

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE PARA MEJORAR LA  
VOLADURA EN LA MINA A TAJO ABIERTO SANTA ROSA 2022”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:  
Bach. GUTIÉRREZ SOSA, José Deyby

ASESOR:  
MSc. CCATAMAYO BARRIOS, Johnny Henry

AYACUCHO-PERU  
2022

**UNSCH**FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

### **ACTA N° 043-2022-FIMGC**

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 180-2022-FIMGC-D**, siendo los catorce días del mes de julio del 2022, a horas 11:00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Mg. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**, Jurado el **MSc. Ing. Jaime PALOMINO CLAUDIO** Jurado Asesor el **MSc. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **“APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA A TAJO ABIERTO SANTA ROSA 2022”**, sustentado por el Señor **José Deyby GUTIERREZ SOSA**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Minas**.

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

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

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

Firmado digitalmente  
por Dr. Ing. Efraín Elías  
Porras Flores  
Fecha: 2022.07.18  
08:30:36 -09'00'

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**  
Presidente

Firmado  
digitalmente por Mg.  
Ing. Roberto J.  
Gutierrez Palomino

**Mg. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**  
Jurado

Firmado  
digitalmente por  
Jaime Palomino  
Claudio  
Fecha: 2022.07.14  
14:29:18 -05'00'

**MSc. Ing. Jaime PALOMINO CLAUDIO**  
Jurado

Firmado digitalmente  
por Mg. Ing. Ccatamayo  
Barrios Johnny Henry  
Fecha: 2022.07.15  
07:31:50 -05'00'

**MSc. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**  
Jurado - Asesor

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso

c.c.:  
Bach. José Deyby GUTIERREZ SOSA  
Jurados (4)  
Archivo

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
Av. Independencia S/N  
Ciudad Universitaria  
Central Tel 066 312510  
Anexo 151

**UNSCH**FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 040-2022-FIMGC

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

**Apellidos y Nombres** : GUTIÉRREZ SOSA, José Deyby  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA DE MINAS  
**Título de la Tesis** : "APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA A TAJO ABIERTO SANTA ROSA 2022".  
**Evaluación de la Originalidad** : 29 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 1869064499

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

Ayacucho, 11 de julio del 2022

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
de la FIMGC

Con depósito para Sustentación y Tramite de Titulo

# “APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA A TAJO ABIERTO SANTA ROSA 2022”

*por José Deyby Gutiérrez Sosa*

---

**Fecha de entrega:** 11-jul-2022 12:32a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1869064499

**Nombre del archivo:** Tesis\_GUTI\_RREZ\_SOSA\_DEYBY\_EPIM.pdf (2.59M)

**Total de palabras:** 14927

**Total de caracteres:** 85614

# “APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE PARA MEJORAR LA VOLADURA EN LA MINA A TAJO ABIERTO SANTA ROSA 2022”

## INFORME DE ORIGINALIDAD

29%

INDICE DE SIMILITUD

27%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	14%
2	<a href="https://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
3	<a href="https://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
5	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
6	<a href="https://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%



9	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://repositorio.unamba.edu.pe">repositorio.unamba.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://repositorio.unam.edu.pe">repositorio.unam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
14	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Tecnológica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 30 words

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a Dios por guiar mi camino.

A mis padres Remigio y Marisol por acompañarme en esta etapa de mi vida, y por ser mi mayor fuente de inspiración para alcanzar mis objetivos y metas.

A mis Hermanos Ruly, Meliza y Luz Clara, gracias por su apoyo y por estar en los momentos más importantes de mi vida, este logro también es de ustedes.

A mi amada compañera Abigail y a mi hijo Jheremy mi motivo para seguir dando lo mejor de mí.



## **AGRADECIMIENTO**

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

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

## RESUMEN

Esta investigación denominada “Aplicación de la emulsión gasificable para mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022”, tiene como objeto evaluar y experimentar el uso de emulsiones gasificables ya que estas reemplazan favorablemente a una mezcla denominada "ANFO pesado" compuesta por diversas proporciones de nitrato de amonio y gasolina y emulsiones convencionales. Por lo tanto, el proceso de chorro de emulsión elimina por completo el uso de nitrato de amonio y aceite.

En la minera Santa Rosa busca mejorar el desempeño de las emulsiones gasificables al reaccionar con soluciones básicas químicamente sensibilizadas justo antes de que sean cargadas en la perforadora por la vía de la fábrica. Luego se inicia la gasificación y se completa con un taladro, se reduce la densidad de 1,35-1,38 a 0,90-0,93 g/cm<sup>3</sup>. Se reduce el consumo de explosivo hasta en un 18% respecto al ANFO PESADO. Aproximadamente 30 minutos después de la carga, se alcanza la altura final deseada de la columna explosiva con la carga final y el hinchamiento logrados de acuerdo con el diseño del bloque. Además, su fuerza destructiva permite expandir la malla de perforación y aumentar el diámetro de la broca. Lo más importante es que estos dos parámetros reducen los costos y reducen el consumo de explosivos (SANG).

Se concluye que “en la Minera Santa Rosa se ha conseguido una mejora general en sus operaciones mediante el empleo de la emulsión gasificable, acompañada de una reducción de sus costos y, por ende, de un incremento de la rentabilidad de la empresa, tan necesaria en esta época de crisis global”.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ÍNDICE .....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo I .....	2
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	2
1.2. Formulación del problema .....	2
1.2.1. <i>Problema General</i> .....	2
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i> .....	3
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Importancia.....	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.6.1. <i>Hipótesis General</i> .....	5
1.6.2. <i>Hipótesis Específico</i> .....	5
1.7. Variables e Indicadores .....	5
1.7.1. <i>Variable Dependiente</i> .....	5
1.7.2. <i>Variable Independiente</i> .....	5
Capítulo II .....	6
2.1. Generalidades .....	6
2.1.1. <i>Ubicación</i> .....	6
2.1.2. <i>Acceso</i> .....	6
2.1.3. <i>Clima y Vegetación</i> .....	6
2.1.4. <i>Geología</i> .....	7
2.2. Antecedentes de la Investigación .....	10
2.3. Bases Teóricas.....	14

2.3.1. Perforación y voladura.....	14
2.3.2. Métodos de ataque al macizo rocoso.....	14
2.3.3. Factores de la perforación y voladura.....	15
2.3.4. Explosivo en la voladura .....	16
2.3.5. Proceso de detonación de explosivos .....	16
2.3.6. Explosivos comerciales .....	17
2.3.7. Propiedades de los explosivos .....	18
2.3.8. Agentes de voladura .....	20
2.3.9. Sensibilización y gasificación de la emulsión.....	22
2.3.10. Solución gasificante.....	23
2.3.11. Factores que afectan la gasificación .....	24
2.3.12. Fabricación de la emulsión gasificada en campo .....	24
2.3.13. Variables en el proceso de trituración de rocas .....	24
2.3.13.1. Variables no controlables.....	24
2.3.13.2. Variables controlables.....	26
2.3.14. Voladura de Producción.....	26
2.3.15. Mecanismos de ruptura de la roca .....	27
2.4. Definiciones conceptuales.....	29
Capítulo III.....	31
3.1. Tipo de Investigación .....	31
3.2. Nivel de Investigación.....	31
3.3. Diseño de Investigación .....	31
3.4. Muestra.....	32
3.5. Muestreo.....	32
3.6. Metodología .....	32
3.6.1. Recopilación de datos y planeación del trabajo de campo .....	33
3.6.2. Fase de campo .....	33
3.6.3. Fase posterior al trabajo de campo .....	33
3.7. Unidad de análisis .....	33
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
Capítulo IV.....	39
4.1. Mezclas explosivas y voladura.....	39

4.1.1.	Tipos de mezclas explosivas.....	39
4.1.1.1.	Heavy anfo.....	39
4.1.1.2.	Emulsión gasificable SAN-G.....	40
4.2.	Accesorios de voladura .....	41
4.3.	Estándares de diseño de voladura.....	43
4.3.1.	Diseño de la malla de perforación y voladura .....	43
4.3.2.	Diseños de carga con emulsión gasificable y heavy anfo .....	46
4.3.3.	Secuencia de salida y tiempo de retardo.....	48
4.3.4.	Iniciación del disparo.....	50
4.4.	Sistema mecanizado de carga.....	51
4.5.	Análisis de la fragmentación respectiva.....	53
4.5.1.	Registro de disparos.....	53
4.5.2.	Fragmentación .....	53
4.6.	Costos unitarios y totales.....	55
4.6.1.	Costos totales.....	55
Capítulo V	.....	59
5.1.	Emulsión gasificable .....	59
5.1.1.	Descripción de los componentes .....	59
5.1.2.	Descripción de solución N20:.....	60
5.1.3.	Componentes principales de los explosivos comerciales .....	60
5.2.	Características de la emulsión gasificable (SAN G) .....	61
5.3.	Proceso de funcionamiento y control del camión en la preparación del SAN G	62
5.3.1.	Parámetros de proceso de sensibilización de la matriz gasificable en el camión fábrica64	
5.3.2.	Control de mezcla de SAN G en el camión con el PLC.....	64
5.3.3.	Calibración de mezcla explosiva en el camión fábrica.....	65
5.3.4.	Operación del camión fábrica en el bombeo del SANG. ....	66
5.3.5.	Control de calidad del producto.....	66
5.4.	Diseños de voladura con la emulsión gasificable.....	67
5.4.1.	Variables y parámetros de diseño en una voladura primario.....	67
5.4.1.1.	Variables no controlables.....	68
5.4.1.2.	Variables controlables.....	68
5.4.1.3.	Variables de diseño .....	69

5.4.1.4. Parámetros de voladura.....	70
5.4.2. Cuadro de parámetros de voladura .....	72
5.4.2.1. Configuración de mallas de perforación y voladura.....	72
5.4.2.2. Relación de diseños de disparos primarios .....	73
5.4.3. Cálculo de carga con emulsión gasificable.....	75
5.4.3.1. Diseño de carga con emulsión gasificable .....	75
5.4.4. Cálculo del volumen de roca .....	78
5.4.5. Cálculo de factor de carga o factor de potencia.....	79
5.4.6. Factor de energía .....	80
5.5. Mediciones realizadas a la emulsión gasificable (SAN G).....	81
5.5.1. Mediciones de densidades: .....	81
5.5.2. Velocidad de detonación (VOD):.....	84
5.5.3. VOD con emulsión gasificable:.....	85
5.6. Análisis de fragmentación:.....	87
5.6.1. Análisis con wipfrag (minera Santa Rosa) .....	91
5.7. Análisis económico .....	91
Conclusiones .....	94
Recomendaciones .....	95
Bibliografía .....	96

## Índice de figuras

Figura 1.	Estratigrafía del Yacimiento Minero Santa Rosa.....	10
Figura 2.	Desarrollo de una detonación.....	17
Figura 3.	Clasificación de los explosivos industriales rompedores .....	18
Figura 4.	Estructura del ANFO pesado .....	20
Figura 5.	Diseño de carga con ANFO Pesado y emulsión gasificable .....	22
Figura 6.	Reacción de gasificación de la emulsión gasificable .....	23
Figura 7.	Emulsión.....	36
Figura 8.	Estructura del ANFO pesado .....	39



## Índice de tablas

Tabla 1.	Tamaño de partículas de explosivos. ....	21
Tabla 2.	Tabla 3. Características de la solución gasificante .....	23
Tabla 3.	Valores de Ks .....	28
Tabla 4.	Valores de Kj.....	28
Tabla 5.	Valores de Kl.....	28
Tabla 6.	Características de la Emulsion Gasificable SAN-G.....	40
Tabla 7.	Componente N20 sensibilizador de la emulsión matriz .....	40
Tabla 8.	Diseño de la malla de perforación y voladura.....	46
Tabla 9.	Diseños de carga con emulsión gasificable y heavy anfo.....	46
Tabla 10.	Diseños de carga con emulsión gasificable y heavy anfo.....	47
Tabla 11.	Secuencia de salida y tiempo de retardo .....	48
Tabla 12.	Sistema mecanizado de carga .....	51
Tabla 13.	Sistema mecanizado de carga .....	53
Tabla 14.	Prueba de Normalidad de las variables reemplazo deAnfo por Emulsion.....	57
Tabla 15.	Prueba de hipotesis T para dos muestras relacionadas.....	58
Tabla 16.	sensibilización de la matriz gasificable en el camión fábrica .....	64
Tabla 17.	Parámetros de perforación y voladura para diferentes tipos de roca:.....	72
Tabla 18.	Variables de diseño .....	75
Tabla 19.	Densidad para productos a granel .....	83

## INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

## **Capítulo I**

### **Planteamiento del Problema**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La actividad minera evoluciona día tras día, especialmente en relación a los explosivos. Desde un comienzo rudimentario hasta alcanzar un alto nivel de tecnología. A través de la investigación tecnológica y el progreso científico. Siendo el propósito mejorar la voladura de rocas y al mismo tiempo producir la última generación de explosivos que optimicen el valor global de los recursos mineros.

El departamento de perforación y voladura de la mina Santa Rosa viene volonado y retirando hasta ahora 5,5 millones de toneladas por mes, utilizando seis brocas DM45E para operar 2,2 millones de toneladas de mineral y 3,3 millones de toneladas de desechos, utilizando 2 tiros por día en promedio. Por lo tanto, se necesita aumentar los beneficios que se pueden obtener al explotar los recursos.

Por tal motivo en la mina Santa Rosa, se plantea implementar la emulsión gasificable como reemplazo del ANFO, para ver los efectos que estos producirán en la utilización de material explosivo y lo que significa esto en la voladura.

#### **1.2. Formulación del problema**

##### ***1.2.1. Problema General***

¿Cómo la aplicación de la emulsión gasificable influye en mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022?

### ***1.2.2. Problemas Específicos***

- ❖ ¿De qué manera la aplicación de la emulsión gasificable hará posible disminuir la cantidad de explosivo en cada taladro en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022?
- ❖ ¿En qué medida la aplicación de la emulsión gasificable permitirá disminuir el factor de potencia y carga en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022?
- ❖ ¿En qué medida la aplicación de la emulsión gasificable hará posible reducir el costo de explosivo sin variar la calidad de la fragmentación en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022?

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo General***

Identificar como la aplicación de la emulsión gasificable influye en mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- ❖ Determinar de qué manera la aplicación de la emulsión gasificable hará posible disminuir la cantidad de explosivo en cada taladro en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.
- ❖ Evaluar en qué medida la aplicación de la emulsión gasificable permitirá disminuir el factor de potencia y carga en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

- ❖ Determinar en qué medida la aplicación de la emulsión gasificable hará posible reducir el costo de explosivo sin variar la calidad de la fragmentación en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

#### **1.4. Justificación**

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

#### **1.5. Importancia**

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

## **1.6. Hipótesis**

### ***1.6.1. Hipótesis General***

La aplicación de la emulsión gasificable influye positivamente en mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

### ***1.6.2. Hipótesis Específico***

- ❖ La aplicación de la emulsión gasificable hará posible y de manera satisfactoria disminuir la cantidad de explosivo en cada taladro en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.
- ❖ La aplicación de la emulsión gasificable permitirá disminuir en gran medida el factor de potencia y carga en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.
- ❖ La aplicación de la emulsión gasificable hará posible reducir en gran medida el costo de explosivo sin variar la calidad de la fragmentación en la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

## **1.7. Variables e Indicadores**

### ***1.7.1. Variable Dependiente***

Mejora de la voladura.

Indicadores:

- Cantidad de explosivo
- Factor de potencia y carga
- Costo de explosivo y calidad de la fragmentación

### ***1.7.2. Variable Independiente***

Aplicación de la emulsión gasificable

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1. Generalidades

##### *2.1.1. Ubicación*

La mina Santa Rosa, ubicada en el Paraje del Cerro Pampa Larco, a una altura promedio de 3,500 m.s.n.m, en el Poblado de Angasmarca, Distrito de Angasmarca, Provincia de Santiago de Chuco, Departamento La Libertad.

##### *2.1.2. Acceso*

Accesible desde la Ciudad de Trujillo, a través de una carretera afirmada, aproximadamente 225 Km. hasta la mina.

Lima – Trujillo – Santiago de Chuco – Angasmarca – Mina

Lima – Trujillo – Quiruvilca – Quesquenda – Mina

Lima – Chimbote – Pallasca – Mollepata – Mina

##### *2.1.3. Clima y Vegetación*

El clima en la región varía de acuerdo a su altitud. En el fondo de los valles, así como en la parte inferior de los tributarios, existe un clima cálido y seco, las temperaturas en éstos valles oscilan generalmente entre 20°C - 30°C y las precipitaciones son menores.



#### **2.1.4. Geología**

##### **Geología regional**

En la zona afloran rocas sedimentarias, ígneas y volcánicas en menor grado, entre las primeras se han reconocido varias formaciones que abarcan en edad desde el Jurásico Superior (Titoniano) hasta el Cuaternario Reciente.

##### **Geología estructural**

“Estructuralmente el área esta afectada por fracturamientos principales de dirección andina cortados por fracturamientos secundarios de orientación NE; siendo el fracturamiento NW el que determina la orientación de la mineralización”.

Se evidencia la presencia de sobre escurrimientos menores paralelos de bajo ángulo, hasta 20°, con dirección NW siendo importantes controles mineralización y alteración del sistema. Estos sobre escurrimientos en su mayoría son paralelos a la estratificación siendo evidente que aprovecharon Horizontes de Arcilla para su deslizamiento.

Las secuencias estratigráficas presentan en su mayoría espesores hasta 50 cm. las cuales están afectadas formando por plegamientos suaves en los bancos inferiores; en los bancos superiores se muestran en monoclinales opuestos erosionados (Área de geología Mina Santa Rosa, 2020).

## **Geología local**

El depósito Santa Rosa está clasificado como un depósito epitermal altamente sulfurado albergado por areniscas y cuarcitas de Chimú, y está densamente lleno de vetas.

Las primeras fases hidrotermales trituraron estas rocas en brechas, liberando gas de la cámara de magma de posibles invasiones profundas. Gran parte del oro se depositó en pirita y arsenopirita, así como en cantidades muy pequeñas de metales básicos.

Los estudios de análisis microscópico indican que las últimas etapas con oro adicional pueden haber existido en pozos profundos o pueden haber sido removilizadas a partir de la asociación pirita-arsenopirita. La presencia de altos niveles de arsénico, antimonio, diásporas y pirofilita permite clasificar este depósito como epitermal con alta sulfuración, aunque con bajo contenido de cobre.

## **Estratigrafía en Santa Rosa**

De la Formación Chicama de Edad Titoniano Superior, sobre yaciendo discordante ubicada en la Formación Chimú de Edad Valanginiano; al Noroeste y Sureste de Santa Rosa se observa la formación Santa, la que a su vez sobreyace concordante a la Formación Chimú.

