

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**“USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE PARA REDUCIR
COSTOS DE PERFORACIÓN-VOLADURA EN MINERÍA
SUPERFICIAL Y SÚBTERRANEA”**

INFORME DE COMPETENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

ELABORADO POR:
RAMIRO GERÓNIMO GUERRA SANABRIA

ASESOR:
Ing. ELVIS WILLIAM VALENCIA CHAVEZ

LIMA-PERU
2013

En memoria de mis Amados Padres

Federico y Emiberta

A mis amados hijos e hijas que son el motor de mi vida

Agradecimiento a los profesores de mi Alma Mater, que contribuyeron en mi
Formación académica, a mis asesores Dr. Agreda e Ing. Valencia,
A Arturo Nuñez mi jefe y amigo, quien me brindo confianza
Para enfrentar un nuevo reto en mi desarrollo profesional,
A mi amada Bertha, esposa, amiga y fiel compañera

RESUMEN

El presente trabajo resume los resultados de voladura con emulsión a granel gasificable en labores de minería superficial y subterránea, cuyos resultados técnico económico fueron comparados con los resultados de las voladuras con el uso de explosivos convencionales, esto es:

En minería superficial	H-ANFO/ANFO
En minería subterránea	Dinamitas, emulsiones encartuchadas, Anfo

Los resultados fueron satisfactorios para los intereses de nuestros clientes:

Minería subterránea

A mediados del año 2007 se inició una etapa de pruebas con un equipo prototipo fabricante de explosivos, accionado con aire comprimido en las unidades mineras Yauliyacu, Condestable y San Ignacio de Morococha.

Los resultados económicos nos permitieron lograr contratos de voladura en las minas:

Cía. Minera Panamerican – UP Morococha

Cía. San Ignacio de Morococha

Cía. Minera Hocschild-UP Arcata

Sociedad Minera El Brocal-UP Marcapunta

Minería superficial

A finales del año 2008 se iniciaron pruebas técnicas a nivel industrial en la Cía. Minera Aurífera Santa Rosa (COMARSA), los resultados fueron comparados con el explosivo estándar H-ANFO.

También realizamos pruebas técnicas con esta emulsión gasificable en compañías mineras: La Arena, Cantera Cementos Lima.

A fines del mes de Noviembre 2012, realizamos pruebas técnicas en la unidad de operación Cuajone de Southern Peru, los resultados fueron muy buenos, el detalle de los mismos se expondrá en el desarrollo del presente informe.

Este explosivo (SAN-G) se encuentra en proceso de homologación para su posterior utilización como producto estándar.

Los excelentes resultados de las pruebas técnicas en las compañías mineras descritas líneas arriba, nos permitieron contratos con:

Cía. Minera Aurífera Santa Rosa (COMARSA)

Cía. Minera La Arena

Cantera Cementos Lima

ABSTRACT

This report summarizes the results of the gasifiable bulk emulsion blasting in surface and underground mining labors. The technical and economic results were compared with the blasting results of conventional explosives, like these:

In Surface mining	H-ANFO/ANFO
In Underground mining	Dynamites, cartridge emulsions, Anfo

The results were satisfactory for our clients' interests.

Underground mining

In the middle of 2007, a period of testing began with a prototype explosives maker equipment compressed air powered in Yauliyacu, Condestable and San Ignacio de Morococha.

The economic results allowed us to obtain blasting contracts in the following mining operations:

- Co. Minera Panamerican – UP Morococha
- Co. San Ignacio de Morococha
- Co. Minera Hocschild-UP Arcata
- Sociedad Minera El Brocal-UP Marcapunta

Surface Mining

In late 2008 the technical tests were started at industrial level in the Company Aurífera Minera Santa Rosa (COMARSA), the results were compared with the standard H-ANFO.

Also some this gasifiable emulsion technique in mining companies the Arena and Quarry Cementos Lima.

At the end of November 2012, some technical tests were conducted in Cujone operating unit of Southern Peru and the results were very good, and these will be discussed later

The SAN-G explosive mixture is in the process of approval for subsequent use as a standard product.

The excellent results of the technical evidence in mining companies described above, allowed some blasting operations in:

Cía. Minera Aurífera Santa Rosa (COMARSA)

Cía. Minera La Arena

Quarry Cementos Lima

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I - FUNDAMENTO CIENTÍFICO TÉCNICO	16
1.1.- Definición de Explosivo	16
1.2.- Clasificación de los explosivos	17
1.2.1.- Explosivos Primarios	17
1.2.2.- Explosivos Secundarios	18
1.2.3.- Explosivos Comerciales	19
1.2.3.1.- Altos explosivos, sensibles al fulminante (Nº 8)	19
1.2.3.2.- Agentes voladura, no sensibles al fulminante (Nº8)	19
1.3.- Agentes de voladura en base a Nitrato de Amonio	20
1.3.1.- Anfo	20
1.3.2.- Anfo Aluminizado	25
1.4.- Agentes de voladura en Emulsión explosiva	27
1.4.1.- Emulsión Explosiva	27
1.4.2.- Anfo Pesado	30
1.5.- Emulsión Gasificable	35
1.5.1.- Fundamentos	35
1.5.2.- Antecedentes	35
1.6.- Componentes de la Emulsión Gasificable	37
1.6.1.- Emulsión matriz Inerte Gasificable	38
1.6.2.- Solución Sensibilizante	39
1.7.- Sensibilización de la Emulsión Gasificable	40

1.7.1.- Tiempo de Gasificación	41
1.7.2.- Esponjamiento	42
1.7.3.- Densidad inicial y final	44
1.7.4.- Porcentaje de sensibilizante	45
1.7.5.- Temperaturas de la Emulsión Matriz	46
1.8.- Monitoreo de VOD	46
1.9.- Proceso de Sensibilización	47
CAPÍTULO II - TRABAJOS DE CAMPO	49
2.1.- Características de los camiones-fabrica	49
2.1.1.- Southern Peru – U.P. Cuajone	49
2.1.2.- Sociedad Minera El Brocal	49
2.2.- Cía. Minera Southern Perú – UP Cuajone	50
2.2.1.- Características del Macizo Rocosó	50
2.2.2.- Diseño de Malla de Perforación	51
2.2.3.- Explosivos y Accesorios de Uso Estándar	52
2.2.4.- Resultados de voladuras	52
2.2.5.- Fluctuación de La Densidad y Esponjamiento	54
2.2.6.- Factor de Carga	55
2.2.7.- Velocidad de Detonación	56
2.2.8.- Fragmentación y Granulometría	57
2.2.9.- Evaluación Económica	58
2.3.- Sociedad Minera El Brocal	60
2.3.1.- Características del Macizo Rocosó	60
2.3.2.- Diseño de Malla de Perforación en Galerías y Rampas	61
2.3.3.- Explosivos y Accesorios de Uso Estándar	62

2.3.4.- Resultados de Voladuras	63
2.3.5.- Fragmentación y Granulometría	64
2.3.6.- Evaluación Económica	64
CAPÍTULO III - ASPECTOS IMPORTANTES DE EMULSIÓN GASIFICABLE	67
CAPÍTULO IV - IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS VOLADURAS CON EL USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE	68
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES	69
CAPÍTULO VI - RECOMENDACIONES	71
Bibliografía	72
Anexos	

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.1	Porcentaje en peso de Nitrato de Amonio y Petróleo	14
Tabla 1.2	Estado de las moléculas de los diversos explosivos	15
Tabla 1.3	Orden Cronológico de aparición de los Explosivos	16
Tabla 1.4	Velocidad de Detonación de SAN/ANFO	20
Tabla 1.5	Energía de ANFO, SAN y SAN-G	20
Tabla 1.6	Energía de diversas mezclas de SAN/ANFO	21
Tabla 1.7	Densidad, Viscosidad de SAN y SAN-G	25
Tabla 1.8	Características de SAN-G	25
Tabla 1.9	Formulación Básica de SAN-G	26
Tabla 1.10	Especificaciones Técnicas de SAN-G	26
Tabla 1.11	Variación Temperatura de SAN versus Porcentaje de N-20	32
Tabla 1.12	Variación de VOD Diámetro del taladro y Densidad	33
Tabla 2.1	Caracterización del Macizo Rocosos de Mina Cuajone	38
Tabla 2.2	Parámetros de Perforación Mina Cuajone	39
Tabla 2.3	Información de Campo de SAN-G T- δ -N20	42
Tabla 2.4	Información de Campo de SAN-G T- δ -N20	43
Tabla 2.5	Factores de Carga	43
Tabla 2.6	VOD y Cantidad de Explosivo Por Taladro	44
Tabla 2.7	Resultados de Fragmentación de H-ANFO y SAN-G	45
Tabla 2.8	Precio de Insumos H-ANFO y SAN-G	46
Tabla 2.9	Producción y Consumos de Explosivos de Cuajone	46
Tabla 2.10	Parámetros de Perforación Medidos en campo	46
Tabla 2.11	Inventario de Reservas de SM El Brocal	48

Tabla 2.12	Producción y Consumos de Explosivos de SM El Brocal	50
Tabla 2.13	Diseño de Carga con Emulsión Encartuchada en SM El Brocal	50
Tabla 2.14	Diseño de Carga con Emulsión a Granel en SM El Brocal	51
Tabla 2.15	Datos de Campo Comparativas	52
Tabla 2.16	Cuadro Económico Comparativo	53
Tabla 2.17	Balance Económico en SM El Brocal	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Variación de Precios de Nitrato de Amonio	1
Figura 1.1 Fotografía de Prills de Nitrato de Amonio	8
Figura 1.2 Efecto del Combustible sobre la Performance de la Mezcla Explosiva	10
Figura 1.3 Variación de la Energía de Mezcla versus Contenido de Combustible	10
Figura 1.4 Emisión de Gases Nitrosos en Las Voladuras	11
Figura 1.5 Variación De Energía versus Porcentaje de Aluminio	13
Figura 1.6 Micro gotas de Solución Oxidante	17
Figura 1.7 Estructura de Anfo Pesado	18
Figura 1.8 Detalle del Camión Fabrica Para Minería Superficial	19
Figura 1.9 Camión Fabrica Marca Famesa	20
Figura 1.10 Componentes de La Emulsión Gasificable	25
Figura 1.11 Fotografías Microscópicas de Emulsión Gasificable	28
Figura 1.12 Gráfico de Gasificación versus Temperatura y Densidad	29
Figura 1.13 Gráfico de Esponjamiento Versus Tiempo de Gasificación	30
Figura 1.14 Proceso de Gasificación Versus Tiempo	31
Figura 1.15 Medición de la altura de carga explosiva	32
Figura 1.16 Medición de Altura de Taco	32
Figura 1.17 Medición de Altura de Taco	32
Figura 1.18 VOD vs Densidad	35
Figura 1.19 Proceso de Sensibilización	36
Figura 2.1 Camión Fabrica Para Minería Superficial	37
Figura 2.2 Camión Fábrica Para Minería Subterránea	38

Figura 2.3	Camioneta Fábrica ^{2/15} Par Minería Subterránea	38
Figura 2.4	Diseño de Perforación MINA Cuajone	40
Figura 2.5	Diseño de Carga mina Cuajone H-ANFO y SAN-G	42
Figura 2.6	Evaluación Económica en Cuajone	48
Figura 2.7	Malla de Perforación en SM El Brocal	50

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo resume mi experiencia profesional, como también muestra las experiencias con una nueva tecnología en explosivos.

La gran demanda de Nitrato de Amonio y la constante subida del precio de este insumo principal para la fabricación de explosivos, por el creciente desarrollo mundial de las empresas mineras, ha obligado a las empresas fabricantes de explosivos (nacional) buscar alternativas de sustitución de este insumo; es por ello Famesa Explosivos, luego de muchos años de investigación logra la formula de una emulsión a granel gasificable al que denomina SAN-G® y Emulfrag ®; para minería superficial y subterránea respectivamente.

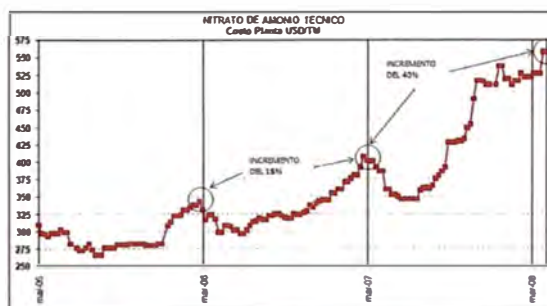


Figura 1. Variación de Precios del Nitrato de Amonio
Fuente: FMB Weekly Fertilizer Report

Estos explosivos fueron diseñados para reemplazar a los explosivos convencionales, tales como:

- En Minería subterránea:
 - o Dinamitas gelatinas/semi-gelatinas
 - o Emulsiones encartuchadas
 - o ANFO

- En Minería superficial:
 - o ANFO
 - o ANFO Pesado (H-ANFO)

A fines de Noviembre del 2008 en La Cía. Minera Aurífera Santa Rosa Comarsa, y a fines de Diciembre del 2008 en Cía. Minera Panamerican Silver unidad de operaciones Argentum, se inició una etapa de pruebas para demostrar la performance de este explosivo a granel gasificable SAN-G y Emulfrag respectivamente, cuyos resultados fueron comparados con los explosivos de uso convencional en las empresas mineras antes referidas.

