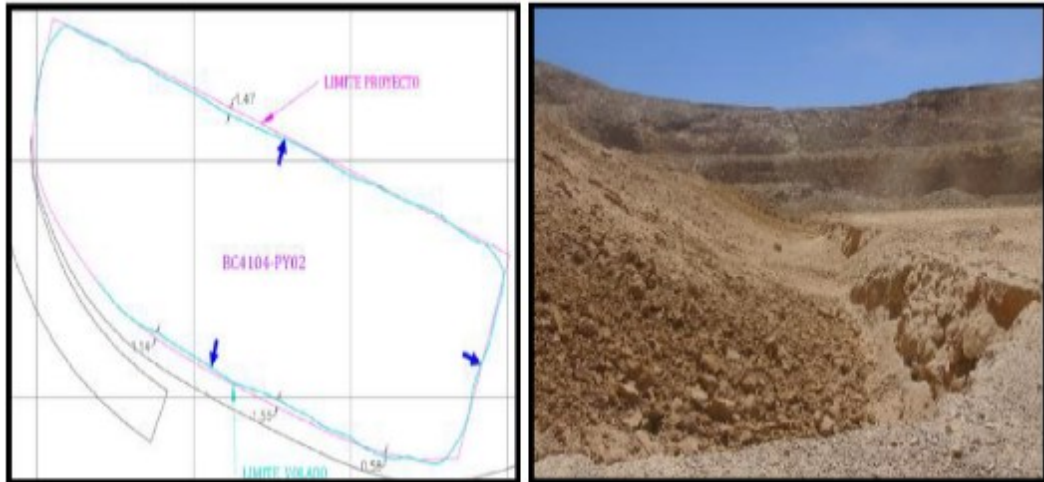


Figura 16 Sobrerotura del macizo rocoso del proyecto 4104-02 disparado con SAN-G.

Fuente: Elaboración propia.

- **Velocidad de excavación de Frente de Minado (Dig Rate)**

El indicador de tiempo de carguío está relacionado directamente con la fragmentación obtenida en los frentes de minado. Se realizó el control de tiempo de carguío (min) en campo, cuantificando los ciclos en que demora la excavadora en cargar a un camión de acarreo lo cual determina la eficiencia del disparo.

Tabla 17

*Dig Rate de los disparos con SAN-G y HA 73G*

ITEM	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	TIPO DE MATERIAL	DIG RATE (min)	OBSERVACIÓN
1	4112-07	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL	01:45	Excavadora
2	4112-08	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL	01:34	Excavadora
3	4112-09	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL	01:40	Excavadora
4	4112-10	SILICE MASIVA	SAN G	MINERAL	01:42	Excavadora
6	4104-01	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL	01:33	Cargador frontal
8	4104-02	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G	MINERAL	01:30	Excavadora
11	4104-04	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G	MINERAL	01:33	Excavadora
PROMEDIO					01:36	

Fuente: Elaboración propia.



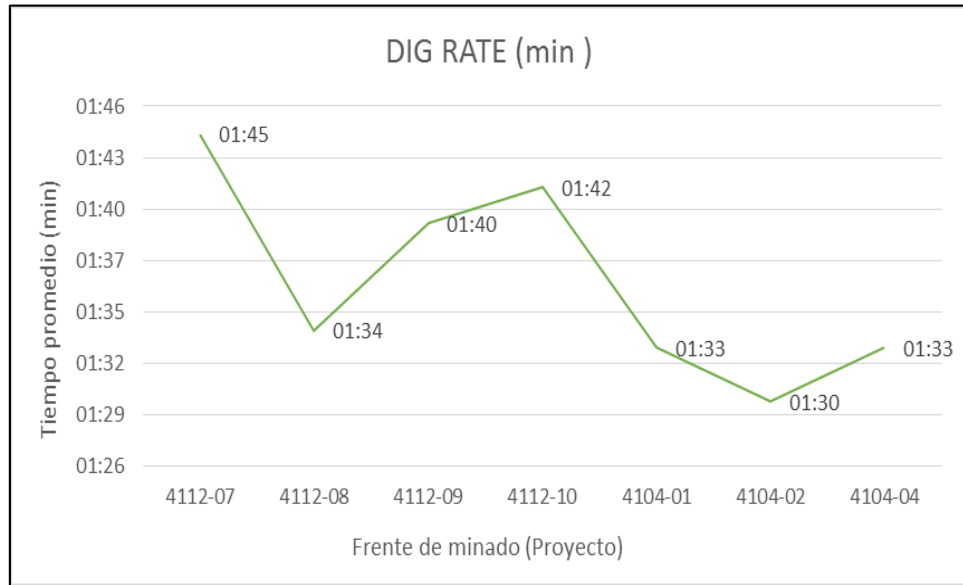


Figura 17 DIG RATE

Fuente: Elaboración propia.