La Formación Chimú, está compuesta por areniscas y cuarcitas de color blanco a gris claro, con tonalidades rojizas por intemperismo, lutitas y limolitas se intercalan a estas, con presencia ocasional de lentes de lutita carbonosa.

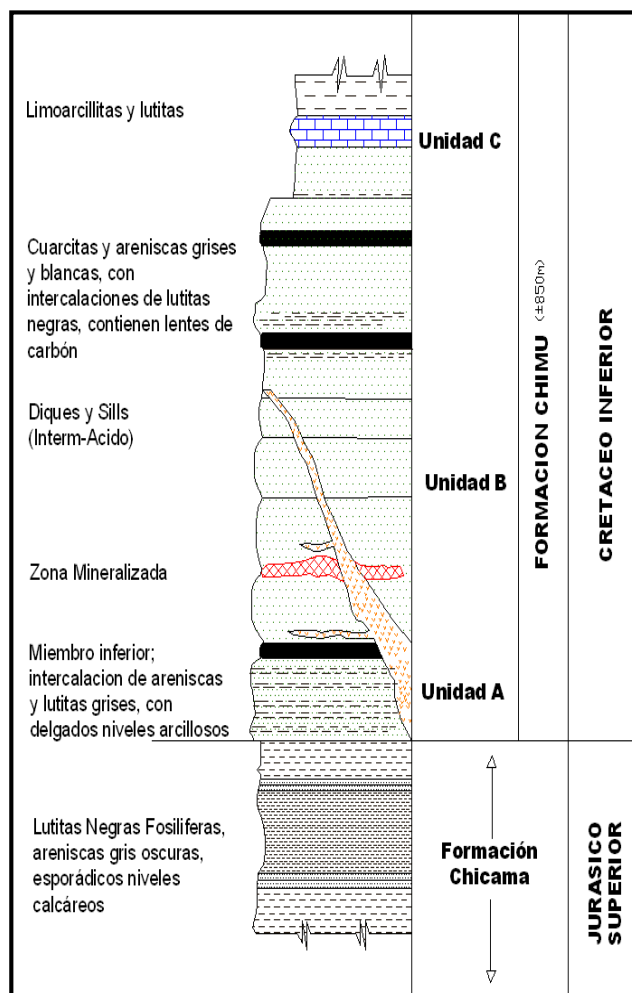
Localmente esta formación presenta tres unidades (J. Jacay, 1995) denominadas:

Unidad A, Unidad B, Unidad C., Jacay hizo esta separación a nivel local, para buscar un estándar en el mapeo de bancos en los tajos y correlacionarlas con las zonas de mineral, ver (figura 01).

**La Unidad A** (0 - 200m) presenta grandes secuencias de areniscas de grano grueso intercalado con delgados niveles de lutitas o limolitas (de hasta 0.50 a 1.0 m).

**La Unidad B** (200 - 297m) presenta una secuencia rítmica de intercalaciones de areniscas de hasta 2.0m espesor de granulometría gruesa a media con lutitas o limolitas de 1.0 a 2.0m de espesor.

**La Unidad C** presenta dos horizontes (1) Horizonte Inferior con predominio de niveles finos como lutitas y limolitas finamente laminadas intercaladas con delgados niveles de areniscas de grano fino con contaminación de limolitas y (2) Horizonte Superior donde se observa un incremento de areniscas de grano fino a medio



**Figura 1. Estratigrafía del Yacimiento Minero Santa Rosa**

\*Fuente: Departamento de Geología Mina Santa Rosa

## 2.2. Antecedentes de la Investigación

### *Artículos científicos*

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

Su propósito es describir las 7 propiedades de los explosivos es la velocidad de detonación, que se puede definir como la velocidad de propagación de la zona de reacción química de detonación.

Concluimos que la velocidad explosiva depende de muchos parámetros, como el material y la

densidad y el diámetro de la carcasa explosiva. Además del grado de fragmentación del cristal, el tipo de iniciación y el contenido del componente particular.

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

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

Medida de la detonación velocidad de EE UkrainitPP2B se llevó a cabo utilizando el método de pruebas experimentales de polígonos. La simulación numérica de cambios en la detonación velocidad de explosivos en pozos se realizó utilizando el método propuesto y las regularidades establecidas. Se han desarrollado métodos de cálculo del cambio de densidad de EE a lo largo de la columna de carga bajo la acción de la presión hidrostática en diferentes ángulos de inclinación de los pozos ascendentes y descendentes. Basado en datos experimentales, regularidades de detonación tasa de cambio de densidad y carga diámetro para EE UkrainitPP2B, que varían según la ley exponencial se han establecido. La aplicación de los resultados del cálculo de la densidad EE en diferentes ángulos de inclinación de los pozos permite determinar en el cargo secciones de columna con sus valores críticos más de 1410 kg/m<sup>3</sup>, en el que una fuerte atenuación de la detonación comienza la tasa. La consideración de este fenómeno

permite prevenir la ocurrencia de fallas en la explosión de las cargas en los pozos durante la rotura del mineral.

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

Arvind, (2018) “*Influence of gasifying agent and density on detonation velocity of bulk emulsion explosives*” La demanda de carbón de los proyectos de minería a cielo abierto está en el lado superior como nunca antes, para los cuales la voladura es la unidad básica de operación. El explosivo juega un papel importante en la voladura y también influye en la interacción explosivo-roca. El tipo de explosivo más común utilizado en las minas de superficie son los explosivos de emulsión. Este artículo presenta el estudio sobre la velocidad de detonación de explosivos de emulsión a granel debido a la variación en el agente gasificante y la densidad. En este estudio Nitrito de Sodio ( $\text{NaNO}_2$ ) se ha utilizado como aditivo generador de gas y se ha observado el comportamiento de explosivos en emulsión con diferentes concentraciones de agentes gasificantes a diferentes temperaturas. Este estudio se realizó para comprender también la variación cíclica de

la temperatura en la cinética de gasificación y el rendimiento del explosivo. El efecto del enfriamiento sobre el comportamiento detonico de los explosivos de emulsión a granel también se ha estudiado y presentado en este documento.

### ***Tesis***

Chugá, (2017), en su tesis titulada ***“Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la Mina Cuajone – Southern Perú”***, su propósito fue hacer un análisis comparativo de los métodos de voladura tradicional y gasificado utilizados en la mina Kuajone en el sur de Perú. El levantamiento fue descriptivo ya que señaló las condiciones geológicas y geomecánicas de los yacimientos, así como las razones por las cuales los resultados de las voladuras del proceso de extracción de materiales no fueron óptimos. Concluimos que los parámetros más relevantes en el diseño de bancos para recuperar mineral de alta ley, mineral de baja ley y tacos utilizados en la mina Quajone están relacionados principalmente con la geología. Aquí, la cuadrícula de diseño efectivamente aplicable es del tipo "escalonado" con una relación de espaciamiento: tensión de 1: 1,15, y el espaciamiento de los orificios de la cuadrícula se proyecta en función de los datos de mapeo, la descripción geológica de la roca. piso. Rediseño de distancia, resultado de cambios en la red de perforación durante numerosas pruebas experimentales realizadas en.Cuajone.

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



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

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

## **2.3. Bases Teóricas**

### ***2.3.1. Perforación y voladura***

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

### ***2.3.2. Métodos de ataque al macizo rocoso***

En la minería a cielo abierto, el propósito de varios métodos de perforación es perforar pozos en el macizo con la distribución y forma adecuadas para absorber la carga y activar los

explosivos. Los macizos rocosos se ven inicialmente afectados por dos grandes acciones o ataques. Mecánica (excavación) y física química (voladura explosiva).

**Ataque Mecánico:** Ataque que ejerce el taladro cuando entra en contacto con una roca. El sistema de excavación viene definido por el método, el tipo de trabajo y la máquina. La perforación rotatoria es popular en las minas y es un método muy versátil para penetrar muchas rocas, desde blandas hasta muy duras, y el impacto ejercido sobre el taladro facilita la trituración. (Figueroa s.f., pag 4)

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

### ***2.3.3. Factores de la perforación y voladura***

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

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

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

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

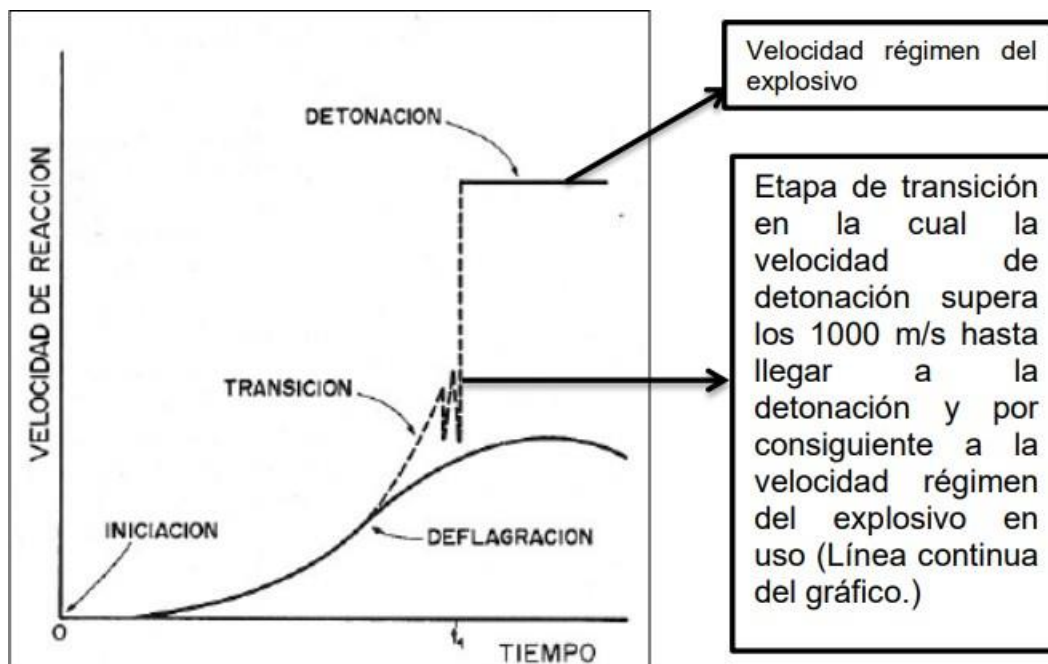
“Control de las voladuras anteriores, y proyección adecuada a los bancos inferiores”

#### ***2.3.4. Explosivo en la voladura***

López, López, y García (2003) indican que el objetivo de la voladura es destruir, triturar y aflojar el lecho rocoso sobre la marcha a un tamaño fragmentado que pueda procesarse de manera eficiente en los procesos de carga, transporte y procesamiento. Indican que los explosivos no son más que una mezcla de productos químicos, algunos combustibles y otros oxidantes, y cuando se inician correctamente, provocan una reacción exotérmica muy rápida, una secuencia químicamente estable a alta temperatura y que ocupan un volumen más grande. Señalan que la remoción de piedras por medio de explosivos radica en tener una cantidad suficiente de energía químicamente concentrada en el lugar adecuado. Por lo tanto, cuando se libera de manera controlada, se puede provocar la fragmentación mas adecuada del material rocoso.

#### ***2.3.5. Proceso de detonación de explosivos***

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



**Figura 2. Desarrollo de una detonación**

\*Fuente: López, (2003)

### **2.3.6. Explosivos comerciales**

El propósito fundamental en el uso del explosivo en el arranque de rocas está en disponer de una energía concentrada químicamente, ubicada en un punto ideal y en cantidad óptima, de forma que liberada de un modo controlado, en tiempo y espacio, pueda lograr la fragmentación del elemento rocoso. Los explosivos vienen en diferentes categorías basadas en diferentes propiedades y usos. Hay varios explosivos utilizados para la minería. Debido al tema del estudio, aquí solo se describen con más detalle los explosivos involucrados e investigados, que hoy en día están más extendidos en la minería a cielo abierto en todo el mundo.



**Figura 3. Clasificación de los explosivos industriales rompedores**

\*Fuente: Manual de voladura, EXSA

### **2.3.7. Propiedades de los explosivos**

Los explosivos poseen propiedades que los definen y clasifican:

#### **Potencia y energía**

“La potencia es una de las propiedades más importantes, ya que define la energía disponible para producir efectos mecánicos. La potencia de un explosivo se suele expresar como Potencia Relativa por Peso (Relative Weight Strength-RWS) y Potencia Relativa por Volumen” (Relative Bulk Strength - RBS).

#### **Velocidad de detonación**

“Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y, por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía. Los

factores que afectan a la velocidad de onda de detonación (VOD) son: la densidad de la carga, el diámetro, el confinamiento y la iniciación. A una mayor densidad, se obtiene una mayor VOD y un mayor poder rompedor. Se suele usar en rocas duras explosivos con altas velocidades de detonación” (Enaex, 2000).

### **Diámetro crítico**

“Las cargas de explosivo con forma cilíndrica tienen un diámetro por debajo del cual la onda de detonación no se propaga o si lo hace es con una velocidad muy por debajo a la de régimen. A dicha dimensión se la denomina diámetro crítico” (Enaex, 2000).

### **Densidad**

“La densidad de la mayoría de los explosivos varía entre 0,8 y 1,6 g/cm<sup>3</sup>. A una mayor densidad, existe un efecto rompedor más intenso ya que proporciona una mayor energía a una misma longitud de carga, ya que la velocidad de detonación es directamente proporcional a esta propiedad del explosivo” (Enaex, 2000).

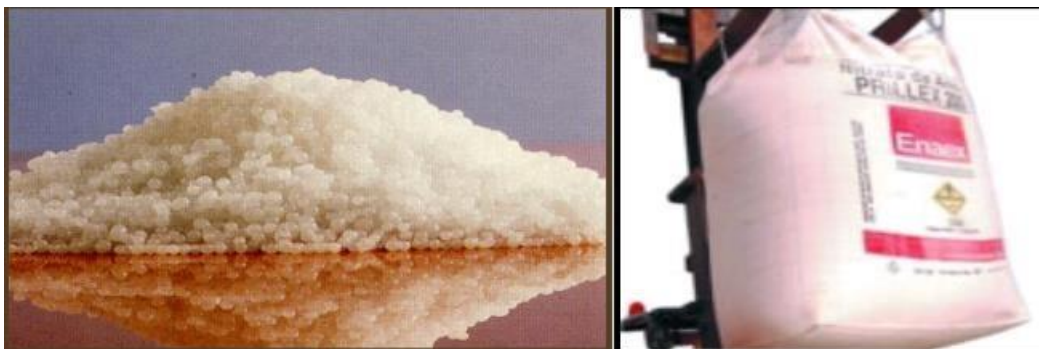
### **Presión de detonación**

“La presión de detonación de un explosivo está función de la densidad y del cuadrado de la velocidad de detonación. Está relacionada al poder rompedor para roca intacta y competente” (Enaex, 2000).

### 2.3.8. Agentes de voladura

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

- a) **ANFO** Es un agente explosivo de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) y no es un explosivo en sí mismo ya que adquiere tales propiedades solo cuando se mezcla con una pequeña cantidad de combustible (6% del peso total), ya sea gasóleo o aceite reciclado. El nitrato de amonio está compuesto de partículas esféricas o gránulos porosos de menos de 1 mm de diámetro que absorben y retienen el combustible.
- b) **ANFO PESADO** “Es la mezcla de dos agentes explosivos, el ANFO y la emulsión matriz en diferentes proporciones, donde la emulsión envuelve los prills de ANFO (Ver figura 04), formando una matriz energética con propiedades específicas”.



**Figura 4. Estructura del ANFO pesado**

\*Fuente: Manual Enaex ,2000

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

El tamaño de los componentes de esta mezcla (oxidante y combustible) afecta directamente la velocidad de detonación y generalmente afecta el desempeño del explosivo. Esto se puede apreciar en la Tabla 1.

**Tabla 1. Tamaño de partículas de explosivos.**

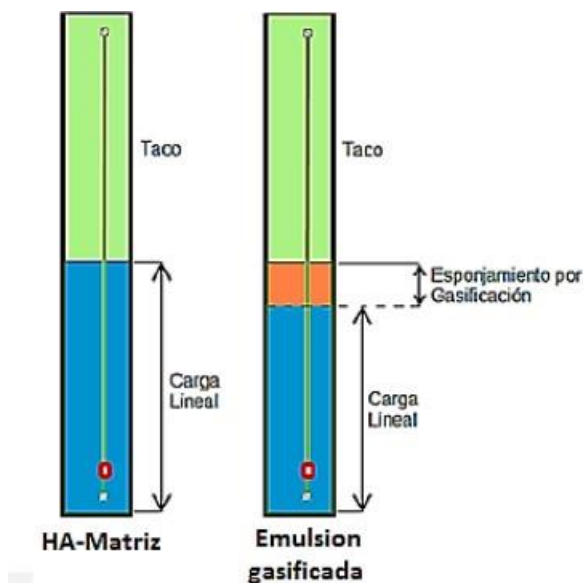
Explosivo	Tamaño (nm)	Estado	VOD (km/s)
ANFO	2,0	Sólido	3,2
Dinamita	0,2	Sólido	4,0
Hidrogel	0,2	Sólido / líquido	3,3
Emulsión	0,001	líquido	5,0 – 6,0

Fuente: Bampfield & Morrey, 1984.

- d) **Emulsion gasificable** Explosivos a base de emulsiones sensibilizados por aditivos químicos (carburadores). Alcance la sensibilidad en el barrenado. Químicamente, está formulado para reaccionar con el agente gasificante nitrito de sodio. El producto de la sensibilización es una mezcla explosiva de densidades menores y variables, con adiciones más o menos grandes de carburadores. El hinchamiento del pozo logrado por el efecto sensibilizador significa que se requiere menos carga explosiva en el pozo y se obtiene la misma altura de carga de diseño. La imagen 05 muestra la gasificación que ocurre en un taladro con emulsión gasificable y otro taladro con ANFO a base de



emulsión de matriz pesada que tiene una densidad constante y no cambia la carga lineal.

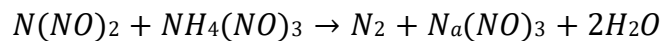


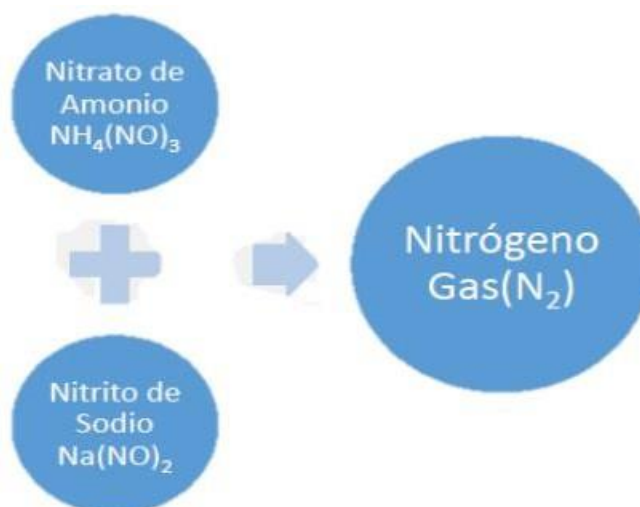
**Figura 5. Diseño de carga con ANFO Pesado y emulsión gasificable**

\*Fuente: Wilson Vilela, 2014

### ***2.3.9. Sensibilización y gasificación de la emulsión***

La mezcla se sensibiliza por la formación de burbujas mediante la adición de un gasificador, en este caso nitrito de sodio ( $\text{NaNO}_2$ ). Este producto químico reacciona con el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) para formar pequeñas burbujas de gas nitrógeno. Las reacciones químicas que ocurren se muestran a continuación.