Los resultados técnico–económico de estas pruebas, han permitido consolidar este explosivo a granel gasificable en las compañías mineras mencionadas, que posteriormente se ha concretado con sendos contratos.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO CIENTÍFICO TÉCNICO

1.1.- Definición de Explosivo

Un explosivo es una sustancia o una mezcla de sustancias (combustibles y oxidantes) que, por la influencia de una excitación conveniente, dan lugar a una descomposición muy rápida que se propaga con formación de productos más estables, liberación de calor y creación local de una alta presión que generará efectos mecánicos violentos, como consecuencia de la influencia del calor y los gases producidos.

Los explosivos, más allá de su uso militar o delictivo tienen una gran importancia en el ámbito de la minería o de la Ingeniería Civil, siendo mezclas muy útiles para la extracción de minerales, perforación de túneles o demolición de estructuras.

La velocidad de la reacción química es fundamental, pues la energía térmica no tiene tiempo de ser disipada y queda acumulada en los gases, que la liberan de forma violenta como trabajo mecánico, este fenómeno recibe el término de detonación.

La detonación es un fenómeno de oxidación-reducción; oxidación del carbono e hidrógeno del explosivo por el oxígeno de la molécula y reducción del nitrógeno de la misma.

El primer explosivo conocido fue la pólvora, llamada también polvo negro, empezó a utilizarse hacia el siglo XIII y fue el único explosivo conocido durante siglos. Los nitratos de celulosa y la nitroglicerina, ambos descubiertos en 1846, fueron los primeros explosivos propiamente dichos. Desde entonces, nitratos, compuestos de nitrógeno, fulminatos y azidas han sido los principales compuestos explosivos utilizados por separado o mezclados con combustibles y otros ingredientes.

El explosivo está presente en la vida del minero, su poder lo hace muy peligroso sino se usa de acuerdo a normas establecidas. Su uso indebido ha causado muchos accidentes muy graves y mortales. Los explosivos se usan para fragmentar, destruir o debilitar materiales de gran dureza, normalmente rocas y/o estructuras.

1.2.- Clasificación de los Explosivos

Existen varias formas de agrupar o clasificar los explosivos. Una clasificación comúnmente usada en Norte América es la siguiente:

1.2.1.- Explosivos Primarios

Utilizados como cargas iniciadoras de explosivos de menor sensibilidad, son extremadamente sensibles a la iniciación ya sea por fricción, calor o impacto y cuando detonan producen una onda de choque

suficientemente intensa como para iniciar explosivos secundarios. Los mismos pueden ser detonados aun en muy pequeñas cantidades.

Ejemplos de explosivos primarios, son aquellos utilizados en los detonadores como la Azida de Plomo o Fulminato de Mercurio, etc.

1.2.2.- Explosivos Secundarios

También llamados altos explosivos, son menos sensibles a la iniciación que los anteriores, tanto que se suele destruir quemándolos en cantidades limitadas sin que ocurra una detonación. Estos explosivos constituyen la carga principal en granadas, morteros, y otros proyectiles militares, como así también en los cebos usados para iniciar explosivos comerciales en operaciones mineras, canteras o en la industria de la construcción.

Ejemplos de explosivos secundarios son:

- Nitroglicerina, muy sensible, generalmente se le aplica un desensibilizador.
- TNT
Hexógeno, RDX Ciclonita (trinitrofenilmetilnitramina)
- Pentrita, PT, PETN Tetra nitrato de pentaeritrita
- Octógeno o HMX (Ciclotetrametilentetranitramina)
- Nitrocelulosa
- Pentolita

1.2.3.- Explosivos Comerciales

Estos están basados en mezclas conteniendo nitrato de amonio y/o nitroglicerina como el principal ingrediente del explosivo. Se les puede clasificar en Dinamitas, Gelatinas y Agentes Explosivos.

1.2.3.1.- Altos explosivos, sensibles al fulminante (Nº 8).

1.2.3.2.- Agentes voladura, no sensibles al fulminante (Nº8).

Los altos explosivos sensibles comprenden a:

1. Dinamitas.
2. Explosivos permisibles o de seguridad para minería de carbón.
3. Explosivos hidrogel y emulsiones sensibilizadas.
4. Explosivos especiales.

Los agentes de voladura no sensibles comprenden dos grupos:

a) Agentes de voladura acuosos (*wáter gels*) son:

1. Hidrogeles o *slurries*.
2. Emulsiones.
3. Agentes mixtos (emulsión/ANFO o ANFOs pesados).

b) Agentes de voladura NCN granulares, secos. ANFO y Similares

1.3.- Agentes de Voladura en Base a Nitrato de Amonio

1.3.1.- ANFO.

El NAFO o ANFO, del inglés: *Ammonium Nitrate - Fuel Oil*, es un explosivo de alto orden. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras y de demolición, debido a que son muy seguras, baratas y sus componentes se pueden adquirir con mucha facilidad.

Las cantidades de nitrato de amonio y combustible varían según la longitud de la cadena hidrocarbonada del combustible utilizado. Los porcentajes van del 90% al 97% de nitrato de amonio y del 3% al 10% de combustible, por ejemplo: 95% de nitrato de amonio y 5% de petróleo.

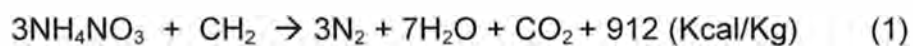
El ANFO tiene como principal problema su gran facilidad para disolverse en agua dado su gran tendencia a la absorción (higroscópica). Cuando al ANFO se le añade polvo de aluminio el ANFO se convierte en una variedad aún más potente llamada AIANFO. La detonación del ANFO produce una onda expansiva muy potente.

El ANFO no ha estado exento de accidentes a pesar de su relativa seguridad de manipulación, el 6 de septiembre de 2010, en la Región de Antofagasta, en la comuna de Sierra Gorda, seis personas murieron despedazadas al manipularlo, de ellas, al menos tres tenían amplia experiencia en su uso.



Figura 1.1. Fotografía de Prills de Nitrato de Amonio
Fuente: Ramiro Guerra S.

Considerando la ecuación estequiometria del ANFO balanceado en oxígeno, se tiene:



Los pesos moleculares de cada uno de los elementos son:

$$\text{N}=14 \quad \text{C}=12 \quad \text{H}=1 \quad \text{O}=16$$

Lo que resultará:

El peso molecular para el nitrato de amonio de $\text{PM}=254\text{gr/mol}$.

El peso molecular del diesel (CH_2) es $12+12=14 \text{ gr/mol}$, lo que resulta una mezcla con un contenido en peso del diesel de:

$$\frac{14 \times 100}{254} = 5.6\%$$

Por esta razón se recomienda mezclar NA y CH_2 en una proporción en peso de 94% de nitrato de amonio y 6% de diesel o fuel oil (Fo).

El nitrato de amonio es un oxidante portador de oxígeno, dado que cada molécula de NH_4NO_3 tiene un átomo de oxígeno en exceso.

Existe una variedad de combustibles, pueden ser aserrín, bagasa, carbón, aceites y lubricantes e inclusive productos altamente inflamables como el nitro metano y nitro propano, que también aportan energía a la reacción, de todos estos combustibles, el diesel es el más barato y fácil de utilizar.

La energía liberada puede calcularse para distintas mezclas de nitrato de amonio y combustible. La máxima energía es liberada cuando el exceso de oxígenos aportado por el nitrato de amonio reacciona con el combustible generando dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O) y nitrógeno (N_2). Cuando ello se produce, estamos en presencia de una mezcla balanceada en oxígeno, observe figura 1.2.

Las siguientes reacciones gaseosas demuestran la razón por la cual la energía liberada será óptima cuando los productos de la reacción son los generados por una mezcla balanceadas en oxígeno:



Otro ejemplo:



Último ejemplo seria:



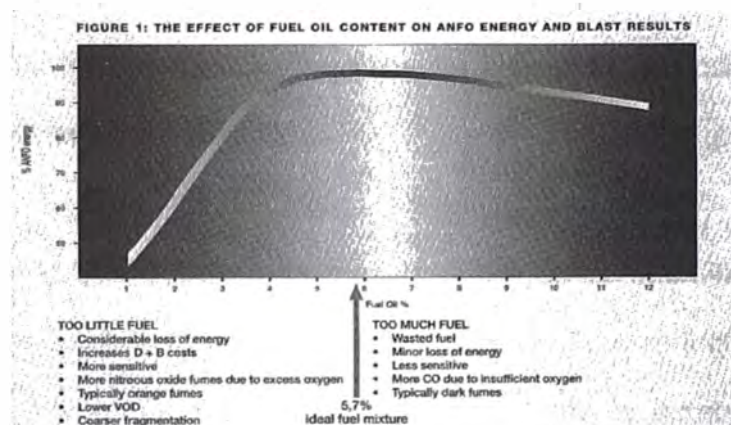


Figura 1.2. Efecto de la Combustible sobre la Performance de la Mezcla Explosiva
Fuente: Chemical Sasol

Se aprecia que cuando los gases resultantes de la reacción son vapores de (H_2O) o dióxido de carbono (CO_2), los calores de formación de los productos de la reacción son más altos que cuando el resultado de la reacción es monóxido de carbono (CO).

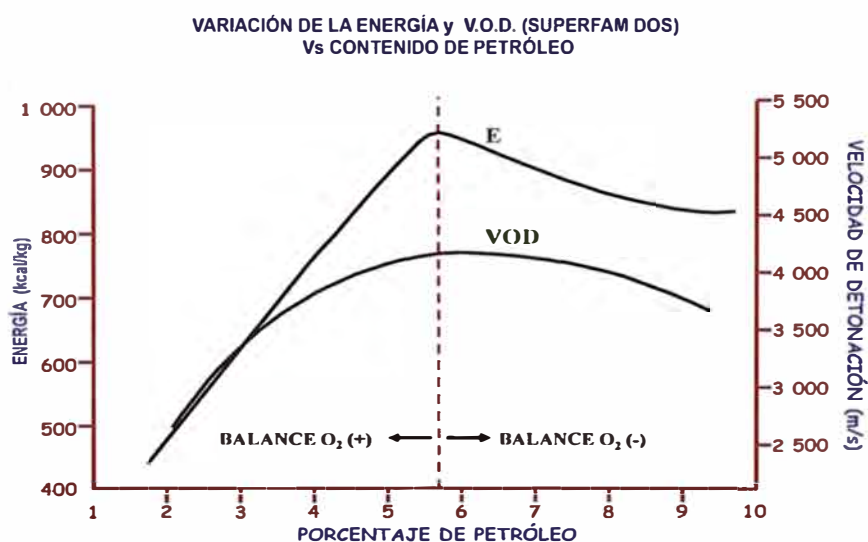


Figura 1.3. Variación de la Energía de Mezcla versus Contenido de Combustible
Fuente: Cia. Exsa (2003)

Este último tipo de reacción donde se produce CO, es típica de mezclas ricas en combustible, que resultara en una reducción de la energía liberada durante la detonación.

En el caso de tener una mezcla pobre de combustible, se inducirá la formación de óxidos de nitrógeno (NO), que también reducirá en una mayor proporción la energía que el caso anterior, como lo establece la siguiente reacción:



De hacerse aun más pobre en combustible, el resultado será la formación de dióxido de nitrógeno (N₂O), es decir:



Lo que producirá gases de color naranja, como se aprecia en el siguiente gráfico:



Figura 1.4. Emisión de Gases Nitrosos en Las Voladuras
Fuente: Ramiro Guerra

1.3.2.- Anfo Aluminizado

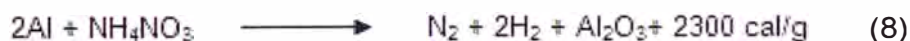
El agregado de aluminio a las mezclas de ANFO tiene como principal objetivo incrementar la energía liberada por la reacción. En muchas ocasiones se utiliza como carga de fondo, asegurando así una buena fragmentación en las zonas de mayor confinamiento.

Una de las principales desventajas de los ANFOs basados en gránulos porosos radica en su baja densidad, lo cual se traduce en una baja energía liberada o energía por unidad de longitud del taladro: Es conocido que la adición de aluminio al ANFO resultará en la liberación de una mayor energía. La presencia de aluminio generara óxidos de aluminio en un proceso sumamente exotérmico, generando grandes cantidades de calor, lo cual mejorara la energía liberada durante la reacción.