Figura 18 Minado del proyecto 4104-02 con HA 73G

Fuente: Famesa SA, 2017.

- **Costo de voladura**

Durante la etapa de pruebas se cuantifico los costos de voladura obtenidos post disparo, estos fueron comparados con el diseño de carga que se estaba empleando antes de iniciar el proceso de carguío con SANG, (Heavy Anfo).

Tabla 18

*Costo de Voladura HA 73G y SANG*

ITEM	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	COSTO VOLADURA (\$/tm)		DIFERENCIA DE COSTO	P80 (pulg)
				SAN G	HEAVY ANFO		
1	4112-07	SG	SAN G	0.17	0.18	0.01	4.51
2	4112-08	SG/SM	SAN G	0.23	0.25	0.02	3.70
3	4112-09	SG/SG D	SAN G	0.17	0.19	0.02	4.32
4	4112-10	SG/SM	SAN G	0.17	0.18	0.01	3.30
5	4216-02	ARGILICO	SAN G	0.21	0.24	0.03	
6	4104-01	SG	SAN G	0.24	0.27	0.03	2.96
7	4208-29	ARGILICO	SAN G	0.21	0.22	0.01	
8	4104-02	SG/SM	HA73G	0.27	0.29	0.02	2.50
9	4184-40	SG	HA73G	0.28	0.30	0.02	
10	4200-28	SG	SAN G	0.22	0.23	0.01	
11	4104-04	SG/SM	HA73G/HA	0.27	0.28	0.01	3.17
				0.22	0.24	0.02	3.49

DISMINUCION COSTO DE VOLADURA PROMEDIO: 7.22

Fuente: Elaboración propia.