**Figura 6. Reacción de gasificación de la emulsión gasificable**

\*Fuente: Wilson Vilela, 2014

### **2.3.10. Solución gasificante**

Consiste en una solución acuosa iónica equilibrada que es inerte, no explosiva. Se mezcla in situ en diversas proporciones con una emulsión gasificable, lo que da como resultado una mezcla explosiva homogénea de baja densidad.

**Tabla 2. Características de la solución gasificante**

	<b>ASPECTO</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>Ph</b>
Solucion gasificante	Liquido acuoso	1.12 gr/cc	4.5

\*Fuente: Famesa

### ***2.3.11. Factores que afectan la gasificación***

a) **Solución gasificante.** Agregar cantidades más o menos grandes de solución de gasificación cambiará la gasificación y cambiará la densidad. Cuanto mayor es la inyección, mayor es el hinchamiento obtenido, pero las características de energía y velocidad de detonación disminuyen proporcionalmente.

b) **Temperatura.** La temperatura influye directamente a la gasificación. A mayor temperatura se necesitara menor inyección de solución gasificante para obtener la densidad deseada.

### ***2.3.12. Fabricación de la emulsión gasificada en campo***

“La emulsión gasificable es cargada por camiones fábrica que a diferencia de las unidades convencionales que cargan ANFO pesado, también poseen un compartimiento para la solución gasificante y están provistos de un sistema de gasificación de la emulsión. El producto puede ser cargado al taladro mediante gravedad o por bombeo” (Famesa).

### ***2.3.13. Variables en el proceso de trituración de rocas***

#### ***2.3.13.1. Variables no controlables***

Generalmente son las propiedades físico-químicas del macizo rocoso.

- Resistencia compresiva ( $S_c$ )
- Resistencia tensional ( $S_t$ )
- La hidrología y las condiciones climáticas
- La geología local, regional y estructural
- Las fallas, contactos, discontinuidades, las caracterizaciones geomecánicas (RQD, RMR, Q, etc.)
- Las constantes elásticas del macizo rocoso: Relación de Poisson ( $\mu$ ), el módulo de elasticidad de Young (E), el módulo de rigidez (G), la constante de Lamé ( $\lambda$ ), etc.

### ***2.3.13.2. Variables controlables***

- Variables geométricas: Entre ellas se tienen:
  - a) Burden (B)
  - b) Diámetro de taladro (BHF)
  - c) Espaciamiento (S)
  - d) Longitud de carga (BHL)
  - e) Sobre perforación (S/D)
  - f) Taco (ST), Altura de banco (BH) g) Profundidad de taladro (BHD), etc.
- Variables físico-químicas:
  - a) Tipo de mezcla explosiva
  - b) Densidad de la mezcla explosiva ( $\rho_1$ )
  - c) Parámetros del explosivo
- Variables de tiempo: Tipos y tiempos de retardo, tipos y secuencia de salida, etc.
- Variables operativas: Fragmentación requerida

### ***2.3.14. Voladura de Producción***

Las voladuras que separan la roca del lecho rocoso definen una red de perforación utilizada para cargar explosivos en esta área inmediatamente después de una perforación previa y después del impacto de una explosión por las olas circundantes. El resultado de la voladura juega un papel trascendental en su diseño.

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

### ***2.3.15. Mecanismos de ruptura de la roca***

#### **Perforación**

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

#### **Voladura**

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

#### **Diseño de parámetros para la voladura**

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

Donde: B = Expresado en metros.

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

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

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

**Tabla 3. Valores de  $K_s$**

Tipo de roca	Valor $K_s$
Roca suave	1.35
Roca media	1.20
Roca dura	1.15

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

**Tabla 4. Valores de  $K_j$**

Tipo de roca	Valor $K_j$
Roca suave	0.20
Roca media	0.25
Roca dura	0.30

- Tamaño óptimo de material del taco ( $\mu$ )

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

Donde:  $D_t$  = Diámetro del taladro

- Taco (T)  $T = K_t \times B$
- Longitud de perforación (L)  $L = K_l \times B$

**Tabla 5. Valores de  $K_l$**

Rangos L	Valor $K_l$
Longitud mínima	1.50
Longitud promedio	2.75
Longitud máxima	4.00

## **Carguío**

El propósito de la carga es cargar el material quemado de manera eficiente y segura desde el área de carga hasta el camión para dejar suficiente espacio para la excavación y la voladura.

## **Acarreo**

El propósito de este proceso es retirar el material volado y transportarlo a varios puntos de emisión (trituradoras, vertederos, lugares de almacenamiento) para satisfacer las necesidades de desarrollo y producción.

### **2.4. Definiciones conceptuales**

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

**Densidad:** La densidad es un parámetro importante para los explosivos, ya que muchas propiedades importantes, como la resistencia al agua, la velocidad de detonación y el rendimiento explosivo, dependen del explosivo.

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

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



**Resistencia al agua:** Capacidad de un explosivo para resistir el contacto con el agua sin cambiar sus propiedades o sensibilidad..

**Velocidad de detonación:** “Esta es la velocidad a la que la onda explosiva atraviesa el pilar del explosivo. Por definición, esta velocidad excede la velocidad del sonido que pasa a través de los explosivos. La velocidad de detonación de un explosivo es una cantidad importante que se utiliza para calcular la presión explosiva de un explosivo. La velocidad de detonación se mide en pies por segundo (p/s) o metros por segundo (m/s). Muchos factores afectan la tasa de explosión explosiva, incluido el tipo de explosivo, el diámetro de la columna, el confinamiento y la temperatura”.

## Capítulo III

### Metodología de la Investigación

#### 3.1. Tipo de Investigación

Es tipo de investigación aplicativo, ya que busca “la generación de conocimiento con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad o en el sector productivo. Este tipo de estudios presenta un gran valor agregado por la utilización del conocimiento que proviene de la investigación básica” (Lozada, 2014, p. 35). Así, en esta investigación se busca determinar a través de la aplicación de la emulsión gasificable como mejora la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

#### 3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo debido a que “se busca una explicación y determinación de los fenómenos. En el contexto cuantitativo se pueden aplicar estudios de tipo predictivo en donde se pueda establecer una relación causal entre diversas variables” (Ramos, 2020, p.3). En ese sentido, en esta investigación se trata de explicar de qué manera influye la aplicación de la emulsión gasificable en mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

#### 3.3. Diseño de Investigación

Es una investigación experimental de tipo cuasiexperimental porque “se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente” (Ramos, 2021, p. 2). Asimismo, la investigación de tipo cuasiexperimental se caracteriza porque “se cuenta con dos sub-niveles de la variable independiente: intervención realizada en un grupo experimental y un grupo control sin intervención” (Ramos, 2021, p. 6).

Es así, que se puede indicar que se probara la aplicación de la emulsión gasificable para ver su influencia en la mejora de la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

### **Población**

La población “es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación” (López, 2004, p. 69). Estos pueden ser personas, animales, muestras de laboratorio, cosas, etc. Siendo así, la población de esta investigación la Mina Santa rosa.

### **3.4.Muestra**

La muestra es “un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación” (López, 2004, p. 69). Es decir, es una parte representativa de la población. Por ello, la muestra de esta investigación son las operaciones debajo del nivel 440.

### **3.5.Muestreo**

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

### **3.6. Metodología**

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

### ***3.6.1. Recopilación de datos y planeación del trabajo de campo***

Se hizo una revisión bibliográfica de la información aportada por la empresa minera CIA Minera Santa rosa acerca del tipo de depósito y sus características geológicas, características de la roca y parámetros del macizo rocoso, además del apoyo académico de estudios previos relacionados con la temática de la investigación. Asimismo, se consideró como base teórica el winche de izaje (componentes y tipos), piques (consideraciones, estructuras y métodos), estudio técnico-económico, y métodos de evaluación económica.

### ***3.6.2. Fase de campo***

En esta fase, en un primer instante se recolectó datos acerca del proceso de explotación de la Mina Santa rosa. Y luego se obtuvo datos sobre el método de almacenamiento dinámico (Shrinkage), que es aplicada por la empresa minera mencionada.

### ***3.6.3. Fase posterior al trabajo de campo***

En esta fase se realizó la evaluación de los datos obtenidos en el trabajo de campo. Es así, que en esta etapa se evaluó el avance de la perforación en la Mina Santa rosa, donde se consideró la ubicación, costos, materiales, tiempo, etc. Para luego evaluar la rentabilidad de la operación a través del TIR y el VAN. Así, a partir de los resultados se construyó las conclusiones del trabajo de investigación.

## **3.7. Unidad de análisis**

La unidad de análisis de esta investigación es la construcción del pique en el nivel 440 de la Mina Santa rosa.

## **3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- a) **Observación:** Esta técnica se empleó para describir los procesos operativos de la mina Santa rosa, características y los costos para la profundización de la mina Santa Rosa tomando como punto de partida los indicadores establecidos. Para ello se empleó como instrumentos, el cuaderno de campo y laptop personal.

- b) **Registro de datos de campo:** Al tener la muestra seleccionada se toman datos de campo usando fichas de bases de datos.
- c) **Análisis de datos:** Se realiza el análisis de los datos para realizar la evaluación técnica económica de la profundización en la Mina Santa Rosa. Para ello, se emplea el programa de Microsoft Excel.

### **3.9.Fase Previa a la aplicación de la emulsión gasificable**

#### **Voladura**

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

#### **Explosivos**

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

## **Carga de columna**

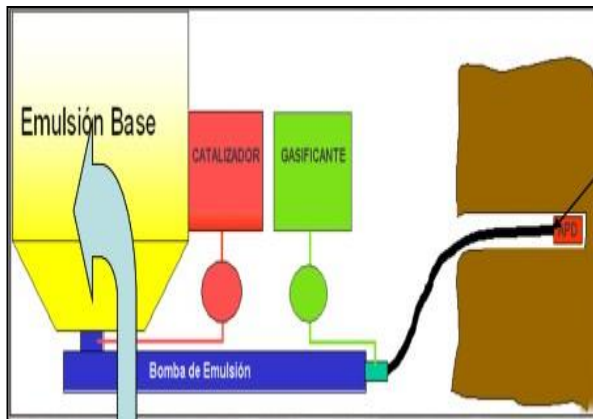
Se entiende como carga de columna a los explosivos que son los encargados de quebrar la roca y que necesitan de un explosivo con mayor potencia para poder iniciar en la mayoría de los casos. Existe una gran variedad de cargas que se pueden utilizar para cumplir esta función.

## **Anfo**

El Anfo es una mezcla de Nitrato de amonio y un combustible. El nitrato de Amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) es una sal inorgánica blanca. Ésta por sí sola no es un explosivo, sólo adquiere esta capacidad al ser mezclado con pequeñas cantidades de un combustible. En la fabricación de explosivos se emplea aquel que tiene forma de partículas esféricas, ya que es el que tiene mejores características para retener a los combustibles líquidos. Cualquier sustancia combustible puede utilizarse con el nitrato de amonio para generar y fabricar un agente explosivo. Antes se empleaba polvos de carbón hasta llegar a ser sustituido por los combustibles líquidos principalmente porque lograban mezclas más homogéneas con el Nitrato de Amonio. El producto más utilizado es el gas-oíl ya que, frente a otros líquidos, presenta la ventaja de no tener un punto de volatilidad tan bajo, en comparación con las gasolinas y el keroseno, teniendo un menor riesgo de explosiones de vapor.

## **Emulsiones**

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



**Figura 7. Emulsión.**

Fuente: Orica (2018).

La incorporación de emulsión promete ciertos beneficios claves:

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

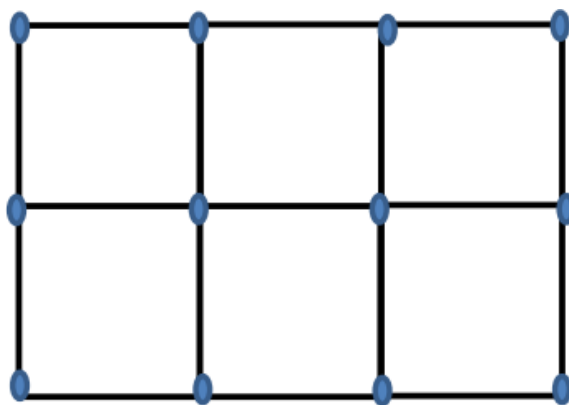
### 3.9.1. Descripción de las acciones realizadas

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

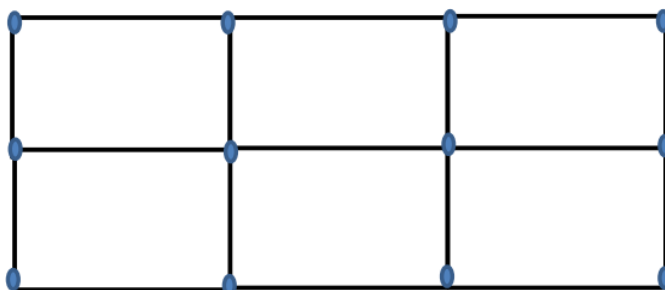
### 3.9.2. Línea Base con Anfo

“Diseño de mallas de perforación. Los diseños de las mallas de perforación se desarrollan dependiendo de la naturaleza y de las propiedades del macizo rocoso y las características de la máquina perforadora el diseño de malla de perforación y la distribución de la carga explosiva de los taladros y el orden de detonación se tiene diversas alternativas y ciertos casos suelen ser demasiado complejos; siendo las más usadas en la minería superficial las siguientes”:

1. CUADRADO: Donde el BURDEN y el ESPACIAMIENTO tienen la misma medida.

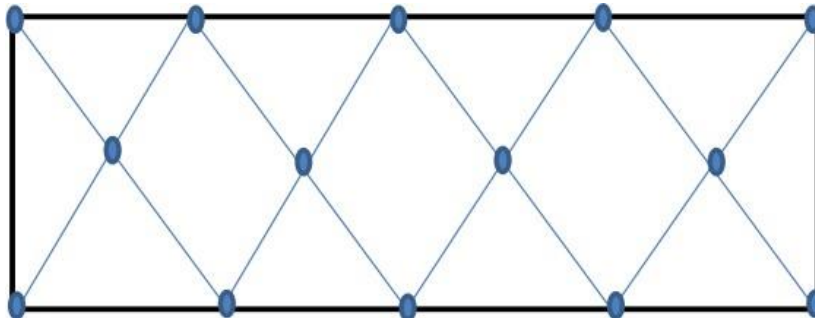


2. RECTANGULAR: Cuando el ESPACIAMIENTO es el doble del BURDEN





3. TRIANGULAR ( TRESBOLILLO): Donde el ESPACIAMIENTO es la mitad del BURDEN



### 3.9.2.1. Pruebas en Terreno

Para poder realizar el análisis, se consideró la toma de información en terreno de 9 frentes a analizar en Mina Santa Rosa, las cuales actualmente se cargaban con ANFO, con el fin de obtener un detalle más acabado de las variables a considerar.

### 3.9.3. Cambio de explosivo con Emulsión

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

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

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

## Capítulo IV

### Recolección de datos y procedimiento experimental

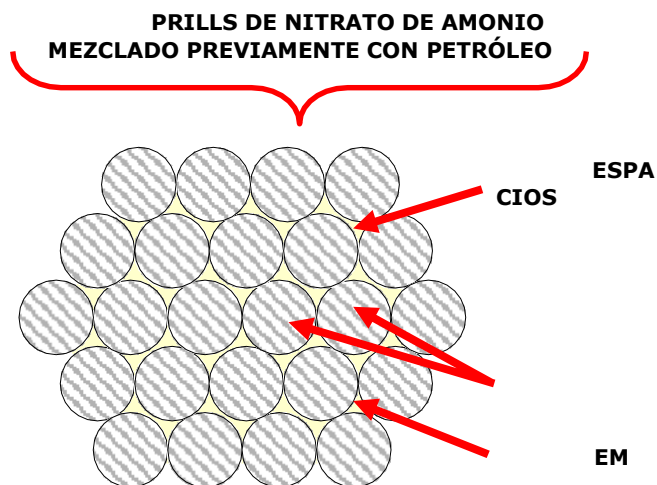
#### 4.1. Mezclas explosivas y voladura

##### 4.1.1. Tipos de mezclas explosivas

##### 4.1.1.1. Heavy anfo

Dado por ANFO con varias proporciones de emulsión. La emulsión actúa como elemento energizante y fortalecedor, ocupando el espacio que existe entre los gránulos de ANFO. Cuanto más ANFO se use, menor será la tasa de explosión y la producción absoluta por peso.

#### ESTRUCTURA DEL ANFO PESADO



*Figura 8. Estructura del ANFO pesado*

\*Fuente: Wilson Vilela, 2014

#### 4.1.1.2. Emulsión gasificable SAN-G

*Tabla 6. Características de la Emulsion Gasificable SAN-G*

CARACTERÍSTICAS	Unidad	SAN_G
Densidad relativa de la matriz inerte	g/cm <sup>3</sup>	1,38
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (*)	g/cm <sup>3</sup>	1,02 – 1,20
Viscosidad (Brookfield HA DVII a 50 rpm)	Cp	14,000
Velocidad de detonación (**)	m/s	4,600
Presión de detonación	kbar	58,20
Energía	kcal/kg	610,00
Volumen normal de gases	L/ Kg	1020,00
Potencia relativa en peso (***)	%	70,00
Potencia relativa en volumen (***)	%	102,00
Resistencia al agua Excelente		excelente
Categoría de humos		primera

#### Solución n-20

*Tabla 7. Componente N20 sensibilizador de la emulsión matriz.*

Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
1	Viscosidad a 20 °C	Cp	1
2	Densidad a 20 °C	g/ml	1.12
3	PH		5.2
4	Apariencia		Líquido acuoso de color azul claro

## 4.2. Accesorios de voladura

### a.- Detonador no Eléctrico FANEL

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

Ingredientes:

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

### b.- Fulminante Común

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

### c.- Mecha de Seguridad

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

Ingredientes:

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

#### **d.- Cordón Detonante**

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

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

#### **e.- Booster**

Mezcla explosiva envasada dentro de un cilindro de cartón.