Para elevar esa energía, desde el 12 de Diciembre de 1968 que se invento el AL/AN/FO por el Dr. Alan Bauer en Marcona, se viene añadiendo Aluminio con muy buenos resultados técnicos y económicos, sobre todo cuando las rocas son masivas y los costes de perforación altos. Cuando el aluminio se mezcla con el nitrato amónico y la cantidad es pequeña la reacción que tiene lugar es:



Pero cuando el porcentaje de aluminio (Al) es mayor, la reacción que se produce es la siguiente:



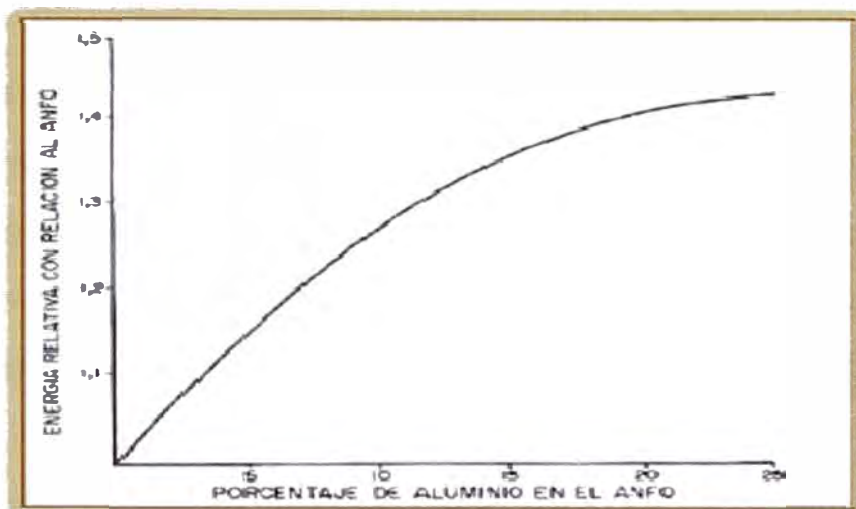


Figura 1.5. Variación de Energía versus Porcentaje de Aluminio
Fuente: Alan Bauer (Marcona)

Efecto del aluminio sobre la energía desarrollada con respecto a una misma cantidad de ANFO.

El límite práctico, por cuestiones de rendimiento y economía se encuentra entre el 13 y el 15%, porcentajes superiores aumentarán considerablemente la energía respecto del ANFO, pero la formación de productos sólidos implica que existe energía que no ha sido liberada durante la reacción y que permanece atrapada dentro del aluminio sin producir trabajo útil. Dicha energía ha sido experimentalmente evaluada y se considera que aproximadamente la mitad de la energía asociada con el producto sólido es liberada en forma de energía útil, por tanto, al agregar aluminio a mezclas de ANFO, la energía liberada no aumenta en forma lineal al porcentaje de aluminio agregado.

Otro tema importante es, que cuando se adiciona aluminio a una mezcla de ANFO estamos agregando un combustible, razón por el cual se debe reducir la cantidad de fuel oíl para mantener así la mezcla balanceada en oxígeno y maximizar la liberación de energía. La siguiente tabla muestra los porcentajes en peso de nitrato de amonio y fuel oíl requeridos para optimizar la energía liberada cuando se agrega porcentajes de aluminio.

Tabla 1.1. Porcentaje en peso de Nitrato de Amonio y Petróleo

AN	FO	Al
94%	5.6%	0%
90.5%	4.5%	5%
89.1%	3.9%	7%
87.0%	3.0%	10%
85.0%	2.0%	13%

Es conveniente que el tamaño de los gránulos de aluminio sean lo suficientemente pequeños para que la reacción pueda ser completada. Existen no obstante ciertos límites inferiores surgidos de consideraciones de seguridad. Se sabe que las mezclas de polvos de aluminio y aire son explosivas y que el tamaño de la partícula de aluminio tiene un rol preponderante en su detonación.

1.4.- Agentes de Voladura en Emulsión Explosiva

1.4.1.- Emulsión Explosiva

Desde un punto de vista químico, una emulsión es un sistema bifásico en forma de una dispersión estable de un líquido inmiscible en otro. Las

emulsiones explosivas son del tipo denominado "agua en aceite" en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado.

El desarrollo de los explosivos ha llevado consigo una reducción progresiva del tamaño de las partículas, pasando desde los sólidos a las soluciones salinas con sólidos y, por último, a las micro gotas de una emulsión explosiva. Aprecie usted la siguiente tabla.

Se comprende así, que la dificultad de fabricación de las emulsiones se encuentra en la fase aceitosa pues, por imperativo del balance final de oxígeno, el 6% en peso de la emulsión, que es el aceite, debe englobar al 94% restante que se encuentra en forma de micro gotas.

Tabla 1. 2. Dimensión de los Oxidantes en los Explosivos
(Bampffield y Morre, 1984)

EXPLOSIVO	TAMAÑO mm	ESTADO	VELOCIDAD DE DETONACION km/s
ANFO	2	Solido	3.2
DINAMITA	0.2	Solido	3.0
HIDROGEL	0.2	Solido/Liquido	3.2
EMULSION	0.001	Liquido	5.0

El interés de estos productos surgió a comienzos de la década de los 60, cuando se investigaban las necesidades básicas de un explosivo para que se produjera el proceso de detonación combinando una sustancia oxidante con un aceite mineral.

Estos constituyentes han permanecido químicamente invariables durante muchos años (nitrato amónico + gas-oil), pero, sin embargo, la forma física ha cambiado drásticamente. La siguiente tabla resume, el *orden cronológico* de aparición de los explosivos, los oxidantes, combustibles y sensibilizadores empleados en la fabricación de cada uno de ellos.

Tabla 1.3. Orden Cronológico de Aparición de Los Explosivos

EXPLOSIVO	OXIDANTE mm	COMBUSTIBLE	SENSIBILIZANTE km/s
DINAMITAS	Solidos/ Nitratos	Solidos/Material Absorbente	Liquido/Nitroglic. Sensibilizante
ANFO	Solidos/ Nitratos	Liquido/Aceites	Poros
HIDROGEL	Solido/Liquido Nitratos <i>Soluciones Salinas</i>	Solido/Liquido Aluminio <i>Sensibilizantes</i>	Solido/Liquido Al. Polvo <i>Gasificantes</i>
EMULSION	Liquidos/ Soluciones Salinas	Liquido/Aceites / Parafinas	Gasificantes

La estructura de las emulsiones se observa en las fotografías siguientes, donde las micro gotas de solución saturada (oxidante) adoptan una forma poliédrica y no de esferas, con una fase continua de aceite que las envuelve. En la Foto figura 1.6 el tamaño de las micros gotas comparadas con el de un *prill* de nitrato amónico es 100 veces más pequeño.

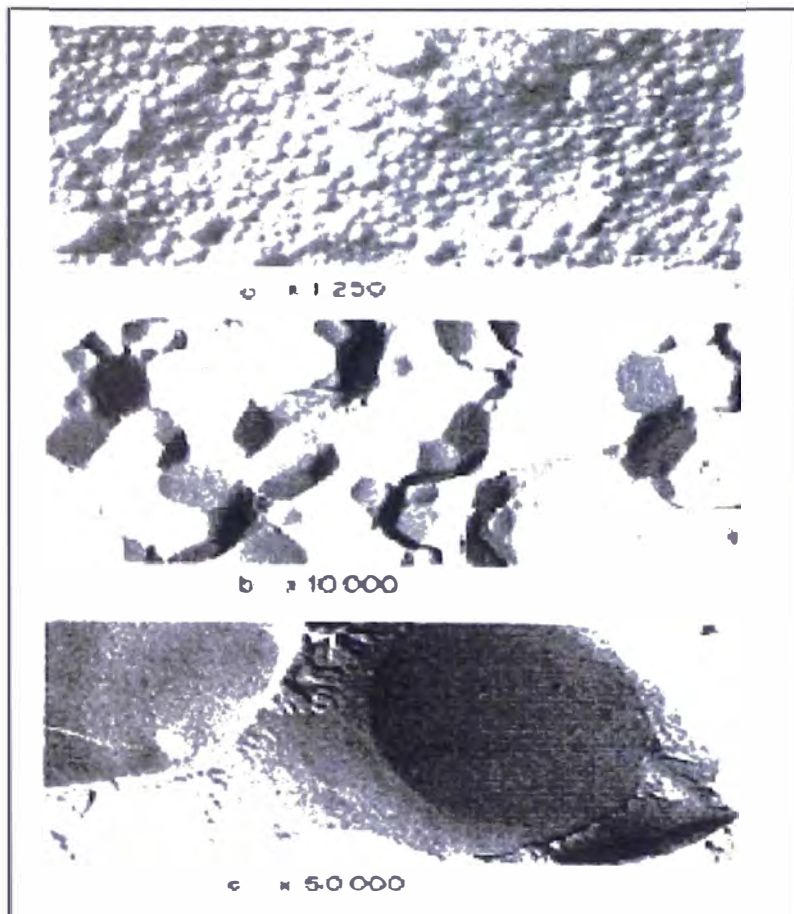


Figura 1.6. Micro gotas de Solución Oxidante
Fuente: Bampfield y Morrey, 1985

1.4.2.- Anfo Pesado

En la tecnología actual de voladuras es incuestionable que el ANFO constituye el explosivo básico. Diversos intentos se han dirigido hacia la obtención de una mayor energía de este explosivo, desde la trituración de los prills de nitrato amónico de alta densidad hasta el empleo de combustibles líquidos de alta energía, como las nitro parafinas, el metanol y el nitro propano, pero comercialmente no han prosperado.

El ANFO Pesado, que es una mezcla de emulsión base con ANFO, abre una nueva perspectiva en el campo de los explosivos.

El ANFO presenta unos orificios intersticiales que pueden ser ocupados por un explosivo líquido como la emulsión que actúa como una matriz energética. Observe la siguiente figura:

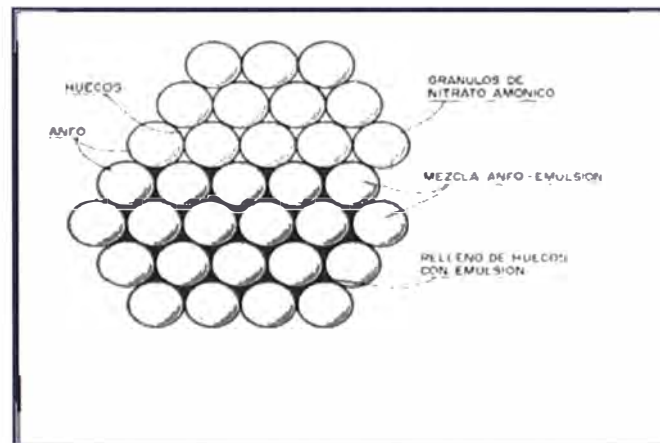


Figura 1.7. Estructura de Anfo Pesado
Fuente: Dr. Melvin Cook R. Clay 1980

Aunque las propiedades de este explosivo dependen de los porcentajes de mezcla, las ventajas principales que presenta son:

- Mayor energía
- Mejores características de sensibilidad
- Gran resistencia al agua
- Posibilidad de efectuar cargas con variación de energía a lo largo del taladro

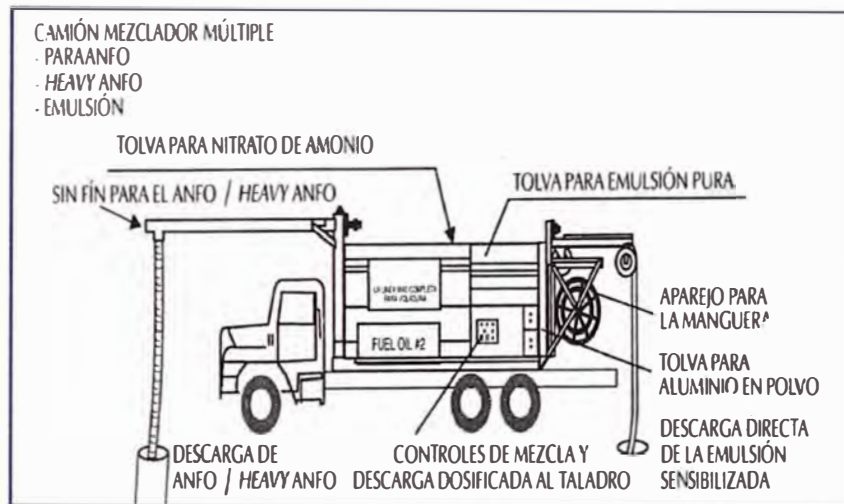


Figura 1.8. Detalle del Camión Fábrica Para Minería superficial
 Fuente: Hustrulid W. 1994

La fabricación es relativamente fácil, pues la matriz emulsión puede ser preparada en una planta fija y transportada en un camión cisterna hasta un depósito de almacenamiento o ser bombeada a un camión mezclador. Con estos camiones pueden prepararse in-situ las mezclas de emulsión con nitrato amónico y gas-oil en las proporciones adecuadas a las condiciones del macizo rocoso.

La adecuada selección de la proporción emulsión/ANFO en la mezcla, dependerá de muchos factores, tales como:

- Condiciones del macizo rocoso (humedad, seco, sc, st, etc.)
- Diámetro del taladro
- Carguío bombeable o vaciable a los taladros
- Necesidad del factor de energía
- Calidad de los prills del NA



Figura 1.9. Camión Fabrica marca Famesa
Fuente: Taller Famesa

En la siguiente tabla se muestra como la velocidad de detonación (VOD) de la mezcla explosiva, depende del diámetro del taladro, de la proporción emulsión/ANFO y del tipo de emulsión usada (sensibilizada o no con micro balones).