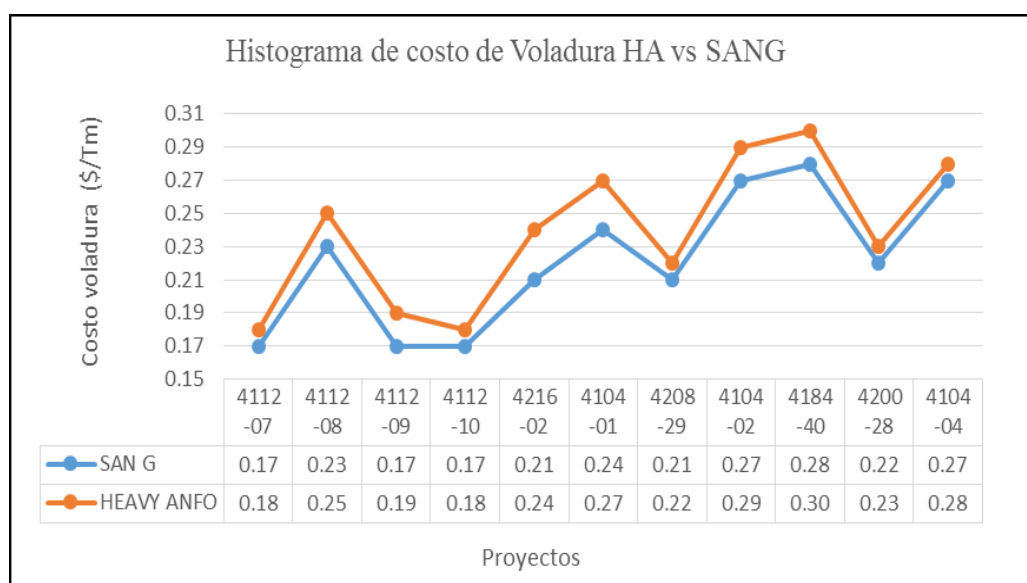


Figura 19 Histograma costo de voladura HA 73G y SAN-G

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 6.1. Discusión

Los 11 proyectos de voladura de producción fueron trabajados con una densidad final de 0.90 a 1.10 gr/cm<sup>3</sup> para desmonte y mineral respectivamente, logrando obtener un esponjamiento óptimo de 8 cm/m con densidad de 1.10 gr/cm<sup>3</sup> y 12 cm/m con densidad de 1.0 gr/cm<sup>3</sup>. (Ver tabla 9). Estos resultados confirman los estudios realizados por (Famesa, 2017) en la cuál el SAN-G es sensibilizado en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros, mediante la dosificación de una solución gasificante produciendo una mezcla explosiva de menos densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO pesado. La densidad del SAN-G es de 0.90-1.20 g/cm<sup>3</sup> y este parámetro determina la velocidad de detonación y el poder rompedor, con lo cual se logra una fragmentación óptima.

Se realizó el monitoreo de Velocidad de Detonación (VOD) a los proyectos disparados con SAN-G y HA 73G obteniéndose 5 registros. La VOD que presento el SAN-G está en el intervalo de 4958 m/s a 5343 con un promedio de 5143 m/s utilizando una densidad promedio de 1.05 gr/cm<sup>3</sup>. La VOD que presento el HA 73G está en el intervalo de 5082 m/s a 5215 con un promedio de 5148.50 m/s utilizando una densidad promedio de 1.08 gr/cm<sup>3</sup>. (Ver tabla 10). Estos resultados confirman los datos técnicos de los dos agentes explosivos de Famesa, 2017.

El factor de potencia es la relación entre los kilogramos de explosivos empleados en la voladura y las toneladas de material rotas por efecto del explosivo. El Factor de Potencia promedio obtenido con emulsión Gasificable SAN-G está en el rango promedio de 0.42 kg/Tm a 0.55 kg/Tm, por debajo de lo obtenido con carga de HA

73G que está en el rango promedio de 0.48 kg/Tm a 0.61 kg/Tm. Esto representa una disminución en el Factor de potencia del orden de 9.89 %. Con estos resultados la granulometría de la fragmentación con SAN-G no fue óptima, porque se logró un p80 promedio de 3.76” comparado con el p80 promedio de 2.84” que se logró con el HA 73G (Ver figura 6 y tabla 11). Los resultados de esta investigación confirman el trabajo realizado por (Mendoza, 2016), en la cual el cambio del uso del explosivo anfo pesado (HA) por la emulsión matriz gasificante (SAN-G) ha permitido obtener la fragmentación requerida en el material roto/volado.

Observando la tabla 12 y figura 7, se observa que no hay presencia de humos naranjas en las voladuras con HA 73G y SAN-G. Estos explosivos presentan un íntimo contacto entre el oxidante y el combustible, permitiendo que la reacción de óxido reducción sea veloz lo que genera una mejor calidad de gases de voladura y un color de humos gris claro cómo se percibió en los 11 disparos realizados en mina. Estos gases son producto del proceso normal de óxido reducción del explosivo al momento de la detonación ya mencionada lo cual indica un correcto balance de oxígeno, eliminando la presencia de gases nitrosos. (Famesa, 2017).

El análisis granulométrico nos permitió cuantificar los resultados con el fin de optimizar el p80 durante el proceso de las pruebas, si bien se tuvo problemas al inicio de las pruebas en el banco 4121, esto se fue revertiendo obteniendo mejoras favorables en los proyectos disparados en el banco 4104, obteniendo p80 promedio de 2.94 en los últimos proyectos disparados. (Ver tabla 13 y 14, figuras 8 y 9).

Se obtuvo buenos resultados de sobre roturas en los proyectos ejecutados con la Emulsión Gasificable SAN-G y HA73 G (Ver tabla 15, figuras 10 y 11). Para esto se modificó los diseños de carga, así como los tiempos de retardo hacia los límites de proyecto disparados, en el cual se pudo evidenciar las mejoras en los disparos ejecutados en el banco 4104. (Ver Figura 4 y 5: Diseños de Carga planteados). Estos diseños permitieron tener un mejor cuidado de Talud (límites) y reducción de sobre rotura que afecte los proyectos contiguos.