Ingredientes:

- ❖ Tetranitrato de pentaeritrita
- ❖ Trinitrotolueno

### 4.3. Estándares de diseño de voladura

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

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

#### 4.3.1. Diseño de la malla de perforación y voladura Diseño de malla con SAN-G

##### 1.- Altura de Banco (H)

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

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

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

##### 2.- Cálculo del Diámetro del Taladro

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

Despejando  $\phi$  (mm) tenemos:

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

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

### 3.-Cálculo del Burden Maximo:

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

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

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

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

### 4.- Sobre Perforación:

$$SP = 0.3B$$

$$SP = 0.3 * 14.0$$

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

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

### 5.- Longitud de Taladro:

$$L = H + SP$$

$$L = 26.25 + 1.64$$

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

**6.- Longitud del Taco:**

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

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

**7.- Error de Perforación:**

$$e = 0.05 + 0.03 * L$$

$$e = 0.05 + 0.03 * 27.89$$

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

**8.- Burden Práctico:**

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

$$B = 14.00 - 0.88$$

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

**9.- Espaciamiento:**

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

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

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



**Tabla 8. Diseño de la malla de perforación y voladura**

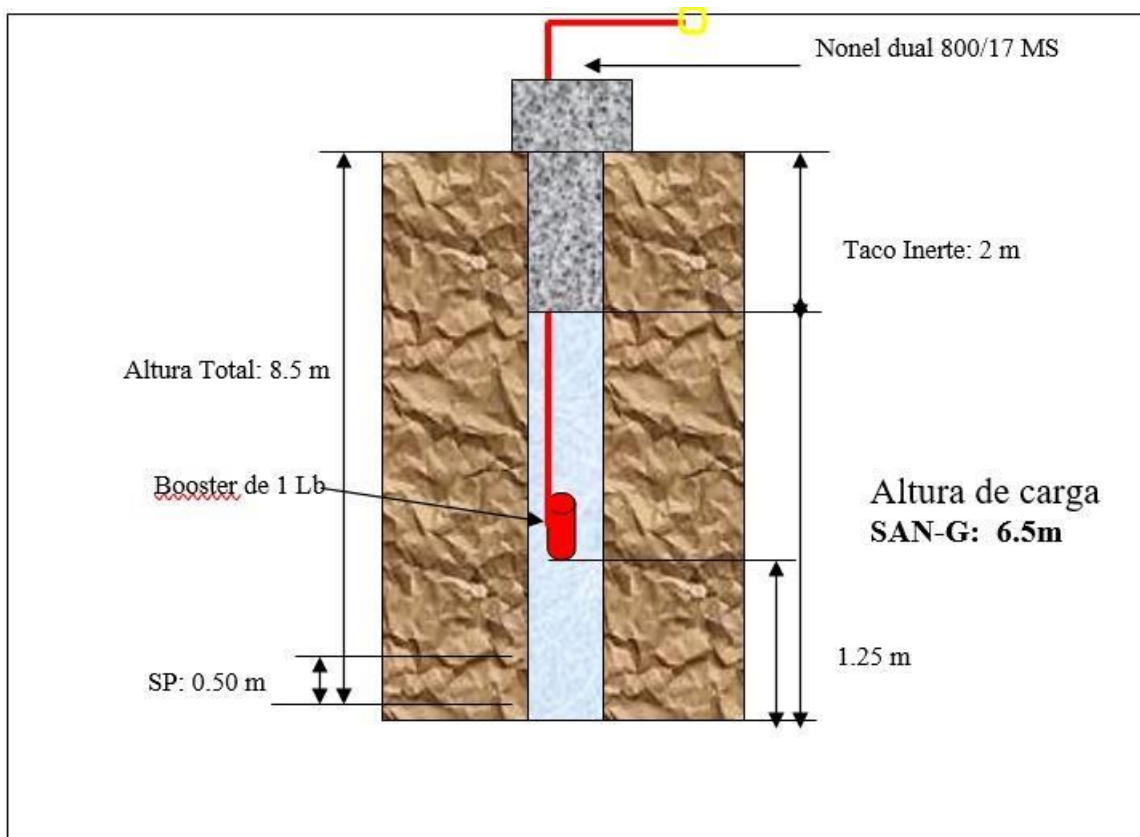
Parámetro	Roca Suave	Roca Media	Roca Dura
<b>Diámetro de taladro (pulg.)</b>	5.75	5.75	5.75
<b>Malla de perforación</b>	Triang. Equila.	Triang. Equila.	Triang. Equila.
<b>Burden (m)</b>	5.65	4.78	<b>3.96</b>
<b>Espaciamiento (m)</b>	6.50	5.50	<b>4.40</b>
<b>Altura de banco (m)</b>	8.00	8.00	<b>8.00</b>
<b>Altura de taladro (m)</b>	8.50	8.50	<b>8.50</b>
<b>Sobre-perforación (m)</b>	0.50	0.50	<b>0.50</b>
<b>Taco (m)</b>	3.00	2.80	<b>2.50</b>

### 3.1.1. Diseños de carga con emulsión gasificable y heavy anfo

El diseño de carga de acuerdo al tipo de roca en los tajos son los siguientes:

**Tabla 9. Diseños de carga con emulsión gasificable y heavy anfo**

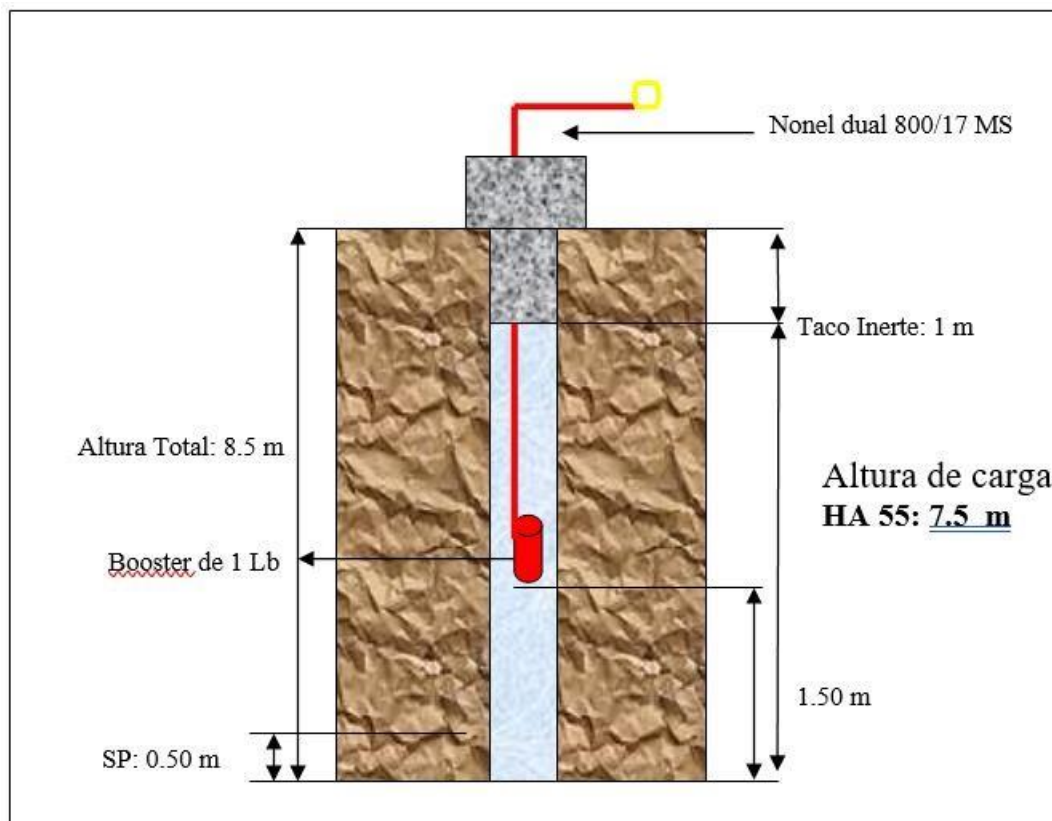
<b>DISEÑO DE CARGA (ROCA DURA)</b>				
<b>Explosivo: EMULSIÓN GASIFICABLE</b>				
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1200	Kg/cm <sup>3</sup>	1.20	gr/cm <sup>3</sup>
Explosivos/taladro	143	Kg/tal		
Emulsión	143	Kg/tal	100%	



**FACTOR DE POTENCIA: 0.43 Kg/Ton**

*Tabla 10. Diseños de carga con emulsión gasificable y heavy anfo*

DISEÑO DE CARGA (ROCA DURA)				
Explosivo: HEAVY ANFO 55				
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1300	Kg/cm <sup>3</sup>	1.30	gr/cm <sup>3</sup>
Explosivos/taladro	163	Kg/tal		
Emulsión	81	Kg/tal		
ANFO	82	Kg/tal	100 %	
Nitrato de Amonio	77	Kg/tal	94 %	
Petróleo	5	Kg/tal	6 %	



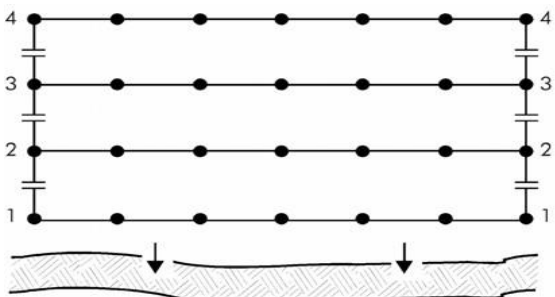
**FACTOR DE POTENCIA: 0.53Kg/Ton**

### 3.1.1. Secuencia de salida y tiempo de retardo

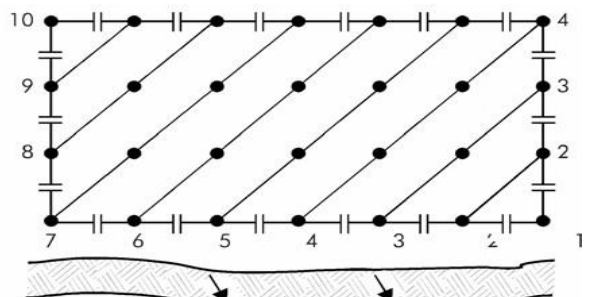
*Tabla 11. Secuencia de salida y tiempo de retardo*

Parámetros de tiempo	Roca Suave	Roca Media	Roca Dura
Retardo entre taladros (ms)	25	17	17
Retardo entre filas (ms)	109	65	42
Secuencia de salida	Echelón	V1	V0

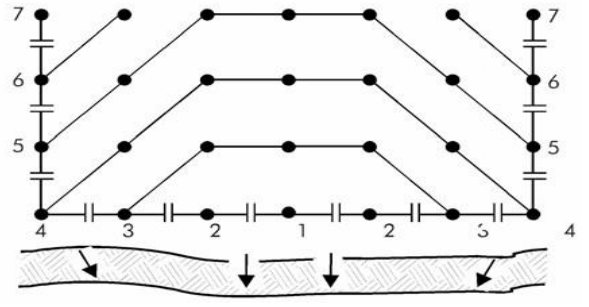
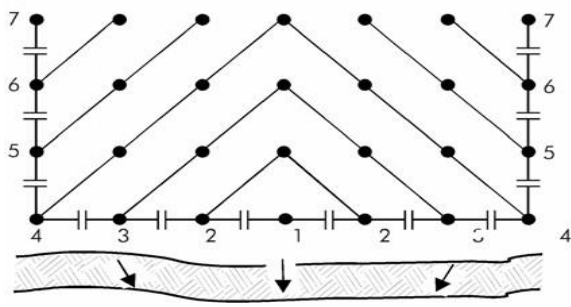
FORMAS DE SALIDA MÁS COMUNES EN MALLA CUADRADA



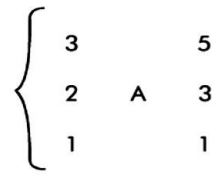
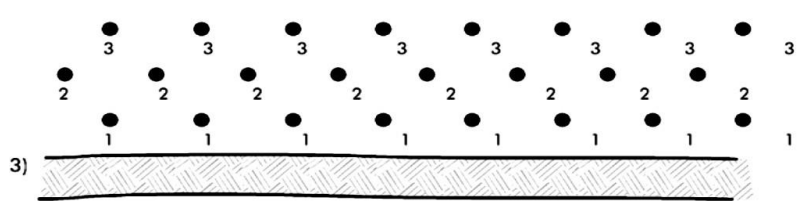
1. SALIDAS EN PARALELO

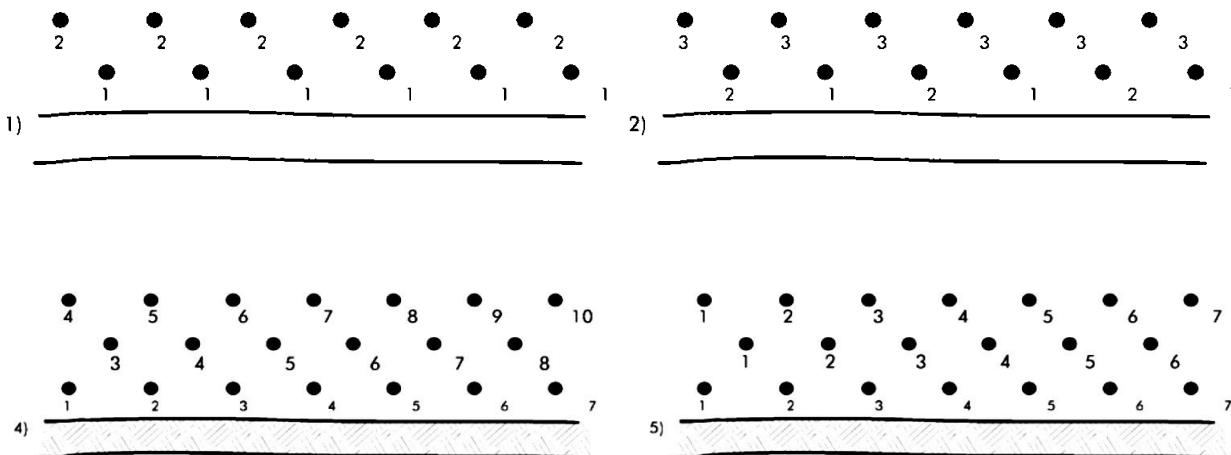


2. SALIDAS EN DIAGONAL



FORMAS DE SALIDA MÁS COMUNES EN MALLA TRIANGULAR





### 3.1.2. Iniciación del disparo

- ❖ Se determina que el área está en la posición de explosión y el sistema de encendido está conectado, instalado o fijado para disparar el disparo. Esta operación se realiza 10 minutos antes del inicio programado del tiro y requiere la aprobación del supervisor de demolición de la mina.
- ❖ “Se procederá entonces a conectar primeramente el retardo N° 0 al primer taladro a detonar y posteriormente se conecta el fulminante encapsulado con la mecha de seguridad en dicho retardo; con la precaución de dirigir el fulminante en sentido correcto respecto a la entrada de fuego, puesto que un error puede dejar sin detonar todo el proyecto”.
- ❖ “Luego de conexión de la Mecha de Seguridad; se esperará la orden del supervisor a cargo del chispeo del Proyecto, para proceder a encender la mecha y realizar el conteo regresivo para el disparo siendo de 4.20 minutos para la detonación”.

### 3.2. Sistema mecanizado de carga

La Compañía Minera Santa Rosa es actualmente la única mina a tajo abierto que opera su propio sistema de carga de explosivos mecánicos en el Perú, proporcionando un alto nivel de eficiencia en el mantenimiento y operación de camiones. Actualmente la mina cuenta con dos camiones de fabricación de explosivos tipo AUGER.

*Tabla 12. Sistema mecanizado de carga*

<b>Camión Explosivo</b>	<b>Capac. tolva de NA</b>	<b>Capac. tolva Emulsión</b>	<b>Capac. tanque petróleo</b>
N° 01	6 toneladas	5 toneladas	200 galones
N° 02	7 toneladas	8 toneladas	280 galones

El próximo año, la unidad se modificará para agregar un sistema bombeable a las futuras aguas del tajo. Nuestro sistema de carga mecanizado nos ha proporcionado las siguientes ventajas: El explosivo queda totalmente adherido a la pared del pozo, eliminando el bucle de aire entre ambos lados y maximizando el volumen excavado para lograr un mejor aprovechamiento de la energía contenida en el explosivo.

Cargar los taladros rápidamente con la consiguiente reducción del tiempo total de la voladura.

Posibilidad de disminución de la mano de obra para las operaciones de carga.

Mayor facilidad y autonomía en el suministro de explosivo así como un mejor control del mismo.

Lo anterior nos ha llevado a mejorar la productividad, siendo innegable que el clásico procedimiento de carga manual de los taladros, resulta inadecuado en nuestra operación.

El criterio para la selección de los camiones fábrica explosivo han sido los siguientes:

Cantidad total de material a ser volado por año y vida de la mina.

Proximidad de viviendas.

Características geológicas.

Costo actual de los explosivos.

Para el sistema mecanizado de carga tipo Auger escogido para la mina se planteó las siguientes premisas:

Diámetro y longitud de taladro.

Tamaño de la voladura.

Taladros secos o húmedos.

Tipo de explosivos a utilizar.

Esquema de la voladura.

Condiciones climáticas durante la campaña.

Número de operarios en la voladura.

Necesidades actuales y futuras.

Nuestros camiones de fábrica cuentan con montantes de montaje superior que funcionan mejor con el diseño de diámetro interior más estrecho. Estas unidades están equipadas con un brazo articulado de 6,5 m y un radio de giro de 345° por encima y por debajo de la vía. La manguera flexible permite que el brazo de descarga, que está a unos 3 m del suelo, gire en un radio de 1,5 m desde el extremo del brazo. Esta función le permite cargar una gran cantidad de taladros sin mover el camión.

La cantidad de explosivo liberado es de aproximadamente 270 a 540 kg/min. Otra

ventaja de este tipo de brazo es que se puede controlar desde la cabina para poder colocar camiones, brazos articulados y rellenar huecos sin salir de la cabina. Esta combinación ahorra mucho tiempo gracias al control desde la cabina. Esta es una gran ventaja incluso con mal tiempo. Estos camiones están estacionados en barriles de polvo de nitrato de amonio al final de la estación en la zona de seguridad con semáforos. La entrega de emulsiones y nitrato de amonio a los camiones de la fábrica de explosivos se realiza en barriles de pólvora y se cuenta con los siguientes silos:

**Tabla 13. Sistema mecanizado de carga**

<b>Emulsion</b>	<b>Silo 01 SAN-G</b>	<b>Silo 02 SAN-G</b>	<b>Silo 03 SAN-G</b>	<b>Silo 04 E. Mat</b>
Capacidad máxima	60 toneladas	60 toneladas	45 toneladas	60 toneladas

<b>Nitrato de amonio</b>	<b>Silo N° 01</b>
Capacidad máxima	16 toneladas

### 3.3. Análisis de la fragmentación respectiva

#### 3.3.1. Registro de disparos

##### *Reportes*

En Minera Santa Rosa, el departamento de perforación y voladura informa sobre todos los disparos, mostrando el número de perforaciones, cómo cargar cada perforadora, el tipo de explosivo utilizado, el tipo de roca, la fecha y el nivel, gráfico de orden de amarre, vatios, presencia de agua, consumo de explosivo por tiro, altura de cada taladro, etc.