Tabla 1.4. Velocidad de Detonación de SAN/ANFO

MEZCLA EMULSION/ANFO	EMULSION EXPLOSIVA ESTANAR						
	Estandar			Sensibilizada con Microbalones			
	6 3/4	7 7/8	9	3 1/2	6 3/4	7 7/8	9
25/75	4,846	-	5,121	-	-	-	5,182
30/70	4,755	-	5,029	-	4,938	-	5,151
35/65	4,663	-	-	-	-	-	5,395
40/60	4,481	4,755	5,243	-	-	5,029	5,486
45/55	3,932	-	4,267	-	5,334	-	5,791
50/50	3,475	-	-	-	5,334	-	5,730
60/40	NR	NR	NR	-	-	-	-
75/25	NR	NR	NR	5,212	-	-	-

La siguiente tabla recoge las energías del ANFO, las emulsiones y diversos ANFOS Pesados preparados a partir de nitrato amónico poroso de baja densidad.

Tabla 1.5. Energía de ANFO, SAN y SAN-G

MEZCLAS: EMULSION/ANFO	Densidad (gr/cc)	Velocidad Detonacion (m/s)
0/100	0.76	3,630.00
10/90	0.83	3,660.00
20/80	0.93	3,690.00
30/70	1.04	3,691.00
40/60	1.22	3,706.00
45/55	1.34	3,363.00
50/50	1.35	3,120.00
60/40	1.36	3,120.00
70/30	1.37	2,623.00
80/20	1.37	1,781.00
90/10	1.37	-
100/0	1.39	-

La siguiente tabla muestra la energía teórica de diferentes mezclas de ANFO pesado, con emulsión sensibilizada con micro balones.

Tabla 1.6. Energía de diversas mezclas de SAN/ANFO

EMULSION			EMULSION /ANFO					
			25/75	30/70	40/60	50/50	60/40	75/25
Sensibilizada con Microbalones	Densidad	gr/cc	1.15	1.21	1.25	1.30	1.28	1.26
	ABS	cal/gr	1,016	1,035	1,030	1,040	985	925
	RBS	%	138	140	140	141	134	125
No Sensibilizada	Densidad	gr/cc	1.02	1.04	1.22	1.35	-	-
	ABS	cal/gr	1,030	1,075	1,080	1,095	-	-
	RBS	%	140	145	146	148	-	-

1.5.- Emulsión Gasificable

1.5.1.- Fundamentos

Las emulsiones explosivas son del tipo agua en aceite, componiéndose de dos fases líquidas, una continua, básicamente constituida por una mezcla de hidrocarburos y otra dispersa, que son micro gotas de una solución acuosa de Sales oxidantes, con el nitrato de amonio como principal componente.

Es importante en su fabricación la elección del agente tenso activo emulsificador y la dispersión ultra fina de la solución acuosa a temperaturas altas. Por su naturaleza aerófila se hace necesario emplear micro burbujas de aire en micro balones y/o esferas de vidrio, como regulador de densidad y de sensibilidad al iniciador así como de generar burbujas de Nitrógeno como sensibilizante químico.

El aire contenido en las micro esferas (Micro burbujas de vidrio o burbujas de nitrógeno) al ser violentamente comprimido (adiabáticamente) por la presión de la onda de choque iniciadora, se inflama, produciendo un efecto denominado de puntos calientes (hot spot), que hacen detonar a la emulsión (Equivaliendo a la nitroglicerina de las dinamitas).

1.5.2.- Antecedentes

1. Quintana y Lanza, en Enero de 1999 dan a conocer un proceso mecánico para la sensibilización de explosivos acuosos. Este proceso consiste en la formación de emulsión o dispersión de gas

en líquido a partir de un producto matriz inerte, que es una mezcla líquida en solución, emulsión o suspensión de oxidantes y combustibles y un gas: La densidad final del producto explosivo se puede variar como función del caudal del gas, y se controla antes de introducir al taladro.

2. A comienzos de la década de los 80s, Cook y Clay inventaron las emulsiones explosivas y los Heavy Anfos.
3. Tyler y Taylor patentaron en Marzo del 2008 en Sudáfrica la emulsión explosiva. Este invento trata de un sistema de dos componentes: una solución matriz inerte y un sensibilizador.
4. En septiembre del 2005. El Ing. Gomez de Segura publico su invento: "Proceso Para La Fabricación In Situ de Mezclas Explosivas", en el incluía un compartimento para un sensibilizante químico.
5. En Mayo del 2006 el químico biomolecular Dr. Gabriel da Silva patenta el invento: "Gasificación de explosivos de emulsión con oxido nítrico"
6. En el 2006 la empresa de explosivos Enaex, da a conocer el desarrollo de una emulsión sensibilizada químicamente, bombeable. denominada Emultex, para minería subterránea.
7. En 2007, Dyno Nobel lanza al mercado y enseña el uso de TITAN 1000G, una emulsión matriz sensibilizada químicamente.
8. En Noviembre del 2008 FAMESA inicia su proceso de evaluación de su emulsión bombeable (EMULFRAG) químicamente sensibilizada en la unidad minera Argentum de Panamerican Silver.

9. Durante el 2008 FAMESA concluye sus estudios de investigación de la emulsión gasificable para minas a tajo abierto (SAN-G), e inicia su evaluación en la Cía. Minera Aurífera Santa Rosa (Comarsa), registrándose de esta manera el primer disparo con una emulsión de este tipo en el Perú. Se realizaron 04 disparos en todos los tajos en los meses de Noviembre y Diciembre.

1.6.- Componentes de la Emulsión Gasificable

SAN-G es un explosivo que se produce justo antes de ser bombeada al taladro, mediante una reacción química entre la Matriz inerte (S.A.N.) gasificable y el sensibilizador denominado Solución N20.

Componente 1
(SAN)



Componente 2
(N-20)



Figura 1.10. Componentes de La Emulsión Gasificable
Fuente: Famesa

1.6.1.- Emulsión Matriz Inerte Gasificable

Solución Acuosa Nitrogenada (SAN) inerte es un agente de voladura, producido en base a una solución microscópica oxidante dispersa en una fase Combustible continua y estabilizada por un elemento emulsificante. Esta emulsión es sensibilizada en las operaciones mineras o canteras antes de su carguío a los taladros, mediante la dosificación de una solución gasificable de sales oxidantes químicamente balanceadas, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad y mayor velocidad de detonación que los anfos pesados, altamente resistente al agua, muy viscosa y muy energética, que a su vez es generadora de una buena calidad de gases de voladura.

Esta emulsión matriz Inerte Gasificable se diferencia de la Emulsión Matriz Inerte para la fabricación de ANFO pesado, por contener en su formulación un aditivo especial para retener el gas en forma de burbujas.

Como se aprecia en la siguiente tabla, la emulsión gasificable es más densa y viscosa que la emulsión común (para elaborar ANFO pesado)

Tabla 1.7. Densidad, Viscosidad de SAN y SAN-G

Tipo de Emulsion	Densidad	Viscosidad
Gasificable	1.38 gr/cc	150,000 Cp
Comun	1.34 gr/cc	90,000 Cp

Tabla 1.8. Características de SAN-G

Densidad relativa de la matriz inerte	1.38 gr/cc
Densidad relativa de la matriz sensibilizada*	0.90 - 1.20 gr/cc
Viscosidad (Brokfield HA DVII a 50 RPM)	14,000 Cp
Velocidad de detonacion **	4,600 - 5,800 m/s
Presion de detonacion	47.6 - 101.0 Kbar
Energia	610 Kcal/Kg
Volumen Normal de Gases	1,020 L/Kg
Potencia relativa en Peso ***	70 %
Potencia relativa en Volumen ***	102 %
Resistencia al Agua	Excelente
Categoria de Humos	Primera
Diametro Critico de Taladros	3 Pulg
Sistema de Carguio	vaciales/Bombeables
Tiempo de estabilidad de la Mezcla	7 dias

1.6.2.- Solución Sensibilizante

Es una disolución acuosa de sales oxidantes (Nitrito de Na, Perclorato de Na) químicamente balanceada de naturaleza iónica, Famesa denomina N-20.

Tabla 1.9. Formulación Básica de SAN-G

SOLUCION SENSIBILIZADORA	
Componentes	Porcentaje en Peso
Perclorato de Sodio	57%
Agua	31.9%
Aceite Shellsol	7.3%
Nitrito de Sodio	3.8%
Emulsificante Sorbitan	2.0%

Tabla 1.10 Especificaciones Técnicas de SAN-G

Características	Unidad	Especificación Nominal
Viscosidad a 20°C	cP	1,0
Densidad a 20°C	g/ml	1,12
Ph	-	5,2
Apariencia		Líquido acuoso de color azul claro

1.7.- Sensibilización de la Emulsión Gasificable

Como resultado de la reacción química de la mezcla de SAN (solución Acosa Nitrogenada) gasificable inerte y la solución N20, se produce gas Nitrógeno que queda atrapado en burbujas dentro de la matriz, son estas burbujas de Nitrógeno las que sensibilizan a la emulsión; el calor producido de esta reacción química exotérmica, se expande las burbujas de Nitrógeno; a medida que transcurre el tiempo de reacción se intensifica la gasificación y la producción de burbujas de Nitrógeno aumenta hasta alcanzar un máximo, al llegar a este punto, la gasificación se hace muy lenta.

Fotos microscópicas X200 y x400

- (1) Burbujas de Nitrógeno,
- (2) Micro balones,
- (3) Matriz SAN

La densidad está en función a la temperatura y concentración de sensibilizante N20.

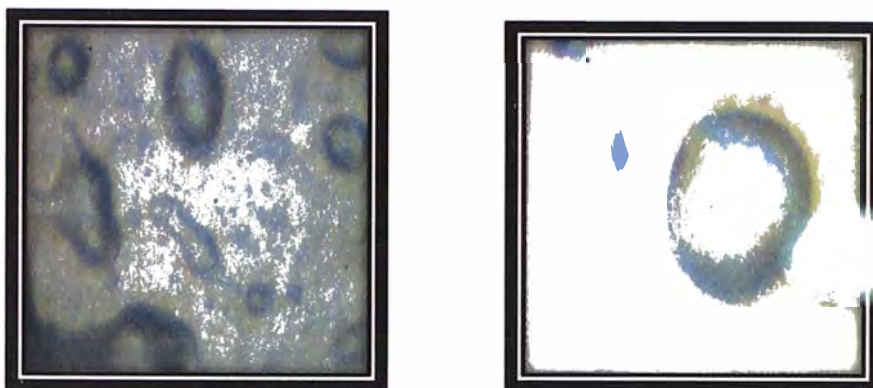


Figura 1.11. Fotografías Microscópicas de Emulsión Gasificable
Fuente: Famesa

1.7.1.- Tiempo de Gasificación

Debe concluir el proceso químico de gasificación y sensibilización; durante este periodo se producen las burbujas de N₂, que traerá como consecuencia la disminución de la densidad de la mezcla; como se observa en la siguiente grafica:

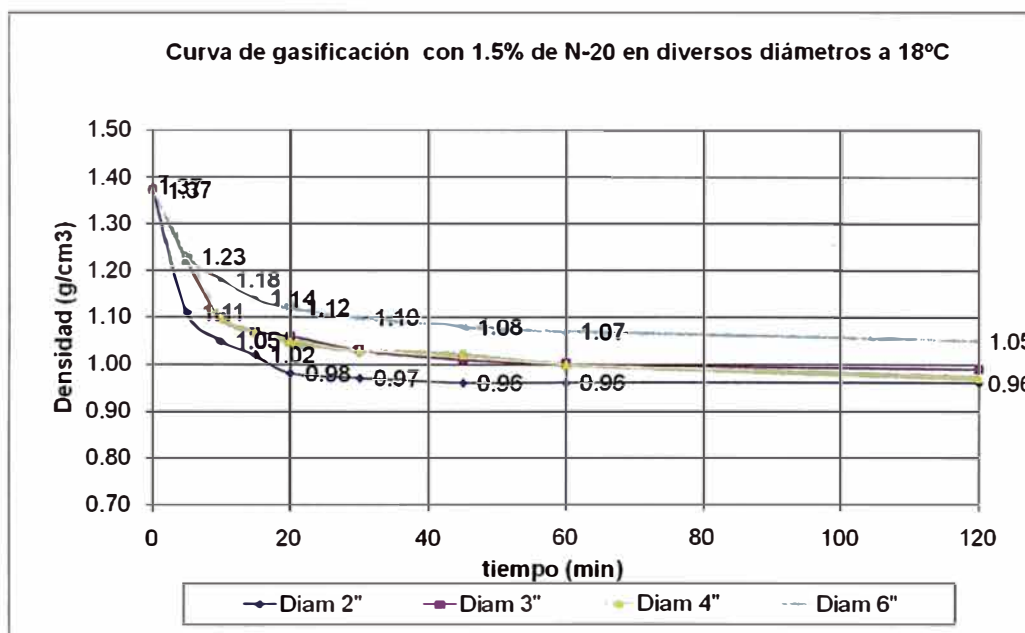


Figura 1.12. Gráfico de Gasificación versus Temperatura y Densidad
Fuente: Laboratorio de Famesa, 2009

1.7.2.- Esponjamiento

Con la producción de gas en forma de burbujas de Nitrógeno dentro de la matriz, se genera un incremento en el volumen de la mezcla, contrariamente ocurre disminución en la densidad, obedeciendo a la definición matemática:

$$D = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} = \frac{m}{v}$$

La masa de la mezcla se mantiene constante, y a medida que el volumen aumenta (esponjamiento) por la generación de burbujas, disminuye la densidad de la mezcla.