Cabe resaltar que en el ciclo promedio de minado (Dig Rate), se obtuvo menores tiempos de ciclo de carguío en los últimos proyectos disparados donde se realizó el cambio de diseño de carga y mezcla explosiva (HA73G), tiempo promedio de 01:30. (Ver tabla 16, figuras 12 y 13).

En la Tabla 17 y figura 14, se muestra que el costo de voladura promedio obtenido con Emulsión Gasificable SAN-G está en 0.22 \$/Tm por debajo del costo de voladura de Heavy Anfo que está en 0.24 \$/Tm esto representa una disminución de 7.22 %. Los resultados de la investigación contrastan con el estudio de (Mendoza, 2016), en la cual el cambio del uso del explosivo Anfo pesado (HA) por la emulsión matriz gasificante (SAN-G) ha permitido ahorrar un promedio de 0.02 \$/Ton según las pruebas realizadas el cual influye en el costo operativo (OPEX).

## 6.2. Conclusiones

Refiriéndonos al explosivo que se usó en estas pruebas técnicas y teniendo en cuenta las condiciones litológicas propias del terreno; la mezcla con que se obtuvo buenos resultados es el HA 73G (Heavy ANFO 73 gasificable).

La densidad final de trabajo después de 30 minutos de carga de explosivo SAN-G al taladro, está entre 1.02 y 1.08 g/cm<sup>3</sup> para una roca con alteración sílice granular (SA) y argílica (rocas suaves). Para rocas duras como SG/SM está en 1.08 g/cm<sup>3</sup>.

La VOD promedio del HA 73G supera al VOD promedio del SAN-G. Se puede concluir que la VOD del HA 73G es la de mayores rangos, lo que da oportunidad de selección de densidad versus el tipo de roca a volar, teniendo como variable la velocidad de detonación del explosivo.

Se concluye que todos los disparos realizados con SAN-G tuvieron menor Factor de Potencia (0.42 a 0.55 kg/Tm), obteniéndose a pesar de ello un p80 promedio con granulometría mayor de lo requerido (3.76"); mientras que todos los disparos realizados con HA 73G tuvieron un Factor de Potencia de 0.48 a 0.61 kg/Tm, obteniéndose un p80 promedio de 2.84"

Sobre la mitigación de gases nitrosos, se puede concluir que con el SAN-G y el HA 73G se eliminaron al 100% generando un beneficio ambiental al proceso de voladura.

Concluimos que en el ciclo promedio de minado (Dig Rate), se obtuvo menores tiempos de ciclo de carguío en los últimos proyectos disparados donde se realizó el

cambio de diseño de carga y mezcla explosiva con HA73G, con un tiempo promedio de 01:30 minutos.

Se concluye que el costo de voladura promedio obtenido con Emulsión Gasificable SAN-G está en 0.22 \$/Tm por debajo del costo de voladura de Heavy Anfo que está en 0.24 \$/Tm, esto representa una disminución de 7.22 %.

## REFERENCIAS

- Arenaza Vásquez C. (2016). *Estudio de factibilidad técnica – económica para implementar una Planta de producción de cal en la concesión minera ARVAA 100 – La Encañada- Cajamarca 2016*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Privada del Norte. Cajamarca –Perú.
- Anchayhua Serna, N. (2012). *Reducción costo por tonelada con el uso de emulsión gasificada (San-G) en minería a tajo abierto*. Lima: UPC Escuela de Posgrado.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (8 de Agosto de 2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid. Obtenido de Seguridad Minera: <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/parametros-en-la-voladura-de-rocas/>
- Emilio López Jimeno (1982). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular, ISSN 0213-4497, N° 3, págs. 417-460. Obtenido de: [http://www.udc.gal/iux/almacen/articulos/cd03\\_art21.pdf](http://www.udc.gal/iux/almacen/articulos/cd03_art21.pdf)
- Equipo minero. (20 de Febrero de 2014). *Nuevas Tecnologías de Tronadura Desafían Prácticas Habituales*. Obtenido de: <http://www.equipo-minero.com/contenidos/1278-nuevas-tecnologias-de-tronadura-desafian-practicashabituales.html#.VSMDIZOAmAQ>
- Estudios Mineros del Perú S.A.C. (Octubre de 2006). *Manual de Minería*. Obtenido de [http://ingenierosdeminas.org/biblioteca\\_digital/libros/Manual\\_Mineria.pdf](http://ingenierosdeminas.org/biblioteca_digital/libros/Manual_Mineria.pdf)
- EXSA S.A. . (2014). Expo Mina Perú. Obtenido de [http://www.expominaperu.com/assets/quantex-expomina\\_final.compressed.pdf](http://www.expominaperu.com/assets/quantex-expomina_final.compressed.pdf)