#### 3.3.2. Fragmentación

Se utiliza un sistema de análisis "Wip Frag" para evaluar la fragmentación. Consiste en fotografiar el sitio minero en un momento específico y colocar listones de madera rojos y blancos



graduados cada 10 cm con una longitud total de 1 m en el área de análisis. , Actúa como escala de referencia. El resultado que proporciona el sistema es el porcentaje de material que pasa por una determinada malla. Este sistema limita la medición de finos, pero es una gran herramienta para comparar diferentes áreas.

Por ejemplo en el Tajo Tentadora:

## 3.4. Costos unitarios y totales

## 3.4.1. Costos totales

## COSTO DE OPERACIÓN MINA US\$/TM MINERAL PUESTO EN PAD

COSTO US\$/TM		PRESUPUESTO		PROGRAMA MES				
OBRA	Material	DSC CCOSTOS	Prom. Mes	US\$/Tm	% Var	US\$/Tm	% Var	
Tentadora	Mineral	Perforación mineral	0.20	0.18	113%	0.21	92%	
		Voladura mineral	0.13	0.18	72%	0.22	60%	
		Carguio de mineral	0.11	0.12	92%	0.12	91%	
		Mantenimiento de vías de acceso	0.10	0.05	211%	0.06	160%	
		Remocion de mineral	0.00	0.05	4%	0.02	12%	
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.03	0.05	63%	0.05	65%	
		Transporte de mineral	0.22	0.35	61%	0.24	91%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.79</b>	<b>0.98</b>	<b>81%</b>	<b>0.92</b>	<b>86%</b>
	Desmante	Perforación desmante	0.25	0.60	42%	0.52	48%	
		Voladura desmante	0.13	0.38	35%	0.38	35%	
		Carguio de desmante	0.14	0.27	52%	0.30	47%	
		Empuje de desmante	0.03	0.08	34%	0.03	81%	
		Remocion de desmante	0.03	0.05	60%	0.19	15%	
		Transporte de desmante	0.16	0.33	49%	0.43	37%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.74</b>	<b>1.70</b>	<b>43%</b>	<b>1.85</b>	<b>40%</b>
<b>Sub Total Tentadora US\$/Tm mineral en PAD</b>			<b>1.53</b>	<b>2.68</b>	<b>57%</b>	<b>2.77</b>	<b>55%</b>	
Seductora	Mineral	Perforación mineral	0.19	0.16	116%	0.18	105%	
		Voladura mineral	0.12	0.14	85%	0.17	74%	
		Carguio de mineral	0.11	0.11	99%	0.12	96%	
		Mantenimiento de vías de acceso	0.07	0.03	215%	0.04	163%	
		Remocion de mineral	0.02	0.03	48%	0.01	174%	
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.04	0.05	81%	0.02	205%	
		Transporte de mineral	0.38	0.53	72%	0.41	91%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.93</b>	<b>1.06</b>	<b>87%</b>	<b>0.95</b>	<b>98%</b>
	Desmante	Perforación desmante	0.16	0.23	67%	0.25	62%	
		Voladura desmante	0.10	0.21	48%	0.24	43%	
		Carguio de desmante	0.21	0.17	128%	0.28	76%	
		Empuje de desmante	0.03	0.03	94%	0.05	59%	
		Remocion de desmante	0.07	0.03	220%	0.02	362%	
		Transporte de desmante	0.31	0.18	169%	0.25	123%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.88</b>	<b>0.86</b>	<b>103%</b>	<b>1.09</b>	<b>81%</b>
<b>Sub Total Seductora US\$/Tm mineral en PAD</b>			<b>1.81</b>	<b>1.92</b>	<b>94%</b>	<b>2.04</b>	<b>89%</b>	
Sacalla	Mineral	Perforación mineral	0.08	0.14	54%	0.15	52%	
		Voladura mineral	0.06	0.11	51%	0.12	46%	
		Carguio de mineral	0.12	0.13	93%	0.12	102%	
		Mantenimiento de vías de acceso	0.09	0.02	466%	0.03	354%	
		Remocion de mineral	0.01	0.02	40%	0.00	170%	
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.05	0.05	87%	0.04	126%	
		Transporte de mineral	0.43	0.53	81%	0.53	80%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.82</b>	<b>1.00</b>	<b>82%</b>	<b>0.99</b>	<b>84%</b>
	Desmante	Perforación desmante	0.17	0.13	135%	0.12	143%	
		Voladura desmante	0.09	0.10	95%	0.12	75%	
		Carguio de desmante	0.25	0.11	225%	0.07	355%	
		Empuje de desmante	0.02	0.02	86%	0.05	33%	
		Remocion de desmante	0.08	0.02	413%	0.01	640%	
		Transporte de desmante	0.36	0.16	230%	0.25	143%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.96</b>	<b>0.53</b>	<b>183%</b>	<b>0.62</b>	<b>154%</b>
<b>Sub Total Sacalla US\$/Tm mineral en PAD</b>			<b>1.79</b>	<b>1.53</b>	<b>117%</b>	<b>1.61</b>	<b>111%</b>	
Santa Rosa	Mineral	Perforación mineral	0.14	0.15	88%	0.17	80%	
		Voladura mineral	0.09	0.13	69%	0.15	60%	
		Carguio de mineral	0.11	0.12	94%	0.12	98%	
		Mantenimiento de vías de acceso	0.09	0.03	302%	0.04	229%	
		Remocion de mineral	0.01	0.03	28%	0.01	103%	
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.04	0.05	79%	0.03	121%	
		Transporte de mineral	0.36	0.49	73%	0.44	82%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.84</b>	<b>1.01</b>	<b>83%</b>	<b>0.96</b>	<b>88%</b>
	Desmante	Perforación desmante	0.19	0.25	74%	0.24	78%	
		Voladura desmante	0.10	0.19	56%	0.21	50%	
		Carguio de desmante	0.21	0.16	133%	0.18	118%	
		Empuje de desmante	0.02	0.04	65%	0.05	48%	
		Remocion de desmante	0.06	0.03	222%	0.05	129%	
		Transporte de desmante	0.29	0.20	148%	0.29	103%	
			<b>US\$/Tm de Mieneral</b>	<b>0.88</b>	<b>0.86</b>	<b>103%</b>	<b>1.01</b>	<b>87%</b>
<b>Sub Total Comarsa US\$/Tm mineral en PAD</b>			<b>1.72</b>	<b>1.88</b>	<b>92%</b>	<b>1.97</b>	<b>88%</b>	

## COSTO DE MINADO US\$/TM POR TAJOS Y POR ACTIVIDAD

COSTO US\$/TM				PRESUPUESTO		PROGRAMA MES	
OBRA	Material	DSC_COSTOS	P. Mes	US\$/Tm	% Var	US\$/Tm	% Var
Tentadora	Mineral	Perforación mineral	0.20	0.18	113%	0.21	92%
		Voladura mineral	0.13	0.18	72%	0.22	60%
		Carguio de mineral	0.11	0.12	92%	0.12	91%
		Mantenimiento de vias de acceso	0.10	0.05	215%	0.06	160%
		Remocion de mineral	0.00	0.05	4%	0.02	12%
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.03	0.05	63%	0.05	65%
		Transporte de mineral	0.22	0.35	61%	0.24	91%
		<b>US\$/Tm de Mineral</b>	<b>0.79</b>	<b>0.98</b>	<b>81%</b>	<b>0.92</b>	<b>86%</b>
	Desmonte	Perforación desmorte	0.22	0.18	128%	0.20	110%
		Voladura desmorte	0.12	0.11	106%	0.15	79%
		Carguio de desmorte	0.13	0.08	160%	0.12	106%
		Empuje de desmorte	0.02	0.02	103%	0.01	185%
		Remocion de desmorte	0.03	0.01	182%	0.07	35%
Transporte de desmorte		0.14	0.10	148%	0.17	85%	
	<b>US\$/Tm de Desmorte</b>	<b>0.66</b>	<b>0.50</b>	<b>132%</b>	<b>0.73</b>	<b>91%</b>	
	<b>US\$/tm de Material Movid</b>	<b>0.72</b>	<b>0.61</b>	<b>119%</b>	<b>0.78</b>	<b>93%</b>	
Seductora	Mineral	Perforación mineral	0.19	0.16	116%	0.18	105%
		Voladura mineral	0.12	0.14	85%	0.17	74%
		Carguio de mineral	0.11	0.11	99%	0.12	96%
		Mantenimiento de vias de acceso	0.07	0.03	215%	0.04	163%
		Remocion de mineral	0.02	0.03	48%	0.01	174%
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.04	0.05	81%	0.02	205%
		Transporte de mineral	0.38	0.53	72%	0.41	91%
		<b>US\$/Tm de Mineral</b>	<b>0.93</b>	<b>1.06</b>	<b>87%</b>	<b>0.95</b>	<b>98%</b>
	Desmorte	Perforación desmorte	0.09	0.16	54%	0.17	50%
		Voladura desmorte	0.06	0.14	39%	0.16	35%
		Carguio de desmorte	0.12	0.11	104%	0.19	62%
		Empuje de desmorte	0.02	0.02	76%	0.04	47%
		Remocion de desmorte	0.04	0.02	177%	0.01	293%
Transporte de desmorte		0.17	0.13	137%	0.17	99%	
	<b>US\$/Tm de Desmorte</b>	<b>0.49</b>	<b>0.59</b>	<b>83%</b>	<b>0.75</b>	<b>65%</b>	
	<b>US\$/tm de Material Movid</b>	<b>0.64</b>	<b>0.78</b>	<b>83%</b>	<b>0.83</b>	<b>78%</b>	
Sacalla	Mineral	Perforación mineral	0.08	0.14	54%	0.15	52%
		Voladura mineral	0.06	0.11	51%	0.12	46%
		Carguio de mineral	0.12	0.13	93%	0.12	102%
		Mantenimiento de vias de acceso	0.09	0.02	466%	0.03	354%
		Remocion de mineral	0.01	0.02	40%	0.00	170%
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.05	0.05	87%	0.04	126%
		Transporte de mineral	0.43	0.53	81%	0.53	80%
		<b>US\$/Tm de Mineral</b>	<b>0.82</b>	<b>1.00</b>	<b>82%</b>	<b>0.99</b>	<b>84%</b>
	Desmorte	Perforación desmorte	0.09	0.14	62%	0.10	93%
		Voladura desmorte	0.05	0.11	43%	0.10	49%
		Carguio de desmorte	0.13	0.13	103%	0.06	231%
		Empuje de desmorte	0.01	0.02	39%	0.04	21%
		Remocion de desmorte	0.04	0.02	189%	0.01	416%
Transporte de desmorte		0.19	0.18	105%	0.20	93%	
	<b>US\$/Tm de Desmorte</b>	<b>0.51</b>	<b>0.60</b>	<b>84%</b>	<b>0.50</b>	<b>100%</b>	
	<b>US\$/tm de Material Movid</b>	<b>0.62</b>	<b>0.82</b>	<b>75%</b>	<b>0.72</b>	<b>86%</b>	
Santa Rosa	Mineral	Perforación mineral	0.14	0.15	88%	0.17	80%
		Voladura mineral	0.09	0.13	69%	0.15	60%
		Carguio de mineral	0.11	0.12	94%	0.12	98%
		Mantenimiento de vias de acceso	0.09	0.03	302%	0.04	229%
		Remocion de mineral	0.01	0.03	28%	0.01	103%
		Serv. de equipo auxiliar para mineral	0.04	0.05	79%	0.03	121%
		Transporte de mineral	0.36	0.49	73%	0.44	82%
		<b>US\$/Tm de Mineral</b>	<b>0.84</b>	<b>1.01</b>	<b>83%</b>	<b>0.96</b>	<b>88%</b>
	Desmorte	Perforación desmorte	0.11	0.16	69%	0.15	73%
		Voladura desmorte	0.06	0.12	52%	0.13	47%
		Carguio de desmorte	0.13	0.10	124%	0.11	110%
		Empuje de desmorte	0.01	0.02	61%	0.03	45%
		Remocion de desmorte	0.04	0.02	206%	0.03	120%
Transporte de desmorte		0.18	0.13	137%	0.18	96%	
	<b>US\$/Tm de Desmorte</b>	<b>0.53</b>	<b>0.55</b>	<b>95%</b>	<b>0.64</b>	<b>82%</b>	
	<b>US\$/tm de Material Movid</b>	<b>0.65</b>	<b>0.73</b>	<b>88%</b>	<b>0.77</b>	<b>84%</b>	

### 3.5. Contrastaciones de la hipótesis

La aplicación de la emulsión gasificable influye en mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

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

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

H0:  $p \geq 0,050$

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

H1:  $p < 0,050$

**Tabla 14. Prueba de Normalidad de las variables reemplazo de Anfo por Emulsion**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
	Estadístico	gl	Sig.
Anfo	0,204	12	0,179
Emulsion	0,279	12	0,511

Fuente: Elaboración propia

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

**Prueba de hipótesis Hipótesis de investigación:**

Ho: El reemplazo de anfo por emulsión gasificable no influirá en mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

Ha: El reemplazo de anfo por emulsión influirá en gran medida y de manera positiva en mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

**Tabla 15. Prueba de hipótesis T para dos muestras relacionadas**

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

Fuente: Elaboración propia

Para un 95% de nivel de confianza se rechaza la  $H_0$ , es decir se asevera que: El reemplazo de anfo por emulsión influirá en gran medida y de manera positiva en la mejora de la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022.

## Capítulo V

### Resultados

#### 5.1. Emulsión gasificable

##### *5.1.1. Descripción de los componentes*

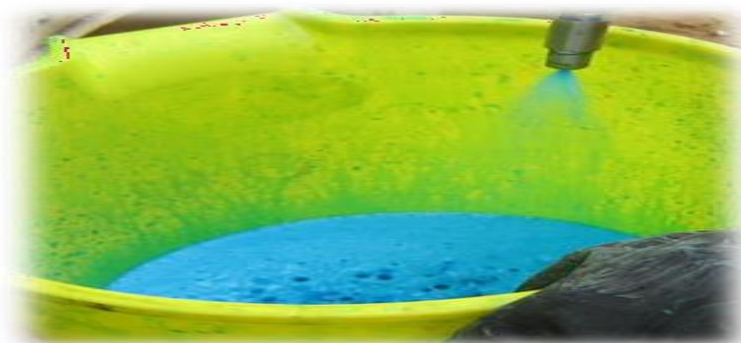
- ❖ Esta es una solución acuosa de nitrato gasificable (emulsión matricial) que se almacena solo con productos compatibles.
- ❖ No almacenar con elementos metálicos o químicos corrosivos, volátiles, inflamables, ácidos y básicos.
- ❖ La ubicación de almacenamiento o silo debe cumplir con todos los requisitos reglamentarios. En este caso existen los silos 01, 02 y 03 para almacenar la emulsión de matriz gasificable.



- ❖ Densidad de matriz inerte: 1.38 g/cm<sup>3</sup>

### 5.1.2. Descripción de solución N20:

- ❖ Es una solución acuosa de SALES OXIDANTES químicamente balanceada de naturaleza iónica.
- ❖ La N-20 se usa como agente sensibilizante de la emulsión SAN-G.
- ❖ La N-20 Almacenada bajo techo, y en empaque original, por debajo de 30 °C.



- ❖ Densidad 1.12 g/cm<sup>3</sup>

### 5.1.3. Componentes principales de los explosivos comerciales

EXPLOSIVOS COMERCIALES – COMPONENTES PRINCIPALES			
TIPO	OXIDANTES	COMBUSTIBLES	SENSIBILIZADOR
Dinamitas	Sólidos Nitrato de amonio y otras sales	Sólidos Materiales absorbentes, pulpa de madera, celulosa	Líquido Nitroglicerina y otros
ANFO y otros nitrocarbonitratos granulares	Sólidos Nitrato de amonio granulados	Sólido – líquido Petróleo diesel, carbón y otros aceites	Aire Poros vacíos de aire en los prills de nitrato de amonio
Hidrogeles (slurry) (dispersión de aceite en agua)	Sólido – líquido Nitrato de amonio y otras sales (soluciones salinas)	Sólido – líquido Petróleo, aluminio, sensibilizantes orgánicos, gomas	Sólido – líquido Nitrato de monometil amina, mononitrato de etileno glicol, aluminio en polvo y otros gasificantes
Emulsiones (dispersión de agua en aceite)	Líquido Soluciones de nitrato de amonio y otras sales	Líquido Petróleo, aceites, emulsificantes, parafinas	Gasificantes Aire contenido en microesferas de vidrio y otros gasificantes

## 5.2. Características de la emulsión gasificable (SAN G)

- ❖ SANG es un explosivo producido por una reacción química entre una matriz SAN gasificable y un sensibilizador llamado Solución N20 justo antes de que se bombee al taladro.
- ❖ SAN G es una emulsión de matriz de agua en aceite con componentes capaces de lograr una alta velocidad y presión de detonación, proporcionando un gas de explosión seguro, resistente al agua y de alta calidad.
- ❖ SANG se mezcla en campo con una solución base llamada SOLUCIÓN N20 que sensibiliza antes de ser cargada en la perforadora, utilizando una pista de fábrica especialmente diseñada con un sistema PLC que permite la correcta sensibilización de la matriz.
- ❖ EL SANG funciona en pozos inundados debido a su resistencia al agua y se utiliza en minería a cielo abierto en las mismas condiciones que otros abrasivos de voladura de ampotipos pesados.

Como resultado de la reacción química entre la emulsión de matriz inactiva y la solución de N2O, se produce nitrógeno gaseoso que queda atrapado en burbujas en la matriz. Son estas burbujas de nitrógeno las que sensibilizan la emulsión.

### **Producto SAN G**

El hinchamiento se realiza en 5 minutos (15%) y 30 minutos (24%). Esta es la máxima hinchazón que puede cubrir un agujero cargado.