Aprecie usted el siguiente grafico, donde muestra el tiempo que alcanza el máximo valor de esponjamiento.

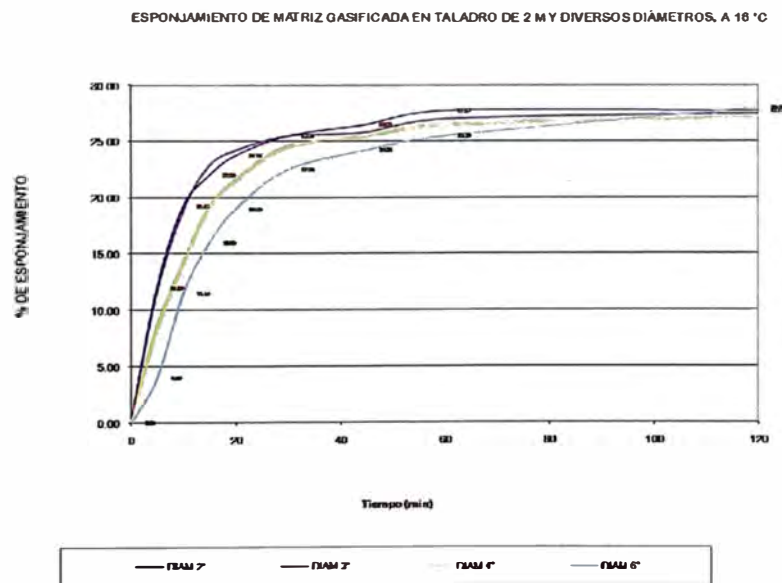


Figura 1.13. Gráfico de Esponjamiento Versus Tiempo de Gasificación
Fuente: Laboratorio de Famesa, 2009

Veamos algunas experiencias en el laboratorio y en el campo para determinar el porcentaje de esponjamiento que experimenta la mezcla gasificada

ESPONJAMIENTO DE LA EMULSIÓN MATRIZ EN TUBO DE PVC DE 1.1/2" ϕ

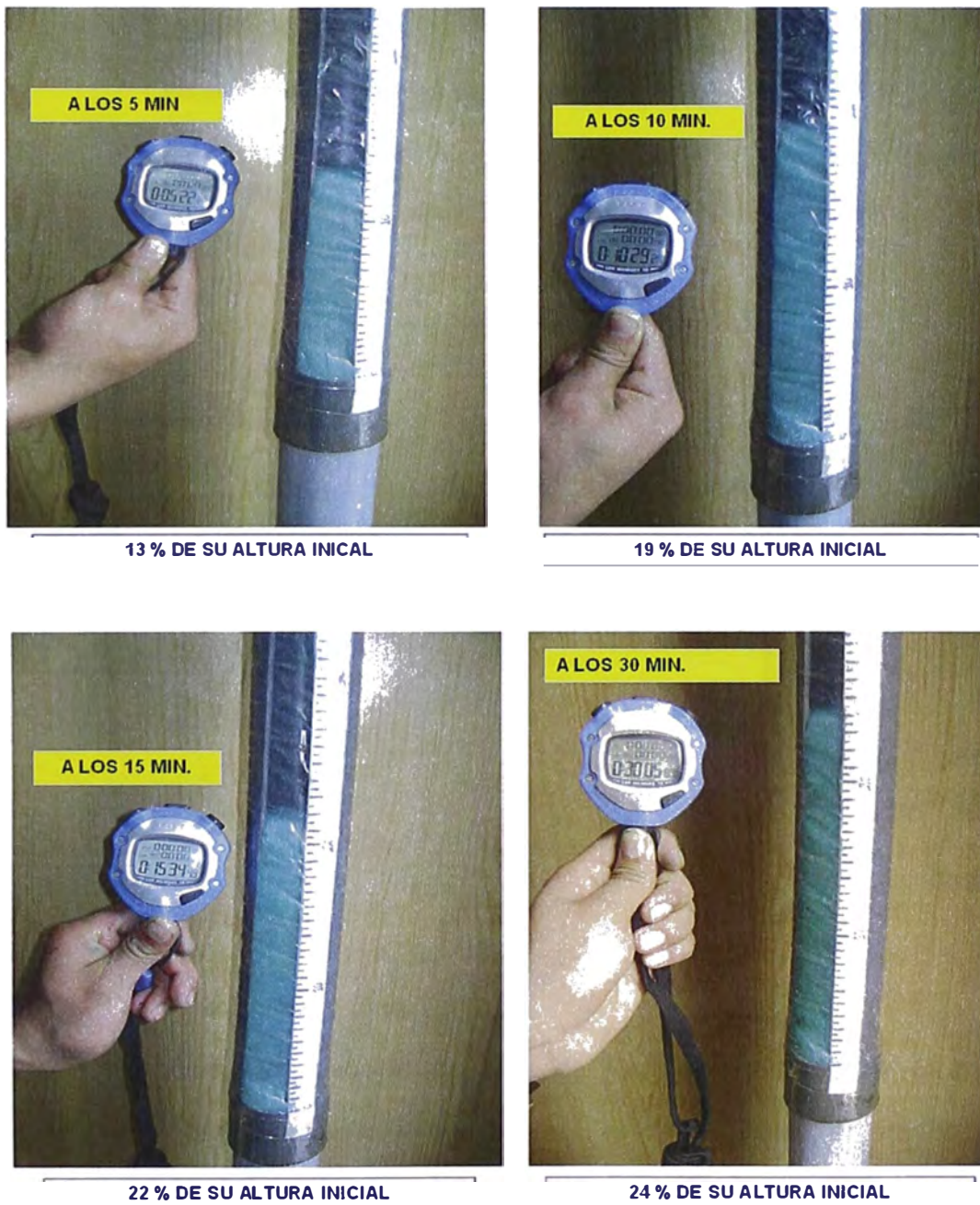


Figura 1.14. Proceso de Gasificación Versus Tiempo
Fuente: Laboratorio Famesa, 2009

Control del Esponjamiento En El Campo

Cargado el taladro con la mezcla gasificable, se procede a controlar las siguientes variables:

- El tiempo de reacción

El porcentaje de esponjamiento (%), midiendo la variación de la longitud del taco

- Observe usted las tres siguientes figuras



Figura 1.15.
Medición de la
altura de carga explosiva



Figura 1.16
Medición de la
altura de Taco



Figura 1.17
Medición de Altura
de Taco

1.7.3.- Densidad Inicial y Final

Concluida la reacción química de los componentes de la mezcla gasificable, cesa la producción de las burbujas de Nitrógeno, es entonces que la mezcla ya es un explosivo sensible y requiere de una agente externo para ser detonada.

La densidad de esta mezcla explosiva, varía entre 0.85 a 1.10gr/cc; esta se diseñara de acuerdo al tipo de terreno a excavar (volar); es sabido que la potencia del explosivo es función directa de la densidad; por tanto, para un terreno muy competente utilizaremos una densidad de 1.10gr/cc; para un terreno bastante frágil utilizaremos una densidad de 0.85gr/cc.

En el campo en cuanto se haya definido la densidad a utilizar, se realizaran ajustes en el sistema de fabricación del camión-fabrica; a este proceso se le conoce como calibración; los factores muy importantes son los valores de la temperatura de la emulsión matriz y el porcentaje de solución sensibilizante.

1.7.4.- Porcentaje de Sensibilizante

La cantidad de sensibilizador influye directamente en la densidad final de la emulsión gasificable; es una regla que a mayor cantidad de sensibilizante se logra menor densidad en el producto final y viceversa.

Observe en el siguiente cuadro los parámetros del proceso para la sensibilización de la matriz gasificable con el camión fábrica.

Tabla 1.11. Variación Temperatura de SAN versus Porcentaje de N-20

Muestra	Rango de la Temperatura de la Matriz °C	Porcentaje de Sensibilizador
1	30°C - 45°C	1.00%
2	20°C - 30°C	1.25%
3	10°C - 20°C	1.50%
4	5°C - 10°C	1.75%
5	0°C - 5°C	2.00%

1.7.5.- Temperaturas de la Emulsión Matriz

Un ambiente a mayor temperatura es favorable para la reacción química exotérmica, y facilita la producción de burbujas de nitrógeno: por tanto, una emulsión caliente por encima de los 35°C acelera la reacción y generación de burbujas de nitrógeno y en consecuencia decae rápidamente el valor de la densidad.

La relación entre la temperatura de la emulsión matriz y la densidad final de la emulsión gasificable son inversamente proporcionales.

1.8.- Monitoreo de la Velocidad de Detonación (VOD)

La velocidad de detonación y la densidad de la mezcla gasificable son las principales propiedades de los explosivos, que se toman en cuenta para el diseño de la voladura.

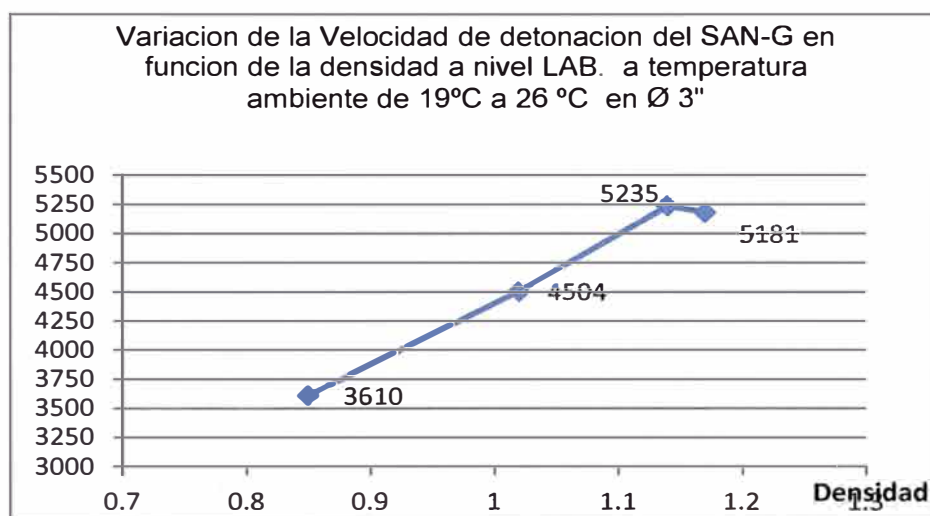


Tabla 1.12. Variación de VOD Diámetro del taladro y Densidad

Diametro de Taladro	VOD m/s	Densidad gr/cc
5 "	4,996	0.95
5 "	4,902	0.92
6 3/4 "	5,060	0.90
6 3/4 "	5,136	1.0
6 3/4 "	5,047	0.92
6 3/4 "	5,272	0.92
7 "	5,125	0.90
7 "	5,452	1.0
7 "	5,220	0.90
7 1/8 "	5,592	0.95

Figura 1.18. VOD vs Densidad
Fuente: Laboratorio Famesa

1.9.- Proceso de Sensibilización

Se refiere al proceso de gasificación de la emulsión matriz en el campo, antes de su carguío a los taladros.

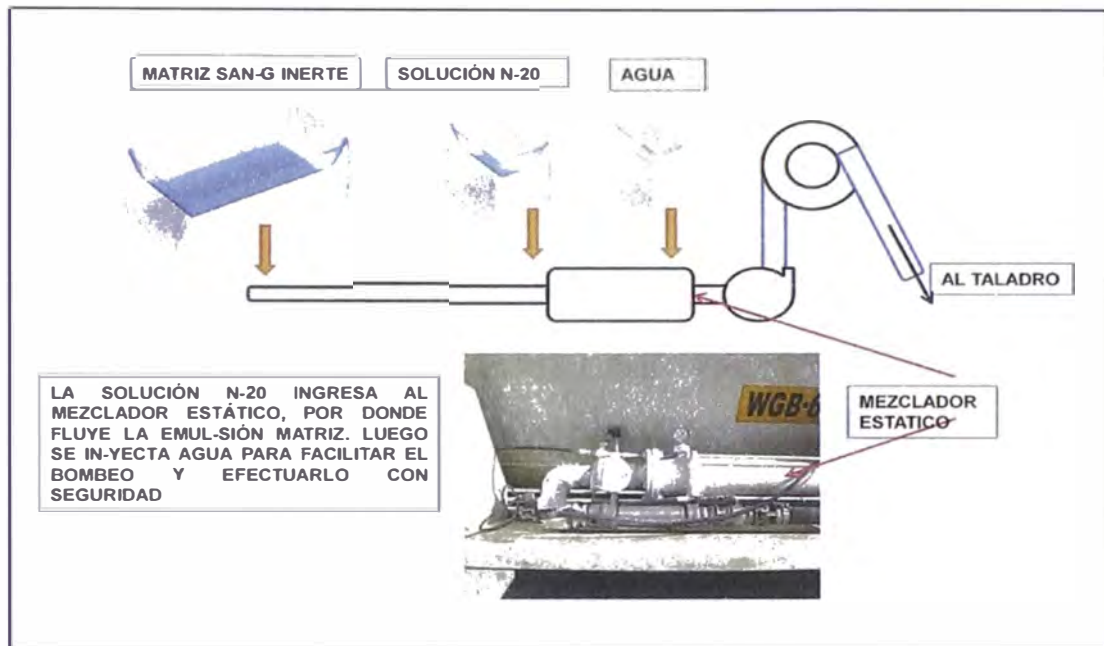


Figura 1.19. Proceso de Sensibilización

La emulsión matriz inerte es bombeada hacia el mezclador estático, al inicio de este mezclador se inyecta la solución N20 (sensibilizador), en el mezclador estático ambos componentes se mezclan homogéneamente, iniciándose una reacción química que gasifica la emulsión, luego es bornbeada al taladro.