- EXSA S.A. (26 de Agosto de 2014). EXSA. Obtenido de <http://exsa.net/exsa-lanza-quantex/>
- EXSA S.A. (01 de 2015). Productos. Obtenido de <http://exsa.net/soluciones/productos/nitrato-de-amonio/>
- EXSA SA. (2009). Manual práctico de voladuras. Lima: EXSA SA.
- Famesa Explosivos SAC. (2017). San-G Solución acuosa de nitrato gasificable para minería superficial. Obtenido de <http://www.famesa.com.pe/files/producto/48/San-G.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014-6<sup>o</sup> Edición). *Metodología de la Investigación*.
- Huangal Cruzado, C. A. (2014). Evaluación Técnico Económica del uso del SAN-G en Mina La Arena. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermudez, P. (2015). Manual de perforación y voladura de rocas. España.
- MINEM. (2014). Perú país minero. Obtenido de Principales unidades en producción y proyectos en exploración:  
[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/MAPA/AS/2014/MAPA \(Alta\).pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/MAPA/AS/2014/MAPA (Alta).pdf)
- Montiel N. (2014). *Optimización del diseño de perforación y voladura aplicando cámara de aire con el explosivo Fortis extra, Mina Paso Diablo, Carbones del Zulia S.A, Estado Zulia*. (Tesis). Universidad Central de Venezuela. Junio, Caracas, Venezuela.
- Mora Chamorro H. (2008). *Manual del vigilante de explosivos*. Editorial Club Universitario. Obtenido de

<https://books.google.com.pe/books?id=Edg0DwAAQBAJ&pg=PA140&lpg=PA140&dq=En+el+1%C3%ADmite+por+compresi%C3%B3n+o+fusi%C3%B3n+se+puede+obtener+las+mayores+densidades+de+un+explosivo&source=bl&ots=d3onKjwoh&sig=ACfU3U2BE5LWAJWBap6L6a9AcjpHkTRijA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwib5bfUv8DgAhUmwFkKHdITAH8Q6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q&f=false>

- Southern Copper Corporation. (02 de 2015). Southern Copper Corporation - Historia. Obtenido de <http://www.southerncoppercorp.com/ESP/Pages/default.aspx>
- Urruchi Huamán, P., & Villanueva Lujan, R. (2009). Aplicación y desarrollo de la emulsión gasificada como agente de voladura para reducir los costos. Trujillo: Famesa Explosivos SAC.  
<https://es.scribd.com/document/349964905/Trabajo-Final-de-Perforacion>

# ANEXOS

## Anexo 1

Instrumento para resumen de disparos y consumos de SANG y HA 73G en tajos de Chaviña.

ITEM	FECHA	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	CANTIDAD EXPLOSIVO	TONELAJE DISPARADO (Tm)	FACTOR DE POTENCIA (Kg/tm)		COSTO VOLADURA (\$/tm)		DIFERENCIA DE COSTO	P80 (pulg)
							SAN G	HEAVY ANFO	SAN G	HEAVY ANFO		
1	06/09/2018	4112-07	SG	SAN G								
2	06/09/2018	4112-08	SG/SM	SAN G								
3	12/09/2018	4112-09	SG/SG D	SAN G								
4	17/09/2018	4112-10	SG/SM	SAN G								
5	25/09/2018	4216-02	ARGILICO	SAN G								
6	28/09/2018	4104-01	SG	SAN G								
7	03/10/2018	4208-29	ARGILICO	SAN G								
8	07/10/2018	4104-02	SG/SM	HA73G								
9	09/10/2018	4184-40	SG	HA73G								
10	17/10/2018	4200-28	SG	SAN G								
11	22/10/2018	4104-04	SG/SM	HA73G/HA								
					0	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
DISMINUCION COSTO DE VOLADURA PROMEDIO:											#DIV/0!	