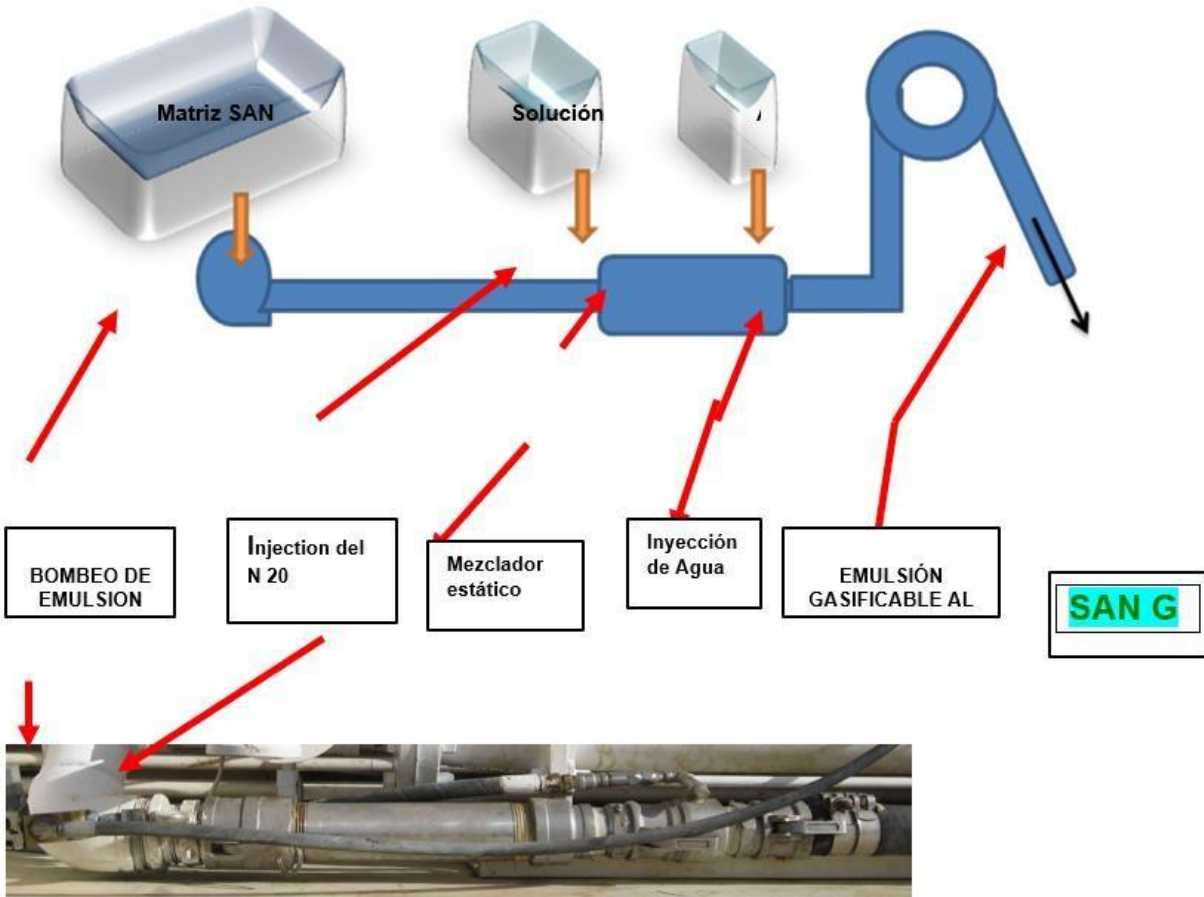


La densidad esta en función a la temperatura y concentración de sensibilizante N2O

- ❖ Densidad SANG = 1.02 – 1.20 g/cm<sup>3</sup>
- ❖ Velocidad de detonacion = 4600 m/s
- ❖ Energía = 610 cal/g
- ❖ RBS = 102
- ❖ Excelente resistencia al agua

### **5.3. Proceso de funcionamiento y control del camión en la preparación del SAN G**

La solución de N<sub>2</sub>O ingresa a un mezclador estático a través del cual fluye la emulsión de la matriz, se mezcla con ella y luego se inyecta agua. Esta agua tiene la función de lubricar la tubería (manguera) que pasa la mezcla de emulsión gasificable (SAN G) directamente a través del taladro. , en realidad como un explosivo o un explosivo a punto de explotar.



### 5.3.1. *Parámetros de proceso de sensibilización de la matriz gasificable en el camión fábrica*

Tener en cuenta los parámetros de proceso para la sensibilización de la matriz gasificable.

**Tabla 16.** *sensibilización de la matriz gasificable en el camión fábrica*

RANGO DE TEMPERATURA DE LA MATRIZ (°C)	PORCENTAJE DE SOLUCION N-20	PORCENTAJE ANILLO AGUA	CAUDAL DE LA MATRIZ (Kg/min)
30 °C - 45 °C	1,0 %	2.0% - 2.5%	200 - 220
20 °C - 30 °C	1,25 %	2.0% - 2.5%	200 - 220
10 °C - 20 °C	1,50 %	2.0% - 2.5%	200 - 220
5 °C - 10 °C	1,75 %	2.0% - 2.5%	200 - 220
0 °C - 5 °C	2,0 %	2.0% - 2.5%	200 - 220

1. La Presión de la bomba Mono debe fluctuar entre 60psi a 110 psi
2. La Presión de la bomba de inyección de N-20 debe ser superior a 20 psi.
3. Cualquier parada del bombeo de la matriz gasificable por un tiempo mayor a los 5 min se deberá proceder a limpiar la manguera con aire en el ultimo taladro.

#### 5.1.1. *Control de mezcla de SANG en el camión con el PLC*

Varios sensores de presión, temperatura y caudal y sistemas de control programables basados en PLC proporcionan información en tiempo real sobre las variables en el sistema de fabricación SANG.

La pantalla del PLC controla los siguientes procesos:

- ❖ Emulsión matriz
- ❖ Solución N20
- ❖ Producto

- ❖ Agua
- ❖ Cantidad entregada

También controla las mediciones de presión y temperatura de la mezcla utilizada en taladros de perforación.



### ***5.1.2. Calibración de mezcla explosiva en el camión fábrica***

Después de verificar la calidad del producto a pequeña escala. Se procede a calibrar el camión.

La calibración es la acción de pesar las cantidades de emulsión, N20 y productos entregadas por el camión, compararlas con el valor programado en el sistema de fabricación. Se obtienen factores de calibración para cada componente.

### 1. Calibración de N20



### 2. Calibración de emulsión inerte



#### ***5.1.3. Operación del camión fábrica en el bombeo del SANG.***

La operación de bombeo de la mezcla de emulsión gasificable se realiza del piso.

1. Se llena el tanque de Solución N20.
2. Se prepara el mezclador estático.
3. Se programa las proporciones y cantidad entregada.
4. Se cargan los taladros cercanos al camión.

#### ***5.1.4. Control de calidad del producto***

Después de realizar todos los procesos en el camión, realice el control de calidad del producto y realice mediciones de temperatura, densidad e hinchazón en los productos de emulsión de matriz, N20 y SANG antes de cargar la perforadora. Con el tiempo, la emulsión de la matriz reacciona con la solución de N2O y tiende a aumentar y disminuir el burbujeo, la hinchazón y la densidad.



## **5.2. Diseños de voladura con la emulsión gasificable**

El diseño de voladura actual se realiza con los mismos parámetros utilizados en heavy anfo (ver pág. 34).

Tenga en cuenta que el uso de una emulsión gasificable como explosivo en nuestra operación ha mejorado significativamente la fragmentación, aumentado la eficiencia minera, reducido el uso de explosivos y mejorado el tratamiento de lixiviados.

Siendo nuestro principal objetivo para el mejoramiento continuo a nivel global.

### ***5.2.1. Variables y parámetros de diseño en una voladura primario***

En general, las variables estocásticas pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- ❖ Variables no controlables.
- ❖ Variables controlables.

### *5.2.1.1. Variables no controlables*

Estas variables se caracterizan por su gran aleatoriedad y entre ellas se tiene:

- ❖ La gran variedad y naturaleza del macizo rocoso.
- ❖ La Geología Regional, local y estructural.
- ❖ La hidrología y las condiciones climatológicas.
- ❖ Los aspectos geotécnicos, etc.

### *5.2.1.2. Variables controlables*

Estas a su vez se clasifican en:

**a.- Geométricas.** - Entre las cuales se tiene las siguientes:

Burden (B)

Diámetro de taladro (d)

Espaciamiento (S)

Longitud de carga (CHL)

Sobreperforación (J)

Taco (T)

Altura de Banco (H)

Profundidad de taladro (L), etc, etc.

**b.- Físico-Químicas.** - Correspondientes a las mezclas explosivas y entre

otras se tienen las siguientes:

Tipo de mezcla explosiva comercial.

Densidad de la mezcla explosiva ( $\rho_1$ )

Parámetros de detonación (V.O.D., P2, T2, etc.)

Parámetros de explosión (Q3, P3, T3, etc.)

**c.- De Tiempo.** - Entre las cuales se tiene:

Tipos y tiempos de retardo

Tipos y secuencias de salida, etc.

**d.- Operativas.** - Entre las que se puede mencionar como una de las

principales la FRAGMENTACION REQUERIDA, que es la que

prácticamente dará la rentabilidad en la operación de minado.

### *5.2.1.3. Variables de diseño*

“La mayoría de las variables que deben tomarse en cuenta cuando se va a diseñar un disparo primario han sido mencionadas anteriormente; lo único que se puede agregar es lo siguiente”:

“La variable que faltaría mencionar son características del macizo rocoso son variables críticas y afectan directamente el diseño y por ende los resultados de un disparo; estas son las siguientes”:

- ❖ Resistencias dinámicas de las rocas.
- ❖ Propiedades elásticas de las rocas.
- ❖ Litología.
- ❖ Diaclasamiento y contactos.



- ❖ Espaciamiento y orientación de las discontinuidades.
- ❖ Velocidad de propagación de las ondas de choque a través del macizo rocoso, etc.

#### 5.2.1.4. *Parámetros de voladura*

Los parámetros de voladura más conocidos son:

##### **a.- Altura de banco**

La altura del terraplén generalmente se determina en función de las dimensiones del equipo de excavación y carga, las características del macizo y los requisitos de selectividad. Básicamente, los ajustes de carga y la altura máxima que puede alcanzar el cucharón determinan la altura del banco. Esta norma permite utilizar el cargador frontal o la excavadora para limpiar cualquier parte del frente y mantener unas condiciones aceptables de seguridad operativa.

##### **b.- Diámetro del taladro**

“La elección del diámetro está supeditada a la elección del equipo de perforación y viceversa. La altura del banco influye de manera tal que excluye dimensiones menores para bancos altos, como consecuencia del equipo pesado a utilizar. Una dimensión mayor de taladro normalmente proporciona fragmentaciones mas toscas de roca a una carga especifica constante. Es, por tanto normal, que dimensiones mayores de taladros deriven en un consumo mayor de explosivos para reducir la fragmentación hasta un tamaño razonable”.

##### **c.- Burden o piedra**

El cálculo de la distancia de menor resistencia en la voladura de bancos es un procedimiento comparativamente complejo, si se deben considerar todas las variantes.

**d.- Distribución de la carga:**

“Cuando se carga un taladro para voladura de banco, es importante que el explosivo sea distribuido de manera correcta en el taladro, a fin de que el efecto de voladura de los mejores resultados. Debido al hecho de que la roca es más compacta en el fondo, una carga más potente allí necesaria a fin de que la porción de roca pueda ser volada a nivel del fondo”.

**e.- Espaciamiento**

“Las fórmulas de calcular cargas están basadas en un espaciamiento de 1.25 a 1.3 veces la distancia de menor resistencia. Aquí existe, sin embargo, una posibilidad de variar ambos, la distancia de menor resistencia y el espaciamiento si, a la misma vez, se comprueba que el volumen a ser volado por taladro es constante, es decir,  $E \times V$  es constante. Por supuesto, el número de metros perforados será también constante en tal modificación”.

**g.- Sobreperforación**

Esta es la distancia vertical entre dos filas adyacentes de agujeros. Se mide en ángulo recto con la inclinación del taladro. Los taladros inclinados no soportan la distancia que se puede medir en la parte superior del banco.

Todo lo que se necesita para asegurar un buen piso y no interferir con el proceso de carga es la longitud adicional del taladro debajo del piso teórico del banco.

**f.- Taco**

Material inerte colocado encima del explosivo pero dentro del taladro para evitar la fuga de energía y confinarla.

El tipo y el largo del taco no tienen efectos significativos en las características de las ondas de deformación generadas por la detonación y por tanto, en la efectividad de la operación.

### 5.2.2. Cuadro de parámetros de voladura

**Tabla 17. Parámetros de perforación y voladura para diferentes tipos de roca:**

Parámetro	Roca Suave	Roca Media	Roca Dura
Diámetro de taladro (pulg.)	5.75	5.75	5.75
Malla de perforación	Triangequilat	Triangequilát	Triang.equilát
Burden (m)	5.65	4.78	3.96
Espaciamiento (m)	6.50	5.50	4.40
Altura de banco (m)	8.00	8.00	8.00
Altura de taladro (m)	8.50	8.50	8.50
Sobre-perforación (m)	0.50	0.50	0.50
Taco (m)	3.00	2.80	2.50

#### 5.2.2.1. Configuración de mallas de perforación y voladura

##### *Distribución de taladros*

- ❖ Cuadrada ( $S = B$ ).
- ❖ Rectangular ( $S > B, 90^\circ$ ).
- ❖ Escalonada ( $S > B, \neq 90^\circ$ ). Escalonada óptima: triangular ( $S = 1.15 B$ ).

Las dimensiones del burden deberían ser perpendiculares a la dirección deseada.

## 5.2.2.2.

*Relación de diseños de disparos primarios*

- ❖ El diseño del tiro depende del diámetro del pozo, las características de la roca, la estructura, los explosivos utilizados, el grado de fragmentación, el desplazamiento requerido y la altura del banco.
- ❖ Las cargas (B) y la separación (S) deben ser conservadoras si se requiere la máxima fragmentación en terreno duro.
- ❖ Si la fragmentación es menos importante, o si la roca es frágil y frágil, la perforación de pozos en diámetros y diseños más grandes dará resultados satisfactorios.
- ❖ Las holguras que son significativamente más grandes que la carga se pueden aprovechar para niveles estructurales como: B. Grietas paralelas a la superficie.
- ❖ Los espaciamientos apreciablemente menores que el burden tienden a causar la separación prematura entre los taladros y una soltura del taco. Ambos efectos estimulan la rápida liberación de los gases hacia la atmósfera; la quebradura normalmente es considerable. Esta pérdida de energía de levantamiento disminuye el rompimiento total del burden y a menudo se encuentran grandes bloques en el material volado.
- ❖ Cuando la razón S: B perforado es demasiado alta, cada carga fragmentada desplaza una sección prismática de la roca. El frente medio entre las filas de taladros posteriores puede permanecer intacto, especialmente cerca del nivel del suelo, donde la incompetencia del espaciamiento se manifieste como burden inferior.

- ❖ La deformación generalmente aumenta a medida que la distancia efectiva a la relación de deformación efectiva ( $Se / Be$ ) aumenta a aproximadamente 4.0. La aproximación más cercana a este valor se obtiene de la siguiente manera:

a.- Perforando taladros en una red triangular equilátera o con un diseño levemente más alargado.

b.- Usando una secuencia de iniciación con V1.

- ❖ Para diseños irregulares (cuadrados o rectángulos), los resultados generalmente se mejoran aumentando el "Se" en el rango  $2Be$  a  $4Be$ . Esto se logra perforando un patrón cuadrado y usando una secuencia de inicio en V.
- ❖ La diferencia entre un diseño regular y un diseño en capas es notable. Este último generalmente da mejores resultados, especialmente cuando las rocas son grandes y difíciles de triturar (a valores altos de  $Se / Be$ , el número de agujeros se reduce o como resultado de una mejor fragmentación más uniforme, puede mejorar la eficiencia de excavación).
- ❖ Normalmente, S y B se refieren a la profundidad del agujero, principalmente las dimensiones de las mezclas explosivas disponibles comercialmente.
- ❖ Los cambios en B tienden a afectar el nivel general de fragmentación mucho más rápido que los cambios en S. Por lo tanto, si el resultado de la voladura es más apropiado y decide probar un diseño de mayor tamaño, generalmente necesita aumentar S en b en lugar de b.
- ❖ Para cada voladura de prueba, es importante limpiar completamente el vertedero y lograr la eficiencia de perforación antes de perforar la siguiente voladura.

- ❖ Después de diseñar la malla, es muy importante perforar en el lugar correcto, en el ángulo correcto ya la profundidad correcta. Las desviaciones del patrón de perforación programado significan que no se pueden lograr resultados de voladura óptimos.

### 5.2.3. Cálculo de carga con emulsión gasificable

El diseño y cálculo de carga se realizará en tajo TENTADORA:

**Tabla 18. Variables de diseño**

<b>VARIABLES DE DISEÑO</b>		
<b>Tajo:</b>	<b>Tentadora</b>	<b>Banco: 435-427</b>
<b>Roca: Cuarzitaa Silicificada</b>	<b>Volabilidad: 10</b>	<b>Tipo: Dura SGr: 2.56</b>
<b>Diámetro: 152 mm</b>	<b>Altura de banco: 8 m</b>	<b>Angulo de talud: 70</b>
<b>Burden: 4.174</b>	<b>Espaciamiento: 4.80</b>	<b>Malla: Triangular equilátero</b>
<b>Retardo filas: 42 ms</b>	<b>Retardo taladros: 17 ms</b>	<b>Fanel Dual: 800/17 ms</b>

#### 5.2.3.1.

#### *Diseño de carga con emulsión gasificable*

Para el cálculo de la carga (Q) en Kg, dada la altura de banco (H) y el taco final deseado (Tf). Usar:

$$Q = 18.87(Lcf)(Dex)$$

Donde:

Lcf: Longitud de carga final.

Dexp: Densidad del Explosivo

$$Lcf = H - tf$$

Para el cálculo del Taco inicial (Ti). Usar:

$$Ti = H - Lci$$

Donde:

H: Longitud de taladro

Lci= Longitud de carga final

Para el cálculo de la longitud inicial (i) o (f) final de carga, dada una carga (Q). Usar:

$$Lc = \frac{Q}{18.87(Dexp)}$$

#### EJEMPLO CASO TENTADORA

Se requiere conocer la cantidad en kg de carga de SANG, para taladros de 8.5 m de profundidad, manteniendo un taco de 1.5 m. La roca es dura y la temperatura de la emulsión es 26°C.

Datos:                    H=8.5 m.    Tf=1.5 m

De la tabla para roca y temperatura se obtiene: Dexp<sub>i</sub>=1.3, Dexp<sub>f</sub>= 0.9 y 1.2% N20 (máx.)