Para evitar fricción de la solución gasificable cuando es bombeada al taladro por la manguera, se inyecta agua que en forma de anillo que transporta la mezcla.

CAPÍTULO II

TRABAJOS DE CAMPO

2.1.- Características de los Camiones-Fábrica

El tamaño de los camiones fabrica, está en función al tamaño del proyecto, características y condiciones del terreno.

2.1.1.- Southern Peru – UP Cuajone



Figura 2.1. Camión Fabrica Para Minería Superficial

2.1.2.- Sociedad Minera El Brocal

Para esta unidad minera, se han dispuesto los siguientes camiones fábrica, tal como se muestra en los siguientes gráficos:

Dimensiones 6.03 x 2.24 x 2.42m

Capacidad del tanque 1,300kg

Capacidad de bombeo 25kg/min

Equipo Electro-Hidráulico 440V



Figura 2.2. Camión Fábrica Para Minería Subterránea
Fuente: Dpto. Ingeniería Famesa



Figura 2.3. Camioneta Fábrica Para Minería Subterránea
Fuente: Dpto. Ingeniería Famesa

2.2.- Cía. Minera Southern Perú – UP Cuajone

2.2.1.- Características del Macizo Rocoso

Se cuantifica mediante el índice de calidad RMR (Rock Mass Rating), del mismo modo, es importante conocer los conceptos y valores de las resistencias dinámicas y elásticas de las rocas, así como las características estructurales del macizo rocoso.

Tabla 2.1. Caracterización del Macizo Rocoso de Mina Cuajone

Tipos de rocas existentes		Perforacion	Voladura	Resist. Compres	RMR	Densidad
				Mpa		gr/cc
Rocas con Yeso	Brecha con yeso anhidrita	Dura	Dura	179	93	2.7
	Brecha turmalina con yeso anhidrita	Dura	Dura	179	93	2.7
	Diorita con yeso anhidrita	Dura	Dura	179	93	2.7
Rocas Volcanicas	Porfido cuarcefiro Cuajone	Media	Media	122	91	2.6
	Alta andesita	Media	Media	122	91	2.6
Inrusivos	Diorita propilica	Media	Dura	153	90	2.7
	Dacita aglomerada	Media	Dura	179	92	2.6

2.2.2.- Diseños de Malla de Perforación

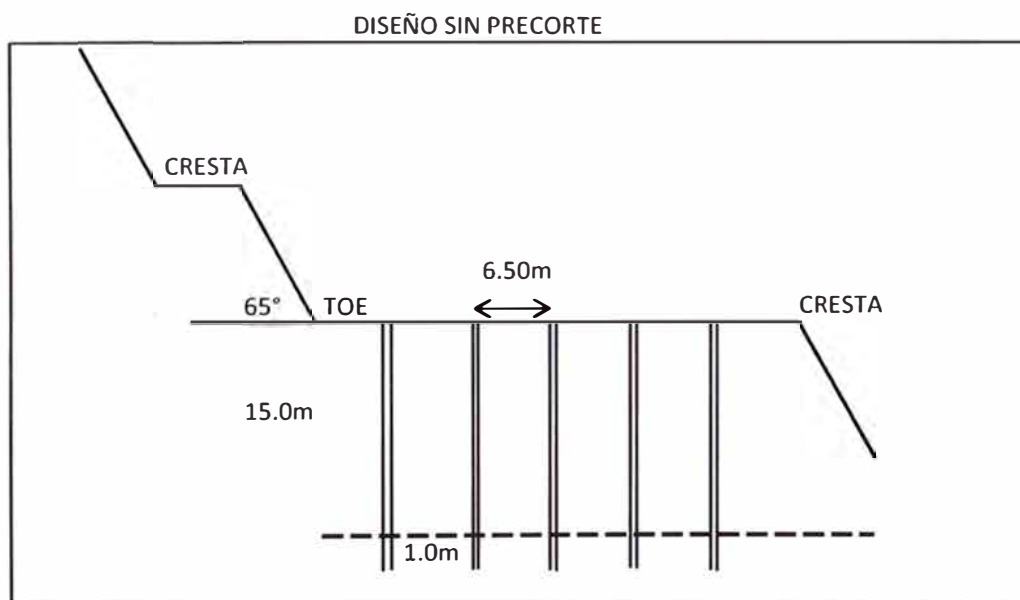


Figura 2.4. Diseño de Perforación MINA Cuajone

Tabla 2.2 Parámetros de Perforación Mina Cuajone

Altura de Banco	15.0 m
Ancho de Berma	8.3 m
Angulo Talud	65 °
Diametro de Perforacion	12 1/4 "
Burden	5.63 m
Espaciamiento	6.50 m

2.2.3.- Explosivos y Accesorios de Uso Estándar

El explosivo estándar en esta unidad minera ANFO PESADO, cuyos componentes son Nitrato de Amonio grado ANFO y Emulsión Matriz Inerte (SAN); la mezcla estándar es 50% de SAN y 50 de ANFO; los accesorios son Fanel Dual 25.0m 800/17ms.

Su consumo promedio mensual de esta mina es 1,600 de Nitrato de Amonio y 1,200 de SAN; para la realización de las pruebas de evaluación de la Solución Matriz Gasificable SAN-G se dispuso 522TM; las pruebas referidas se efectuó en el mes de Septiembre del 2012.

2.2.4.- Resultados de Voladuras

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas entre el 11 y 27 de setiembre de 2012 con 522 TM de EMULSIÓN GASIFICABLE SAN-G.

El objetivo primordial de estas pruebas estuvieron orientados a evaluar la factibilidad de usar la SAN-G en Cuajone, como una alternativa frente al

uso de los –anfos pesados-, examinando las ventajas técnico-económicas, ecocologicas que esta ofrece.

Para las pruebas se trasladó a la mina 2 camiones-fábrica “gasificables”, 2 “cisternas-madrina” y un equipo de 10 personas, experimentadas en el uso del nuevo producto, entre supervisores, técnicos y operadores, provisto de equipos de instrumentación, los que se utilizó para medir la calidad de las voladuras efectuadas.

Los resultados alcanzados en los 3 disparos realizados demuestran que el producto en prueba trabajó eficientemente y sin inconvenientes, produciendo mejores resultados que los HA, en términos de fragmentación y ofreciendo consecuentemente mejores condiciones de excavabilidad del material fragmentado por parte de los equipos de minado; así como generando ahorros por los menores factores de carga registrados.

Las mediciones de velocidad de detonación alcanzaron un promedio de 5,560.83 m/s para SAN-G y 5,251.10 para el HA y el ahorro en el factor de carga ha bordeado un 14%.

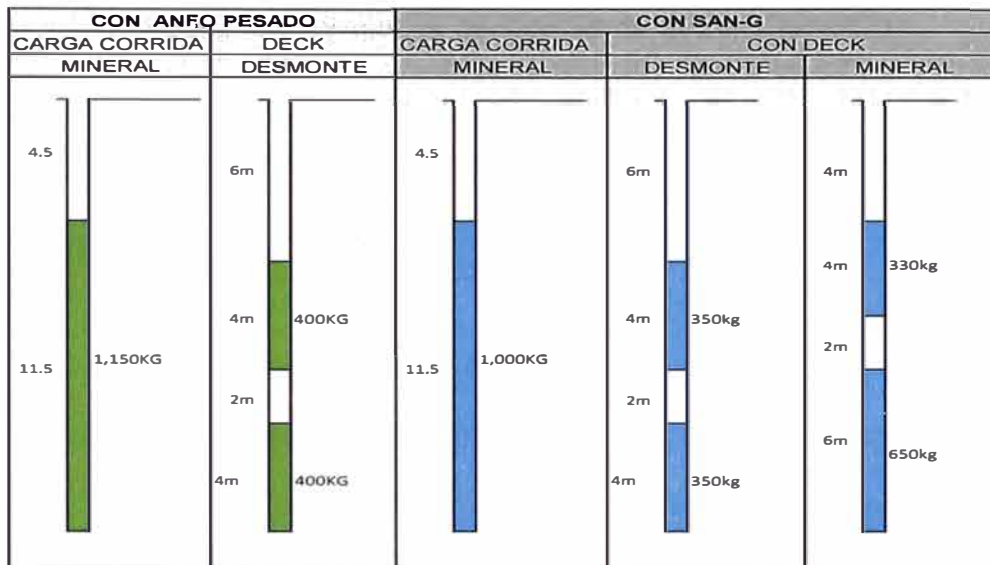


Figura 2.5. Diseño de Carga mina Cuajone H-ANFO y SAN-G
Fuente: Dpto. Mina Cuajone

2.2.5.- Fluctuación de La Densidad y Esponjamiento

La densidad de la SAN-G a los 30 minutos fluctúa en un rango de 0.01 a 0,04g/cc, y considerando que la gasificación viene a ser una reacción química, la variación de la densidad está supeditada a los siguientes parámetros.

- Temperatura de la emulsión matriz

Puede oscilar en el orden de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, debido a que su enfriamiento en el silo no es un proceso constante a través de todo su volumen, puesto que el producto que se encuentra más cerca a las paredes del silo presentará más frío.

Durante el carguío se encontró los siguientes parámetros:

Tabla 2.3. Información de Campo de SAN-G T- δ -N20

	Muestra	
	Nº 1	Nº 2
Temperatura	18.8	23.2
% N 20	1.56	1.55
Densidad a los 30min	1.001	0.96

- Porcentaje de N-20 en el PLC

El valor fluctúa en +/- 0.02%, variación que influye ligeramente en el valor de la densidad obtenida, así se tiene que para una similar temperatura de la emulsión durante el carguío, se logra encontrar los siguientes valores:

Tabla 2.4. Información de Campo de SAN-G T- δ -N20

Parametros	Muestras		
	Nº 1	Nº 2	Nº 3
Temperatura	28.5	28	28.7
% N 20	1.17	1.15	1.16
Densidad a los 30min	1.008	1.008	1.032

2.2.6.- Factor de Carga

Un aspecto que demuestra a priori el ahorro de explosivo al utilizar SAN-G frente a los Anfos Pesados, es el hecho que con un camión fábrica de 13TM de HA se carga 10 taladros, mientras que el mismo camión se carga 14 taladros con SAN-G.

Trabajando solo con los consumos de los explosivos, se deduce un 14% de ahorro promedio.

Tabla 2.5. Factores de Carga

PRODUCTO	MINERAL	DESMONTE
SAN-G	0.61 kg/TM Primer disparo	0.2 kg/TM
	0.65 kg/TM Segundo disparo	

2.2.7.- Velocidad de Detonación

Es la velocidad a la que el frente de onda de choque viaja a través de un explosivo y del macizo rocoso. Las velocidades de detonación son siempre mayores que la velocidad local del sonido en ese medio material.

La velocidad de detonación es proporcional a la energía cedida por la detonación del explosivo, por tanto a mayor velocidad, mayor será también la energía cedida por unidad de tiempo, que radica en la onda de choque y en la elevación de la temperatura y presión de los gases.

Valores obtenidos durante la etapa de evaluación de la SAN-G (Anexo 2).

Tabla 2.6. VOD y Cantidad de Explosivo Por Taladro

Fecha	Proyecto	Nivel	Nº talad	Explosivo	Kgs Explosivo	VOD m/s
15-Sep	607	3250	2676	SAN-G	839	5,527
17-Sep	601	3250	3009		720	5,508
27-Sep	502	3250	4479		850	5,648
27-Sep	502	3250	4478	HA	900	5,251

2.2.8.- Fragmentación y Granulometría

Interpretando las curvas granulométricas que el Software Wip Frag ha generado a través de las fotografías tomadas a lo largo del proceso de minado, se puede decir que:

- En % de gruesos mayores de 8" se logro:
 - o Para HANFO 6.80%
 - o Para SAN-G 2.35%

- En % de finos menores a 2" se logro:
 - o 35.50% para el HANFO, y
 - o 43.75% para la SAN-G

Tabla 2.7. Resultados de Fragmentación de H-ANFO y SAN-G

Fecha	15-Sep	15-Sep	27-Sep
Tipo Explosivo	HA	SAN-G	SAN-G
Proyecto	607	607	502
Nivel	3250	3250	3250
P10	1.04"	0.97"	0.98"
P25	1.56"	1.43"	1.41"
P50	2.82"	2.24"	2.18"
P75	4.74"	3.42"	3.56"
P90	6.91"	5.03"	4.83"
Tamaño Maximo	10.96"	10.96"	6.57"
Tamaño Minimo	0.183"	0.183"	0.183"
%Grueso>8"	6.80%	2.35%	< 8"
%Finos 2"	35.50%	43.75%	44.60%

- El P90 obtenido con ANFO PESADO es 6.91"

- El P90 como resultado de uso con SAN-G fue 5.03" 4.83"

El Histograma y fotografías, se aprecia en el Anexo 1 y 3 (Proyecto 607).