Instrumento para resumen de disparos realizados para evidencia de gases nitrosos.

ITEM	FECHA	PROYECTO	TIPO DE EXPLOSIVO	HORA DISPARO hh:mm:ss	HUMOS NARANJAS
1	06/09/2018	4112-07	SAN G		
2	06/09/2018	4112-08	SAN G		
3	12/09/2018	4112-09	SAN G		
4	17/09/2018	4112-10	SAN G		
5	25/09/2018	4216-02	SAN G		
6	28/09/2018	4104-01	SAN G		
7	03/10/2018	4208-29	SAN G		
8	07/10/2018	4104-02	HA73G		
9	09/10/2018	4184-40	HA73G		
10	17/10/2018	4200-28	SAN G		
11	22/10/2018	4104-04	HA73G/HA		

Instrumento para registro de p80 obtenidos del análisis granulométrico.

Producto TAMAÑO pulgadas	Peso Acumulativo Pasante	
16		
15		
14		
12		P80 = #¡DIV/0! pulgadas
11		Mínimo = pulgadas
10		Máximo = pulgadas
9		Promedio = pulgadas
8.5		Desv Est = pulgadas
8		Moda = pulgadas
7.5		
7		
6.5		
6		
5.5		
5		
4.5		
4		
3.5		
3		
2.5		
2		
1.5		
1		
0.5		
0.25		
0.125		

Instrumento para levantamiento topográfico de límites de rotura.

ITEM	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	SOBREROTURA AL LIMITE DEL PROYECTO	OBSERVACIONES
1	4112-07	SILICE GRANULAR	HA*		
2	4112-08	SILICE GRANULAR	SAN G		
3	4112-09	SILICE GRANULAR	SAN G		
4	4112-10	SILICE MASIVA	SAN G		
6	4104-01	SILICE GRANULAR	SAN G		
8	4104-02	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G		

\* Proyecto compartido e en el carguío con SAN G y HA

Instrumento para dig rate de los disparos.

ITEM	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	TIPO DE MATERIAL	DIG RATE (min)	OBSERVACIÓN
1	4112-07	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL		
2	4112-08	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL		
3	4112-09	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL		
4	4112-10	SILICE MASIVA	SAN G	MINERAL		
6	4104-01	SILICE GRANULAR	SAN G	MINERAL		
8	4104-02	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G	MINERAL		
11	4104-04	SILICE GRANULAR/MASIVA	HA73G	MINERAL		
PROMEDIO					#iDIV/0!	

Instrumento para costo de voladura HA 73G vs SAN-G.

ITEM	FECHA	PROYECTO	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE EXPLOSIVO	COSTO VOLADURA (\$/tm)		DIFERENCIA DE COSTO	P80 (pulg)
					SAN G	HEAVY ANFO		
1	06/09/2018	4112-07	SG	SAN G				
2	06/09/2018	4112-08	SG/SM	SAN G				
3	12/09/2018	4112-09	SG/SG D	SAN G				
4	17/09/2018	4112-10	SG/SM	SAN G				
5	25/09/2018	4216-02	ARGILICO	SAN G				
6	28/09/2018	4104-01	SG	SAN G				
7	03/10/2018	4208-29	ARGILICO	SAN G				
8	07/10/2018	4104-02	SG/SM	HA73G				
9	09/10/2018	4184-40	SG	HA73G				
10	17/10/2018	4200-28	SG	SAN G				
11	22/10/2018	4104-04	SG/SM	HA73G/HA				
					#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!

DISMINUCION COSTO DE VOLADURA PROMEDIO: #iDIV/0!

## Anexo 2



Foto1 Chequeando kit de densidades.



Foto2 Medición de densidad del SAN-G en campo.



Foto3 Colocado de cachaco y cinta de peligro en taladro



Foto4 Identificación del punto de inicio y taladros tapados con  
stemming y detritos





Foto 5 Camión fábrica de FAMESA cargando SAN-G al taladro.



Foto 6 área frente volado con sobre rotura.



Foto 7 Coordinaciones con la supervisión de perforación y voladura.



Foto 8 Plataforma lista para el inicio de la voladura.