#### **Paso 1: Cálculo de la carga.**

Puesto que se quiere un taco final de 1.5 m, la longitud final de carga debe ser L<sub>cf</sub>=7m. y la densidad final de explosivo debe ser Dexp<sub>f</sub>=0.9 Reemplazando en la fórmula 1:

$$Q = 18.87(7)(0.9) = 119Kg$$

Corrección por imperfecciones del taladro, se incrementa un 20% de carga. Así:

$$QR = 1.2 * 119 = 143Kg$$

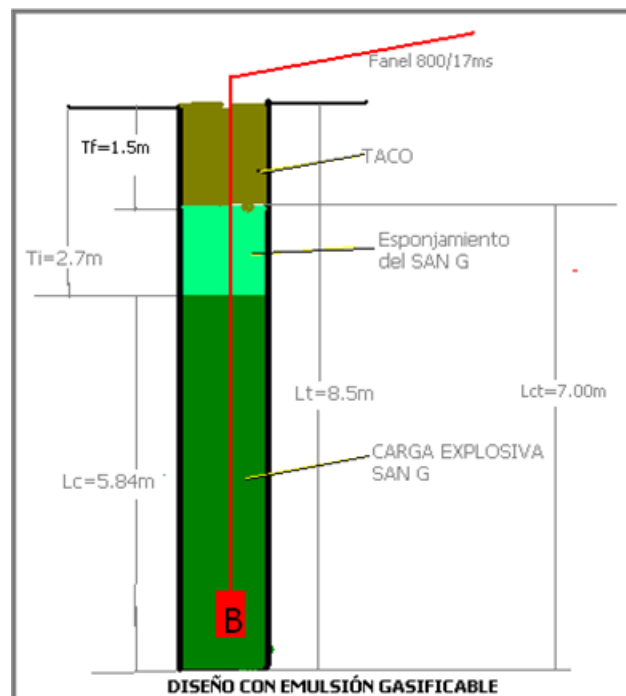
### Paso 2: Cálculo del Taco Inicial

Primero se calcula la longitud de carga inicial de la carga (Q) en kg. ya calculada, a la densidad inicial  $D_{exp} = 1.3$ . Usando la ecuación 3.

$$L_{ci} = \frac{QR}{QR_{18.87} * 1.3} = \frac{143}{24.5} = 5.84m$$

La longitud inicial promedio sería:  $L_{ci} = 5.84m$

El taco inicial sería:  $T_i = H - L_{ci} \quad T_i = 8.5 - 5.84 = 2.66m \approx 2.7m$



Finalmente, los parámetros de carguío son:

Carga:  $143 \pm 5$  kg. Taco inicial: 2.7 m.



Taco final: 1.5 m. %N-20: 1.2% (máx.).

De esta forma, la carga Q en kilogramos y el anclaje inicial ya están calculados para las diferentes longitudes de perforación y las diferentes alturas de los anclajes finales requeridos. Las tablas para diferentes longitudes de broca y diferentes tapones utilizados por los operadores de camiones están disponibles para un control óptimo del uso de explosivos y el cumplimiento de las especificaciones de control de carga y tapones. (Ver tabla)

Longitud Taladro(m)	Taco final requerido									
	1	1.5	1.7	1.8	2	2.25	2.5	3	3.5	4
6	99	89	85	83	79	75	70	60		
	2.0	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0	3.2	3.6		
6.5	109	99	95	93	89	84	79	70		
	2.0	2.5	2.6	2.7	2.9	3.1	3.3	3.7		
7	119	109	105	103	99	94	89	79	70	
	2.1	2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	3.8	4.2	
7.5	129	119	115	113	109	104	99	89	79	70
	2.2	2.6	2.8	2.9	3.0	3.2	3.5	3.9	4.3	4.7
8	139	129	125	123	119	114	109	99	89	79
	2.3	2.7	2.9	3.0	3.1	3.3	3.5	4.0	4.4	4.8
8.5	149	139	135	133	129	124	119	109	99	89
	2.4	2.8	3.0	3.1	3.2	3.4	3.6	4.0	4.5	4.9
9	159	149	145	143	139	134	129	119	109	99
	2.5	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.7	4.1	4.5	5.0
9.5	169	159	155	153	149	144	139	129	119	109
	2.6	3.0	3.2	3.3	3.4	3.6	3.8	4.2	4.6	5.0
10		169	165	163	159	154	149	139	129	119
		3.1	3.3	3.4	3.5	3.7	3.9	4.3	4.7	5.1
10.5					169	164	159	149	139	129
					3.6	3.8	4.0	4.4	4.8	5.2
11						174	169	159	149	139
						3.9	4.1	4.5	4.9	5.3
11.5								169	159	149
								4.6	5.0	5.4

#### 5.2.4. Cálculo del volumen de roca

##### Cálculo de metros cúbicos de banco (mbc) por taladro

Es igual al burden por el espaciamento por la altura del banco (B x S x H).

Convirtiendo mcb a toneladas: mbc multiplicado por la densidad de la roca (T/m<sup>3</sup>)

### **Volumen a romper por taladro:**

Volumen por densidad de la roca o mineral.

$$\frac{TNT}{Tal} = V * \rho_{roca}$$

Tonelaje roto total (TN):

$$TN = (TN/Tal) \times \# \text{ taladros}$$

Donde:

$$\#Taladros = \frac{Largo \ de \ Banco}{Espaciamiento} - \frac{Ancho \ de \ Banco}{Burden \ Práctico}$$

### **Ejemplo de cálculo de volumen y tonelaje (caso práctico)**

$$V = \frac{4.8}{1.15} * 4.8 * 8 = 160,2816m^3/tal$$

$$\frac{Ton}{Tal} = \frac{160,28160m^3}{tal} * \frac{2.56tn}{m^3} = 410,321ton/tal$$

Total, ton. Rotas = 410.321 x 335 = 137,457.535ton.

Si se divide la producción diaria tendremos material disparado para:

$$\frac{137,457.535tn}{18,000ton/dia} = 7.6 \text{ dias; Equivalente material disparado para 15 guardias}$$

#### **5.2.5. Cálculo de factor de carga o factor de potencia.**

Kilogramos de explosivos por metro cúbico de banco. Es equivalente a la densidad de carga por longitud de la columna de voladura dividida por el m<sup>3</sup> por pozo (metro cúbico por banco). Una

buena manera de controlar el costo relativo y el rendimiento de un tipo de explosión. Las demás condiciones son las mismas. No hay suficientes formas de comparar diferentes explosivos y predecir el resultado de diferentes tipos de roca.

$$FP = Cl/Ton$$

FP = Factor de potencia

Cl = Carga lineal

Ton = Tonelada por taladro

El factor de potencia calculado de acuerdo al diseño y anomalías del terreno (fracturas):

$$FP = \frac{143Kg}{410.321ton} = 0.34Kg/ton$$

El factor de potencia calculado en terrenos sin anomalías sería:

$$FP = \frac{119Kg}{410.321ton} = 0.29Kg/ton$$

El factor de potencia con el ANFO PESADO sería de la siguiente forma:

$$FP = \frac{160KgH.A.}{410.321ton} = 0.40Kg/ton$$

Este cálculo de factor de Potencia es en roca dura.

### **5.2.6. Factor de energía**

“Similar al factor de carga, pero la energía del explosivo se expresa en relación al peso o volumen de roca quebrada ósea (Mj/m<sup>3</sup>, MJ/ton, Kcal/ton) el factor de energía es por ende el producto del factor de carga y la energía por peso del explosivo”.

$$Fe = Fc \times \text{Energia}/1000 \quad \text{ó} \quad Fe = 0.00912 \times Fc \times E$$

E = Potencia en peso (%)

Fc = Factor de carga (gr/tn)

### 5.3. Mediciones realizadas a la emulsión gasificable (SAN G):

#### 5.3.1. Mediciones de densidades:

a.- Densidades. - La densidad de los explosivos esta entre 0,8 y 1,6 g/cm<sup>3</sup>, cuanto mayor sea la velocidad de detonación, mayor será el efecto de aplastamiento que produce.

Para los explosivos, la densidad puede ser un factor importante. Si la densidad es muy baja, será sensible al cordón detonante antes de que explote el multiplicador o detonador. Por el contrario, si la densidad es muy alta, puede ser muy insensible. No explotará. Esta densidad crítica es la denominada densidad muerta.

La densidad explosiva es un factor importante para calcular la cantidad de carga requerida para una explosión. Los explosivos de mayor densidad, como la gelatina y el hidrogel, generalmente se usan en el fondo de los pozos donde se requieren concentraciones de energía más altas para disparar rocas, pero se requieren explosivos para la carga de columnas. Como en polvo o a base de ANFO.

La concentración lineal de carga «Q<sub>l</sub>» en un barreno de diámetro "d» y una densidad "D.», se calcula a partir de:

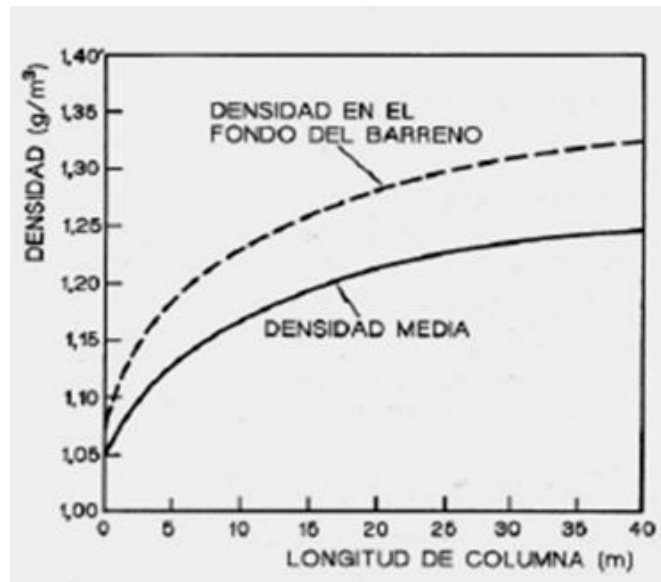
$$Q_l \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) = 7,854 \times 10^{-4} \times D \cdot d^2$$

Donde:

$D$ . = Densidad del explosivo ( $\text{g/cm}^3$ ).

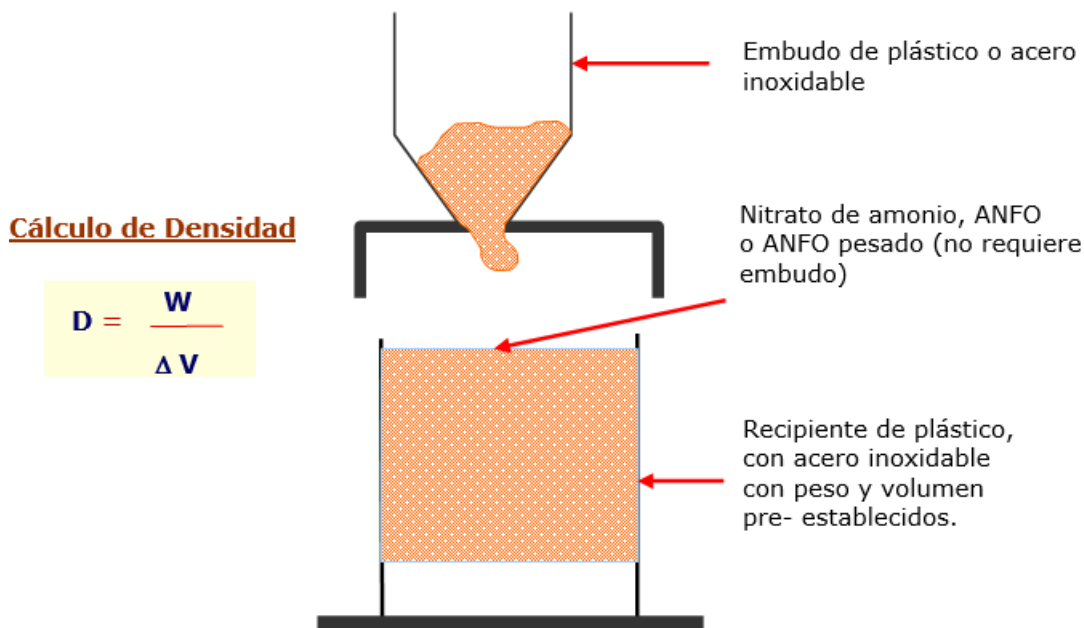
$d$  = Diámetro de carga (mm).

De acuerdo a la figura las curvas de densidad de una emulsión en función de la profundidad de los taladros en condiciones secas



b.- La medición de densidades:

## DENSIDAD PARA PRODUCTOS A GRANEL (POR VOLUMETRIA)

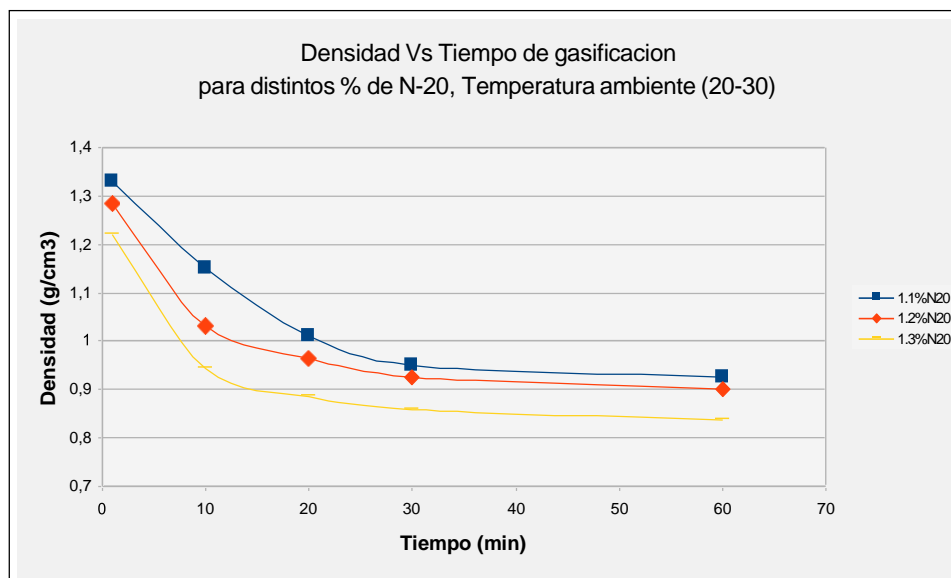


Las densidades in situ muestran que un mayor contenido de N<sub>2</sub>O logra densidades finales más bajas. Se obtienen excelentes resultados con rocas medias con 1,2% N<sub>2</sub>O y una densidad final de 0,9 g/cc.

**Tabla 19. Densidad para productos a granel**

Temperatura de Matriz:		20 -30		
Tiempo	1.1% N <sub>2</sub> O	1.2% N <sub>2</sub> O	1.3% N <sub>2</sub> O	
01min	1.3300	1.2850	1.2200	
10min	1.1500	1.0316	0.9450	
20min	1.0100	0.9633	0.8850	
30min	0.9500	0.9250	0.8575	
60min	0.9266	0.9016	0.8375	

**GRÁFICO DE DENSIDADES**

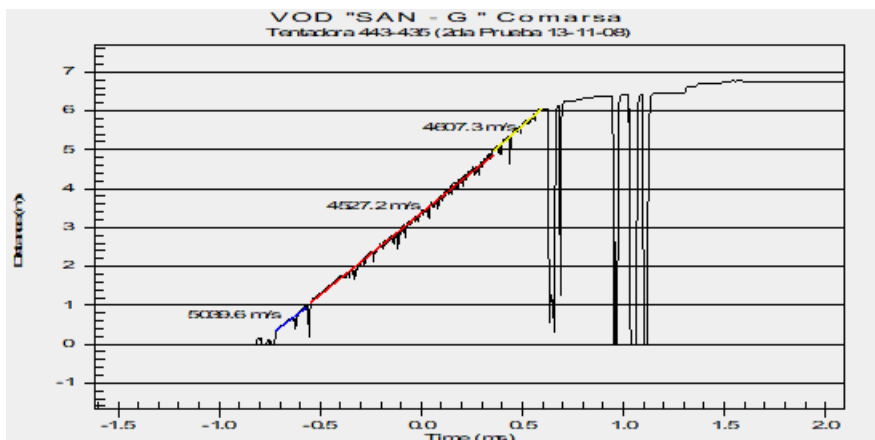


### 5.3.2. Velocidad de detonación (VOD):

Para medir el desempeño de la eficiencia de la reacción explosiva colocada dentro del taladro, como podemos ver, se obtuvieron mejores resultados con una emulsión gasificable que con otros insumos. Un dispositivo llamado MICROTRAP.



Los resultados obtenidos en (VOD) en el proyecto del Tajo Tentadora con el microtrap tenemos.



El registro de VOD fue de 4600 m/s en un diámetro de 152 mm.

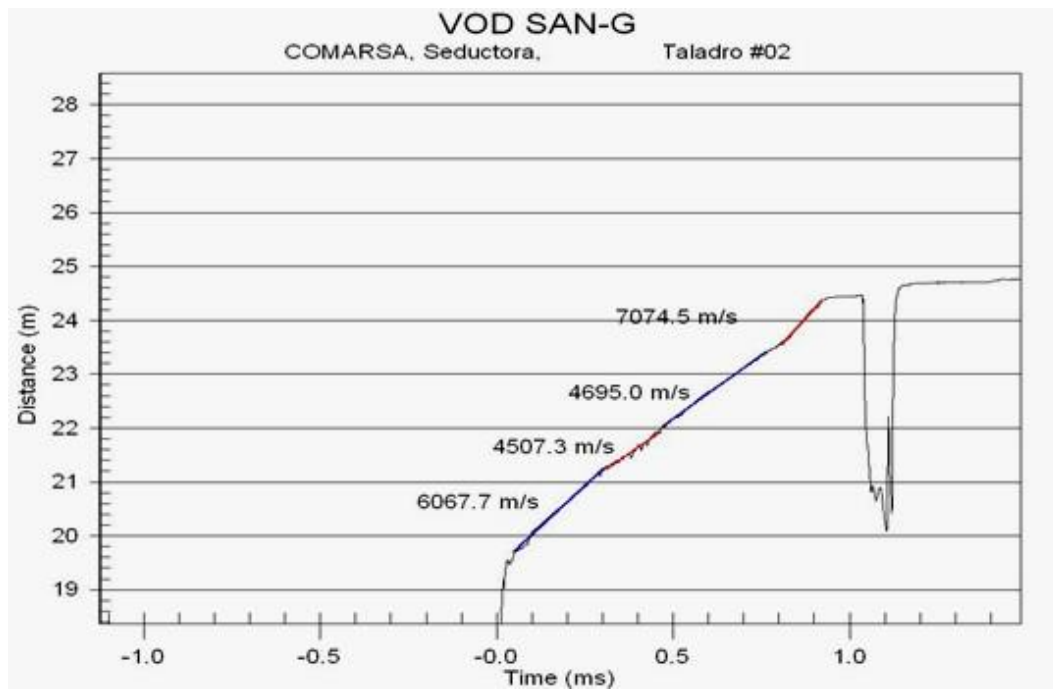
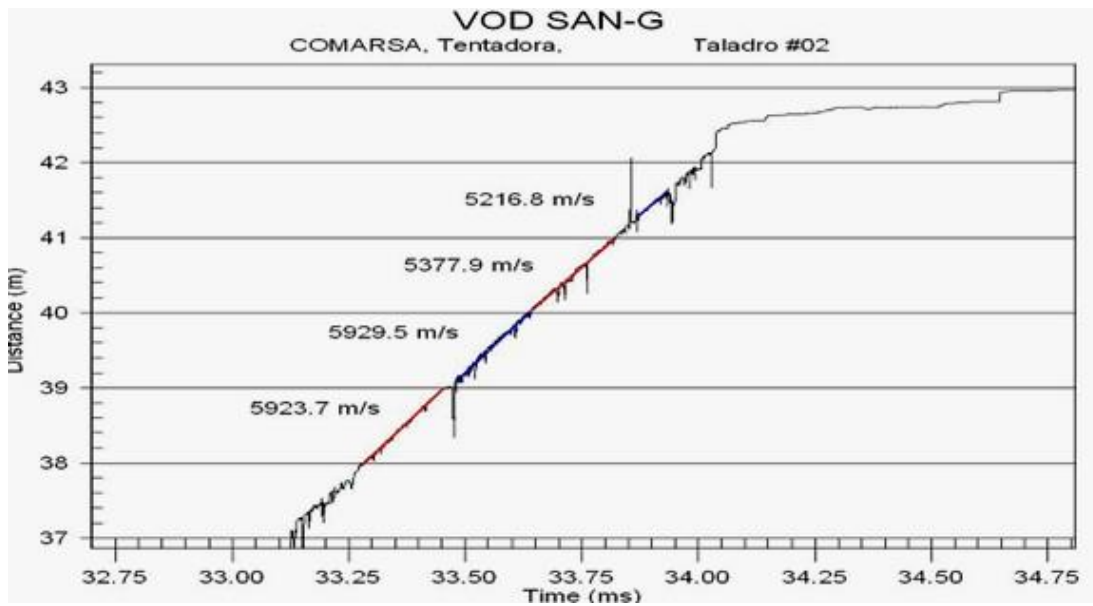
Tramo	VOD m/s	Longitud m
	5039.6	1
	4527.2	4
	4607.3	1
<b>Promedio</b>	<b>4625.95 m/s</b>	

### 5.3.3. VOD con emulsión gasificable:

Como era de esperar, VOD fue del orden de 5217 m/s con un diámetro de 155 mm y hasta 7074,5 m/s en la parte superior de la columna. Las curvas generadas por el software MICROTRAP no presentan huecos, como se muestra en la figura. Esto indica que la sensibilidad de la columna de carga es buena, por lo que la continuidad de la explosión es buena.