2.2.9.- Evaluación Económica

Una reducción del carga en el orden del 14% y los precios de los explosivos y combustible mostrados en el cuadro siguiente significan un ahorro de 162US\$/taladro o 0.1107US\$/TM.

Tabla 2.8. Precio de Insumos H-ANFO y SAN-G

PRECIOS DE LOS AGENTES UTILIZADOS	
NA	697.00 US\$/TM
SAN (Emulsión Matriz)	600.00 US\$/TM
SAN-G (Emulsión Gasificable)	650.00 US\$/TM
COMBUSTIBLE	1173.00US\$/TM

Tabla 2.9. Producción y Consumos de Explosivos de Cuajone

CONSUMOS MENSUAL DE EXPLOSIVOS Y MINERAL FRAGMENTADO				
Nº de taladros Disparados al mes	Metros Perforados	Nitrato Amonio TM	SAN TM	Toneladas Rotas
5,367	82,824	1,920	1,606	11,388,792

Tabla 2.10. Parámetros de Perforación Medidos en campo

DISEÑO DE PERFORACION		Malla	
		ESTANDAR	PROPUESTA
Espaciamiento	m	6.50	6.50
Burden	m	5.63	5.63
Altura de Banco	m	15	15
Sobre Perforacion	m	1	1
Costo x Metro Perfodo	US\$	14	14
Taladros perforados al mes	Unid	5367	5367
Nº de taladros que se dejan de perforar/mes	Unid		0

En la figura 2.7 se puede apreciar una simulación teórica y hasta dónde puede llegar el ahorro anual por el cambio de explosivo, tomando en cuenta los datos de las Tablas 2.6, 2.8 y 2.9.

Dicho gráfico indica que para un porcentaje de reemplazo del 10% del total del consumo de explosivo ANFO PESADO, la mina podría acceder a un ahorro de alrededor de medio millón de dólares al año y si se produjera el caso del 100% de reemplazo del explosivo, se podría obtener un ahorro del orden de US \$.4'700.00.

Simulación de Ahorros a Lograr, Por Reemplazo de Emulsión Granel
(Gradualmente)

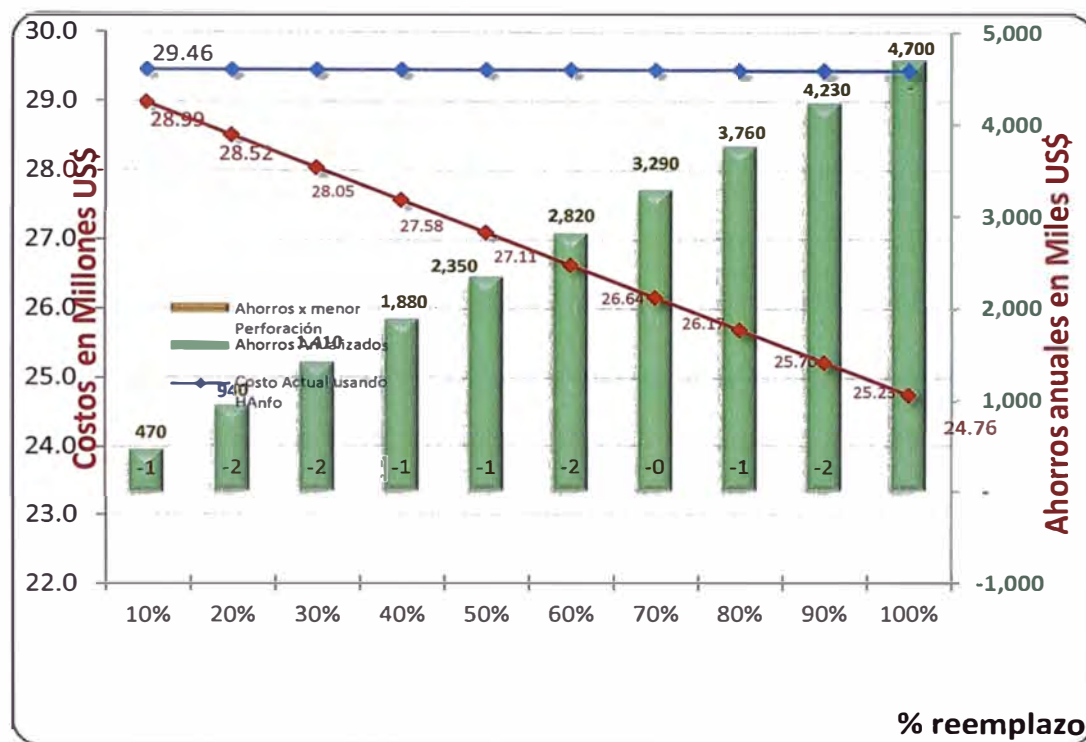


Figura 2.6 Evaluación Económica en Cuajone

2.3.- Sociedad Minera El Brocal

2.3.1.- Características del Macizo Rocosó

La mina Marcapunta Norte, es una operación subterránea que explota minerales de cobre consistente principalmente de enargita y en cantidades menores de calcocita, calcopirita, tennantita, luzonita, colusita y bismutinita; y la ganga incluye principalmente pirita, cuarzo, alunita, caolinita y arcillas. La mineralización está alojada en rocas carbonatadas alternando con horizontes arcillosos y la geometría del yacimiento se presenta paralela a la estratificación. El nivel de producción diaria es de 6,000 toneladas.

Tabla 2.11. Inventario de Reservas de SM El Brocal

INVENTARIO DE RESERVAS					
	Mineral TMS	Cu(%)	Au(gr/TM)	Ag(Oz/TM)	As(%)
Reservas	8,047,247	2.40	0.43	0.49	0.78

2.3.2.- Diseño malla perforación en Galerías y Rampas

En esta oportunidad no se utilizará ningún modelo matemático, para determinar los parámetros de voladura (Burden, Espaciamiento, Altura taladro), se utilizará los estándares de la mina.

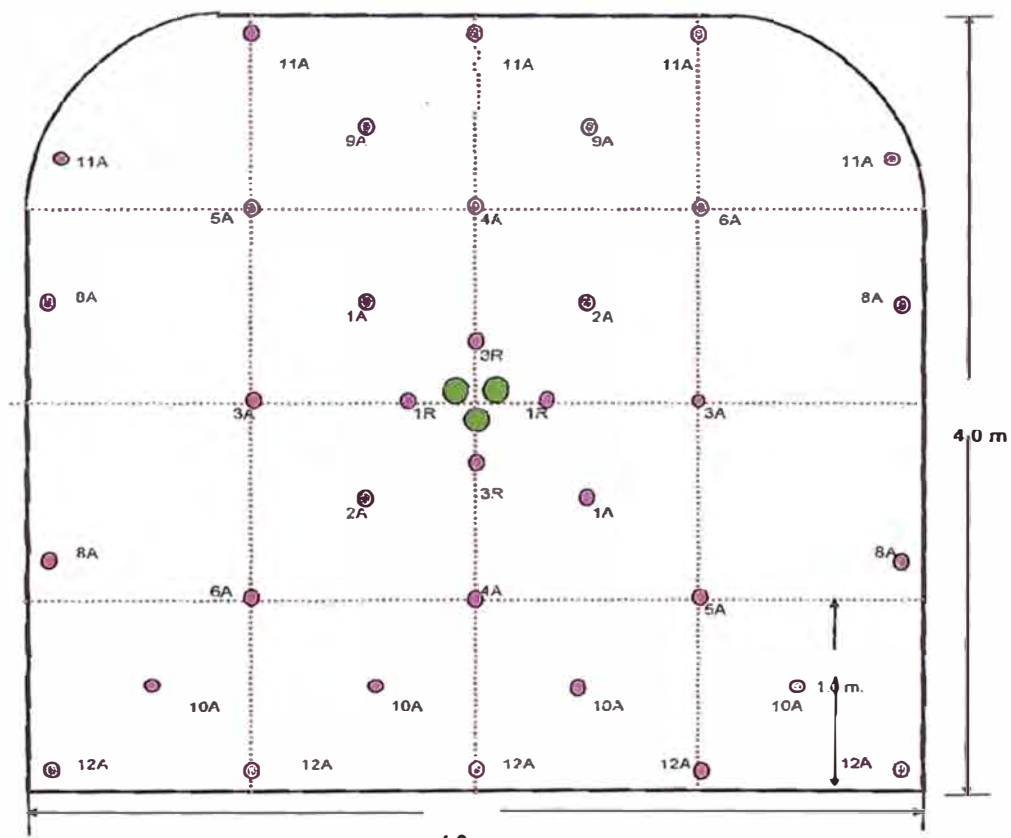


Figura 2.7. Malla de Perforación en SM El Brocal
Fuente: JRC 2012

2.3.3.- Explosivos y Accesorios de Uso Estándar

En la actualidad, esta unidad minera (subterránea), están utilizando productos (explosivos y accesorios) fabricados por Famesa.

En la siguiente tabla, se detalla los tipos y las cantidades de explosivos y accesorios.

Tabla 2.12. Producción y Consumos de Explosivos de SM El Brocal

MARCA PUNTA NORTE

Programa de explotación y desarrollo

Item	Unid	Junio	Julio	Agost	Septiemb	Octub	Noviemb
Mineral roto	TMH	244,546	146,363	104,162	107,432	108,081	0
Factor de Potencia	Kg/TM	0.41	0.41	0.38	0.44	0.46	

Avances	m	1,243.40	1,270.30	1,124.25	1,088.80	1,150.18	0
Factor de Potencia	Kg/TM	0.68	0.69	0.67	0.69	0.68	

Consumos de explosivos

ANFO	Kg	66,080	34,510	21,180	28,350	24,690	0
Emulex 65 1.1/2x12"	Cajas	912	653	453	595	656	0
Emulex 80 1.1/2x12"	Cajas	1,185	1,005	1,149	1,220	703	0
Emulex 80 1.1/4x12"	Cajas	559	540	589	708	480	0
Emulex 45 1x 7"	Cajas	0	14	12	16	13	0
TOTAL ENCARTUCHA	Cajas	2,656.89	2,212.70	2,202.54	2,537.85	1,851.12	0

Consumos de accesorios

Boster HDP-3	Unid	6,416	4,377	3,105	3,454	3,353	0
Exel	Unid	6,193	3,531	2,778	2,950	2,802	0
Exanel	Unid	22,289	19,829	20,882	23,439	16,142	0
Cordon Detonante	m	28,936	18,894	18,419	20,097	15,856	0

2.3.4.- Resultados de Voladuras

Tabla 2.13. Diseño de Carga con Emulsión Encartuchada en SM El Brocal

JRC INGENIERIA Y CONSTRUCCION									
DISEÑO DE CARGUIO PARA RAMPA RMR 60 - 60									
SECCION 4.00 X 4.00 BAUL									
TALADROS	N° TALAD	DISPOSICION RETARDOS FANEL® 3.60 m	EMULEX®						ROCA TIPO II
			1.1/2 x 12		1.7/4 x 12		1 x 7		TOTAL Explosivo (kgs)
			Cartuch x tal	Kgs	Cartuch x tal	Kgs	Cartuch x tal	Kgs	
ALIVIO	3								
Arranque	4	1R-3R	12	18.750					18.750
1ra Ayuda Arranque	4	1A-2A	12	18.750					18.750
2da Ayuda Arranque	8	3A-4A-5A-6A	11	34.375					34.375
Ayuda Cuadrador			10						
Cuadrador	4	8A	9	14.063					14.063
Ayuda Corona	2	9A	9	7.031					7.031
Corona	5	11A			3	4.076	20	9.615	13.691
AyudaArrastre	4	10A			9	9.783			9.783
Arrastre	5	12A			11	14.946			14.946
TOTALES	39		261	101.95	81	22.01	100	9.62	133.58

RESULTADOS	
Long Perforación	3.60 m
Perfomace	85%
Longitud de Avance	3.06 m

Area excv	16.00 m ²
Volumen	48.96 m ³
Fact.Carg	2.73 kg/m ³

Tabla 2.14. Diseño de Carga con Emulsión a Granel en SM El Brocal

JRC INGENIERIA Y CONSTRUCCION									
DISEÑO DE CARGUIO PARA RAMPA RMR 50 - 60									
SECCION 4.00 BAUL									
TALADROS	N° TALAD	RETARD FANEL® 3.60 m.	EMULNOR®				EMULFRAG®		ROCA TIPO II
			1.1/2 x 12		7" x 12		Kilog/Tal	Sub Total	TOTAL Explosivo (kgs)
			Cart x taladro	Kgs	Cart x taladro	Kgs			
ALIVIO	3								
Arranque	4	1R-3R	1	1.563		0	4.5	18.00	19.563
1ra Ayuda Arranque	4	1A-2A	1	1.563		0	4.0	16.00	17.563
2da Ayuda Arranque	8	3A-4A-5A-6A	1	3.125		0	4.0	32.00	35.125
Ayuda Cuadrador			1	0.000		0	3.5	0	0.000
Cuadrador	4	8A	1	1.563		0	3.0	12.00	13.563
Ayuda Corona	2	9A	1	0.781		0	3.5	7.00	7.781
Corona	5	11A	2	3.906	10	8.681		0	12.587
AyudaArrastre	4	10A		0		0		0	0.000
Arrastre	5	12A	1	1.953		0	4.0	20.00	21.953
TOTALES	39		37	14.45		8.68		105.00	128.13

RESULTADOS	
Long Perforación	3.60 m
Perfomace	95%
Longitud de Avance	3.42 m
Area excavada	16.00 m ²
Volumen excavado	54.72 m ³
Fact.Carga	2.34 kg/m ³

2.3.5.- Fragmentación y Granulometría

No se ha efectuado análisis granulométrico, dado que esta actividad no fue objetivo de la propuesta.