Taladro Medido	Tajo							Promedio del Taladro (m/s)
		1	2	3	4	5	6	
1	Seductora	4978.7	4437.3	4652.3	4787.8	6041	5711	5101.35
2	Seductora	7074.5	4695	4507.3	6067.7			5586.125
3	Seductora	4467.7	4853.2	6268.7				5196.533333
4	Seductora	5091.2	502.8	5223.8	5337.8	4857.6	6459.3	4578.75
5	Tentadora	4403.7	4639.4	4983.2	5319.3	5479		4964.92
6	Tentadora	4678.2	4574.4	4875.3	5149.6	5441.9	4610.5	4888.316667
7	Tentadora	4974.9	5044.9	4966.9	5457.1			5110.95
8	Tentadora	5216.8	5377.9	5929.5	5923.7			5611.975





#### **5.4. Análisis de fragmentación:**

Para el análisis de fragmentación se utiliza el software wipfrag la cual nos señalara el tamaño máximo y mínimo de las partículas del disparo.

##### **WIPFRAG**

“El software WipFrag realiza un análisis del tamaño de las partículas de la fragmentación de la roca proporcionando una descripción general de la distribución del tamaño de las partículas del material disparado. Las muestras de montones de material se capturan rápidamente usando una cámara digital para capturar la distribución del tamaño de la fragmentación. Además, los resultados se comparan con las predicciones para optimizar los parámetros de diseño de la explosión”.

##### **FUNCIONAMIENTO:**

Las imágenes capturadas en el campo se analizan en computadoras portátiles o estaciones de trabajo de oficina para determinar la distribución del tamaño de la roca triturada en cualquier etapa del proceso de trituración o lixiviación.

Las fuentes de imágenes se pueden obtener de vertederos de minas, camiones de volteo, plataformas de lixiviación, puntos de extracción, pilas de acopio, cintas transportadoras u otros lugares donde se pueden obtener imágenes nítidas de rocas fragmentadas.

“El Wip Frag acepta imágenes digitales y en video para el análisis. Tiene que haber un mecanismo (software y/o hardware) para descargar las imágenes digitales o las de la cámara de video a la computadora”.

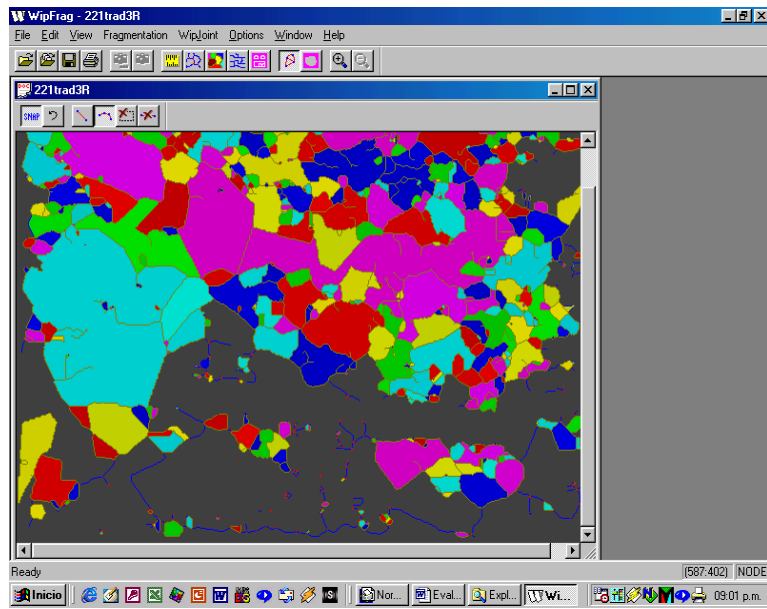
El primer paso para el usuario es capturar las imágenes en el sitio y descargar estas imágenes a su computadora. Wip Frag ayuda a los usuarios a escalar la imagen correctamente.

Luego, los fragmentos de cada imagen se representan automáticamente para determinar la distribución del tamaño de las rocas fragmentadas.

Wip Frag se puede usar para representar el tamaño de distribución de diferentes maneras. Lineal lineal, log-lineal, log-log y Rossin Rammer. Los resultados de la distribución de tamaño también se pueden guardar en un archivo de texto para acceder desde hojas de cálculo y programas de trazado.

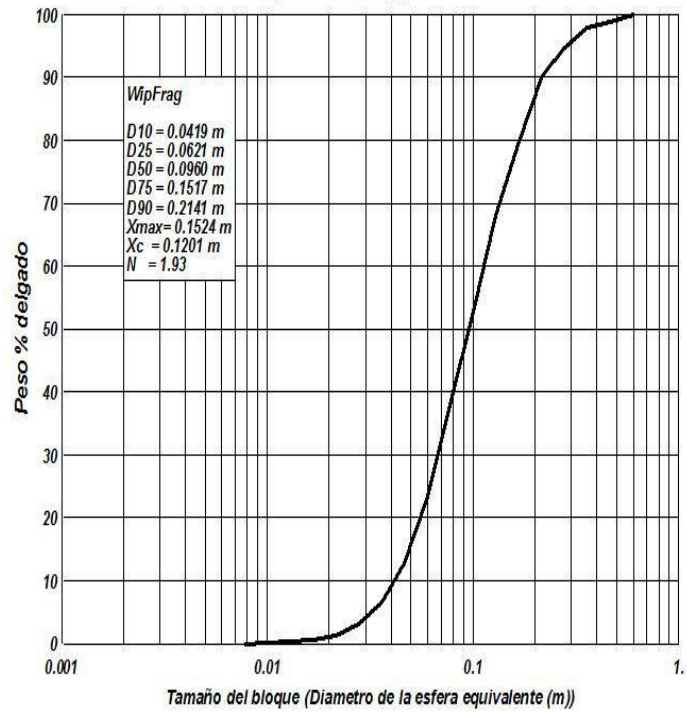


Material volado



Contorneo de partículas

WpFrag© Win Version 2.5 Build 9 Wed 19 Nov 2008  
 WpWare Inc. ID=wip\_09a



WpFrag© Win Version 2.5 Build 9 Wed 19 Nov 2008  
 WpWare Inc. ID=wip\_09a

ISO Metric Size	% Passing	Adjusted % Passing
1000 mm	100.0%	--
500 mm	99.0%	--
300 mm	95.5%	--
150 mm	74.5%	--
125 mm	65.8%	--
100 mm	52.6%	--
75.0 mm	36.0%	--
50.0 mm	15.5%	--
40.0 mm	8.9%	--
37.5 mm	7.4%	--
35.5 mm	6.3%	--
31.5 mm	4.6%	--
25.0 mm	2.3%	--
16.0 mm	0.5%	--
12.5 mm	0.2%	--
10.0 mm	--	--
8.00 mm	--	--
6.70 mm	--	--
5.60 mm	--	--
4.75 mm	--	--
4.00 mm	--	--
3.35 mm	--	--
2.00 mm	--	--
1.40 mm	--	--
1.00 mm	--	--
0.85 mm	--	--
0.60 mm	--	--

### 5.4.1. Análisis con wipfrag (minera Santa Rosa)

		PRUEBAS			
		1	2	3	promedio
Numero de bloques		5686	3310	5983	14979
Mínimo tamaño	Pulg (") b	0.24	0.3	0.32	0.29
Máximo tamaño	Pulg (") b	23.22	24.1	25.3	24.25
Tamaño promedio	Pulg (") b	5.31	7.56	6.3	6.2
Moda (tamaño más frecuente) b	Pulg (") b	4.53	5.21	4.2	4.55
Porcentaje de la pila menor a 7"	%	89	88	91	90
Porcentaje entre 7" y 10"	%	10	10	7	8.8
Porcentaje entre 10" y 19"	%	1	2	2	1.6

Del análisis se deduce que:

- ❖ El 90% de la pila de escombros pasa por una malla de 7".
- ❖ Que el 8.8% está entre 7" y 10".
- ❖ Y solo el 1.6 % está entre 10" y 19"

### 5.5. Análisis económico

Las emulsiones gasificantes reducen significativamente no solo el costo de uso de explosivos, sino también los costos generales de carga, manejo de terrenos, lixiviación de minerales, etc. Además, el factor de potencia se reduce en comparación con anfo pesado y anfo.

COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/TM)								
	CANTIDAD			PRECIO UNITARIO		COSTO PARCIAL		
	Explosivo					Explosivo		
	SANG	HANFO				SANG	HANFO	
Booster	1	1	pza	2.321	\$/pza	2.32	2.32	
Fanel	1	1	pza	3.4	\$/pza	3.4	3.4	
NA	0	90.24	kg	0.758	kg/pza	0	68.4	
Emulsión	130	64	kg	0.752	kg/pza	97.76	48.13	
Petróleo	0	5.76	kg	1.078	kg/pza	0	6.21	
Total						103.48	128.46	

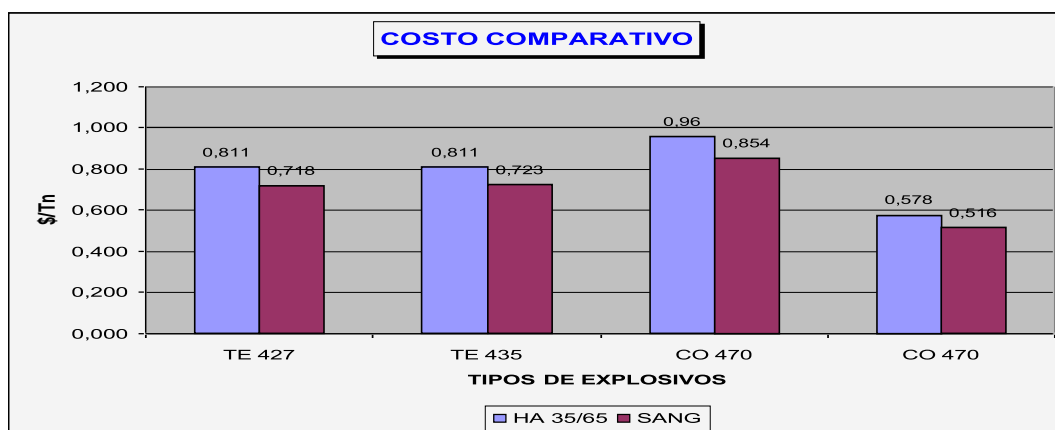
EXPLOSIVO			Diferencia
	SANG\$/TM	HANFO\$/TM	\$/TM
<b>COSTO</b>			
<b>UNIT</b>	0.342	0.424	0.082
<b>PRECIOS ACTUALES</b>			
Accesorios			
Booster	2.321		\$/pza
Fanel	3.4		\$/pza
<b>AGENTES DE VOLADURA</b>			
Nitrato de amonio	0.758		kg/pza
Emulsión	0.752		kg/pza
Petróleo	1.078		kg/pza

<b>PARAMETROS DE EXPLOSIVO</b>			
		SANG	HANFO
Explosivo			
Densidad	De	1.06	1.1 g/cm <sup>3</sup>
Diametro de explosivo	φ exp	1.5	1.5 mm
Carga explosiva	Qexp	130	160 kg
Factor de potencia	PF	0.429	0.528 kg/TM

<b>PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA</b>				
		EXPLOSIVO		
		SANG	HANFO	
Diametro taladro	Ø tal	146	146	mm
Burden	B	3.55	3.55	m
Espaciamiento	S	4.1	4.1	m
Altura Banco	H	8	8	m
Longitud taladro	L	8.5	8.5	m
Sobreperforacion	J	0.5	0.5	m
Taco	T	2.2	1.5	m
Densidad de roca	dr	2.6	2.6	g/cm <sup>3</sup>
Volumen roto	Vt	116.46	116.46	m <sup>3</sup>
Toneladas rotas	Tt	302.80	302.80	TM

## RESUMEN COMPARATIVO DE COSTOS HANFO VS SANG

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





## Conclusiones

- ❖ En consecuencia con el objetivo general, en la Minera Santa Rosa se ha conseguido una mejora general en sus operaciones mediante el empleo de la emulsión gasificable, acompañada de una reducción de sus costos y, por ende, de un incremento de la rentabilidad de la empresa, tan necesaria en esta época de crisis global.
- ❖ Se reduce el factor de potencia de 0.53 con Heavy Anfo a 0.43 Kg/TM con emulsión gasificable.
- ❖ Se reduce el costo unitario de voladura de 0.42\$/TM a 0.34 \$/TM, Debido básicamente a la reducción de la longitud de carga, por la cual se deja por probar el incremento de espaciamiento y burden.
- ❖ En Rentabilidad se reducen los costos globales de minado de manera importante al reemplazar la mezcla ANFO de nitrato de amonio y petróleo por un producto de algo mayor costo inicial pero cuyo consumo es notablemente menor y que, sobre todo, aporta beneficios a las demás operaciones confortantes del costo global de minado (perforación, carguío y acarreo).
- ❖ Los datos numéricos se pueden resumir nuevamente de la siguiente manera:
- ❖ Reducción del Costo Unitario Global en 16.5 %.
- ❖ Reducción del Factor de Potencia en 14.7 %.
- ❖ Mejora de la fragmentación con un 90% de la pila pasando la malla 18 cm.

### **Recomendaciones**

- ❖ Diseño de una cuadrícula con el modelo de voladura Gemcom y mejorar de los parámetros actuales.
- ❖ Utilice el software JK Simblast para estandarizar el diseño de la secuencia de salida y la evaluación de disparos.
- ❖ Para mejorar aún más la fragmentación a nivel de bloque, es recomendable usar solo materiales de grava y crear material que pueda proporcionar meses de producción.
- ❖ La optimización se debe realizar a partir de los detonadores no eléctricos convencionales, luego utilizando en conjunto con retardos secuenciales y finalmente con la utilización de detonadores electrónicos en zonas muy críticas, los cuales proporcionarán la flexibilidad y exactitud del timing que permite mantener el nivel de vibraciones tan bajo cómo es posible con una consistencia muy buena y un incremento en la carga por retardo.
- ❖ Si bien es cierto la información generada por el martillo Schmidt permitirá una mejor diferenciación de los sectores de durezas, de acuerdo a las diferentes experiencias se tendrá cuidado en su ajuste exponencial puesto que se ha visto que existe un sobredimensionamiento de los valores de UCS a partir de valores de rebote sobre 50.

## Bibliografía

- Arvind, Manamohan, Deepanshu, & Shakty. (2018). Influence of gasifying agent and density on detonation velocity of bulk emulsion explosives. *Scopus*. Obtenido de <https://www-scopus-com.unmsm.lookproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85025454174&origin=resultslist&sort=r-f&src=s&mltEid=2-s2.0-85048927324&mltType=ref&mltAll=t&imp=t&sid=caabb78baed58650f42e147bfb3794de&sot=mlt&sdt=mlt&sl=218&s=REFEID%28%28%222-s2.0>
- Jomenko, Kononenko, Myronova, & Savchenko. (2019). Application of emulsion explosives in tunnel construction. *Scopus*. Obtenido de <https://www-scopus-com.unmsm.lookproxy.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85074302292&citeCnt=12&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=Influence+of+Explosive+Charge+Diameter+on+the+Detonation+Velocity+Based+on+Emuli>
- Kononenko, Khomenko, Kovalenko, & Savchenko . (2021). “Control of density and speed of emulsion explosives detonation for the breaking of minerals”. *Scopus*. Obtenido de <https://www-scopus-com.unmsm.lookproxy.com/record/display.uri?origin=citedby&eid=2-s2.0-85105657448&citeCnt=12&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=Influence+of+Explosive+Charge+Diameter+on+the+Detonation+Velocity+Based+on+Emulinit+7L+and+8L+Bulk+Emulsi>
- Mertuszka, Cenian, Kramarczyk , & Pytel . (2018). Influence of Explosive Charge Diameter on the Detonation Velocity Based on Emulinit 7L and 8L Bulk Emulsion Explosives. *Central European Journal of Energetic Materials*. Obtenido de [file:///C:/Users/Omen/Downloads/Influence\\_of\\_Explosive\\_Charge\\_Diameter\\_on\\_the\\_Deto.pdf](file:///C:/Users/Omen/Downloads/Influence_of_Explosive_Charge_Diameter_on_the_Deto.pdf)
- Pozo, A. C. (2017). *Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la Mina Cuajone – Southern Perú*. Repositorio institucional Universidad

Central del Ecuador, Quito. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10417/1/T-UCE-0012-29.pdf>