2.3.6.- Evaluación Económica

En esta etapa de evaluación (pruebas), a solicitud del cliente, no se ha modificado ninguna de los parámetros de perforación estándar; solo se ha reemplazado la emulsión a granel por los cartuchos de emulsión. Para una siguiente etapa se está considerando ampliar la malla de perforación.

La siguiente tabla detalla los resultados comparativos de las voladuras de la emulsión encartuchada versus la emulsión a granel (Emulfrag).

Tabla 2.15. Datos de Campo Comparativas

VOLADURAS CON		VOLADURAS CON	
EMULSION ENCARTUCHADA		EMULSION A GRANEL BOMBEABLE	
LABOR	Rpa. 240	LABOR	Rpa. 240
RANGO RMR	50 - 60	RANGO RMR	50 - 60
ALTO (m)	4.0	ALTO (m)	4.0
ANCHO (m)	4.0	ANCHO (m)	4.0
LONG. TALADRO (m)	3.60	LONG. TALADRO (m)	3.60
Ø TALADRO (mm)	51	Ø TALADRO (mm)	51
TALADROS PERFORADOS	36	TALADROS PERFORADOS	36
ALIVIO	3	ALIVIO	3
METROS PERFORADOS	140.4	METROS PERFORADOS	140.4
TALADROS CARGADOS	36	TALADROS CARGADOS	36
PERDIDA EXPLOSIVO		PERDIDA EXPLOSIVO	
EMULEX 80 1.1/2" x 12"	101.95	EMULNOR 5000 1.1/2" x 12"	15.00
EMULEX 65 1.1/4" x 12"	22.01	EMULNOR 3000 1" x 12"	14.45
EMULEX 65 1" x 7"	9.62	EMULFRAG	8.68
TOTAL KG EXPLOSIVO	133.58	TOTAL KG EXPLOSIVO	143.13
RESULTADOS		RESULTADOS	
AVANCE (m)	3.60	AVANCE (m)	3.60
EFICIENCIA VOLADURA %	85%	EFICIENCIA VOLADURA %	95%
AVANCE NETO (m)	3.06	AVANCE NETO (m)	3.42
FACTOR DE CARGA KG/M3	2.73	FACTOR DE CARGA KG/M3	2.34
FACTOR DE AVANCE KG/M	43.65	FACTOR DE AVANCE KG/M	41.9

Se puede notar que con el uso de la emulsión a granel, se mejora el factor de carga (kg/m³) en 14%; también se puede apreciar ciertas pérdidas de emulsión a granel durante el carguío a los taladros, la misma que está en el orden del 10% del total del explosivo por disparo; esto debido a la variación del voltaje en la línea principal de la mina que provoca descalibración del sistema PLC del equipo de bombeo.

De acuerdo a la tabla 2.14, se elaboró el siguiente cuadro de evaluación económica:

Tabla 2.16. Cuadro Económico Comparativo

Seccion 4.0m x 4.0m						
ACTIVIDADES	VOLADURAS			VOLADURAS		
	CON ENCARTUCHADOS			CON EMULSION A GRANEL		
PERFORACION	M Perf	\$/MT	Sub Total	M Perf	\$/MT	Sub Total
m	140.40	1.21	169.9	140.40	1.21	169.9
SUB TOTAL			169.9			169.9
ACCESORIOS DE VOLADURA	Cantidad	P.U\$	Sub Total	Cantidad	P.U\$	Sub Total
FANEL 4MT Pza	36	1.19	42.8	36	1.19	42.8
CARMEX 2,10M Pza	2	0.51	1.0	2	0.51	1.0
CORDON DETONANTE 3P m	25	0.17	4.3	25	0.17	4.3
SUB TOTAL			48.1			48.1
EXPLOSIVO	Cantidad	P.U\$	Sub Total	Cantidad	P.U\$	Sub Total
EMULEX 80 1.1/2" x 12" KG	101.95	2.33	237.5			0.0
EMULEX 65 1.1/4" x 12" KG	22.01	2.14	47.1			0.0
EMULEX 65 1" x 7" KG	9.62	2.19	21.1			0.0
EMULNOR 5000 1.1/2" x 12" KG			0.0	14.45	2.13	30.8
EMULNOR 3000 1" x 12" KG			0.0	8.68	2.35	20.4
EMULFRAG KG			0.0	120.00	1.20	144.0
SUB TOTAL KG	133.58		305.7	143.13		195.2
COSTO MANO DE OBRA	Horas Utili	P.U\$	Sub Total	Cantidad	P.U\$	Sub Total
MAESTRO	2	4.80	9.60			
AYUDANTE	2	4.50	9.00			
IMPLEMEN+HERRAMIEN.(2 HOMBRES)	2	0.21	0.42			
CAMIONCITO ABASTEC. EXPLOSIV.	2.5	6.00	15.00			
SUB TOTAL			34.0			0.0
COSTO TOTAL US \$			\$557.7			\$413.2
RESULTADOS						
AVANCE PROMEDIO m			3.06			3.42
COSTO UNITARIO US \$/m			182.26			120.81
AHORRO A FAVOR DE LA EMULSION A GRANEL					\$61.45	x m

En este cuadro se aprecia un ahorro a favor del uso de emulsión a granel en el orden de 61.45US\$/m.

En el siguiente cuadro, se aprecia el beneficio económico (ahorro) para la mina El Brocal, la misma que estará en función a la cantidad de disparos que se realiza durante un turno.

Según nuestra experiencia, concluimos que el mínimo de disparos que se debe realizar en un día para que este nuevo producto emulsión a granel sea rentable para la empresa minera, no debe ser menor a cinco disparos por día.

Tabla 2.17. Balance Económico en SM El Brocal

Disp. /Dia	Avance Mensual m	Ahorro Por Disparo US\$	Ahorro por Mes US\$	Costo Por Servicio US\$	Costo Operacional US\$	AHORRO MENSUAL US\$
3	308	210.17	18915.40	15947.00	2161.20	807.20
4	410	210.17	25220.53	15947.00	2161.20	7,112.33
5	513	210.17	31525.67	15947.00	2161.20	13,417.47
6	616	210.17	37830.80	15947.00	2161.20	19,722.60
7	718	210.17	44135.93	15947.00	2161.20	26,027.73
8	821	210.17	50441.07	15947.00	2161.20	32,332.87
9	923	210.17	56746.20	15947.00	2161.20	38638.00

AVANCE POR DISPARO

3.42 m/disp

PRECIO EMULSION

1.20 US\$/Kg

COSTO SERVICIO

\$15,947.00

CAPÍTULO III

ASPECTOS IMPORTANTES DE EMULSIÓN GASIFICABLE

Los aspectos importantes a la hora de realizar un cambio de explosivos, son los resultados de la fragmentación y el costo unitario resultante; no obstante, es importante también los aspectos ambientales y de seguridad.

Seguidamente se mencionan algunas ventajas por el uso de la emulsión gasificable SAN-G / EMULFRAG, referente a la seguridad y cuidado del ambiente

- Al tener un excelente balance de oxígeno en su composición, no genera gases Nitrosos ni otros gases tóxicos que contamina el ambiente minero
- Se elimina grandes depósitos para almacenamiento de NA
- Se elimina las bolsas de embalaje de Nitrato de Amonio
- Se elimina el uso de combustible

CAPÍTULO IV

IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS VOLADURAS CON EL USO DE EMULSIÓN GASIFICABLE

- Al tener un buen balance de Oxígeno en su composición, no genera gases Nitrosos ni otros tóxicos que contamina el ambiente
- Se elimina las bolsas de embalaje del Nitrato de Amonio

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

El conjunto de disparos en labores confinadas como son las labores de la minería subterránea y de tajo abierto, se puede concluir con lo siguiente:

Fragmentación, utilizando la emulsión gasificable, se obtiene una mejor fragmentación respecto a la obtenida con el explosivo estándar Anfo Pesado.

- El porcentaje de los gruesos mayores de 8" con el explosivo estándar (Anfo Pesado) está en promedio de 6.80%
- Mientras con el uso de la SAN-G la cantidad de gruesos está entre el rango de 0% a 2.35%.
- Respecto al porcentaje de finos menores a 2", encontramos 35.50% con uso de Anfo Pesado; y 44.60% en promedio se logra con el uso de SAN-G.
- En relación con la pérdida de explosivo por su filtración a través de las fisuras dentro de los taladros, se ha medido que con la SAN-G se pierde un 14% y con el uso de Anfo Pesado se pierde alrededor de 5%.
- Se registra un ahorro de 0.1041 US\$/TM para mineral, y 0.0228US\$/TM para desmonte.

- En minería subterránea, se puede obtener un ahorro anual de 13,400US\$ x 12 meses en 160,800US\$, solo por reemplazo de explosivo.
- En una segunda etapa, consistiría en optimizar el diseño de perforación (ahorro de taladros), esto permitirá ahorros adicionales de explosivo, accesorios, barras de perforación, horas maquina de perforación; para lo cual se debe usar modelos matemáticos para diseñar las mallas de perforación y voladura.
- Otra gran ventaja es respecto a la seguridad y el cuidado del ambiente; algunos técnicos consideran que la emulsión gasificable debe ser en un corto tiempo, el explosivo estándar en minería superficial.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta que se aproxima una etapa difícil para la minería en general por la caída de los precios unitarios de los metales, se considera que esta es la gran oportunidad para todas y cada una de las empresas mineras para tratar de optimizar producción y productividad, y por lo tanto minimizar costos operacionales y por ende maximizar la rentabilidad de dichas empresas.

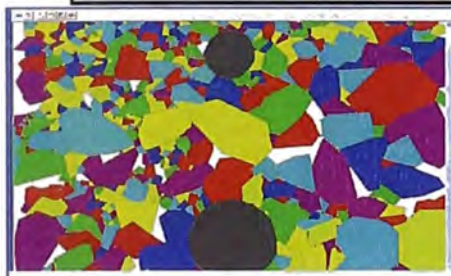
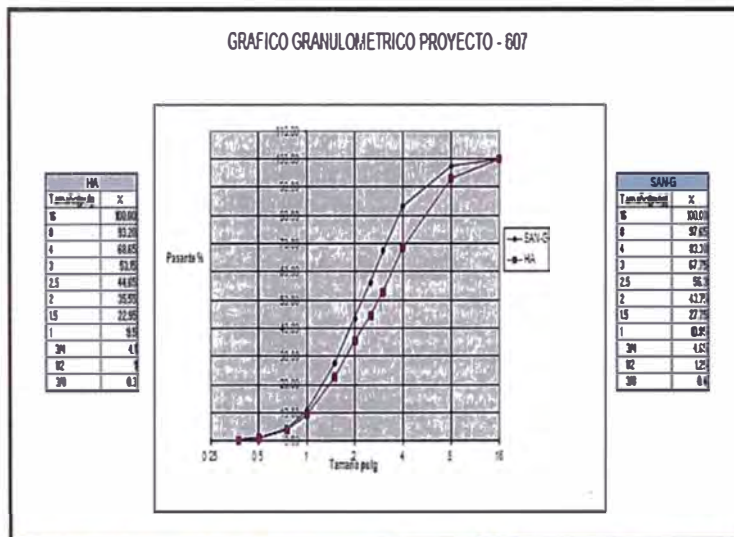
Bibliografía

1. Person, A. Holmberg, R& Lee, J 2004. Rock Blasting And Explosives Engineering. CRG Press. USA.
2. Evans, W y Taylor, D 1987. Blended ANFO-based explosives. CIM Bulletin USA.
3. Sudweeks, W 1985. Propiedades Físicas y Químicas de los Explosivos. I&EC. USA.
4. Tyler D. And Taylor M. 2008 Emulsion Explosiva. Publicación Internacional de Patentes WO 2008/026 A2 Sudáfrica.
5. Paul Urruchi 2009, Implementación y Desarrollo de la emulsion gasificada para reducir costos en mina Comarsa. Convención XXVI.
6. Gonzales L. 2002, Ingeniería Geológica. Madrid.
7. Cardenas .L. 2009, Procesos de Trabajo para la emulsión gasificada. Famesa.
8. Beitia F. Quintan J. y Lanza R. 1999, Proceso y mecanismo para la sensibilización in-situ de explosivos acuosos. Publicación.
9. Accinelli J. 2009, cahuata M. 2012, Uso de emulsión gasificada en minería subterránea.
10. Hustruid W. y Kuchta M. 1999, Blasting Principles for Open Pit Mining, Balkema. Rotterdam.
11. Bauer A., Explosives Technology Queens University, Canadá 1987.
12. Cook M.A., The Science of High Explosives, N.Y. 1978.

ANEXOS

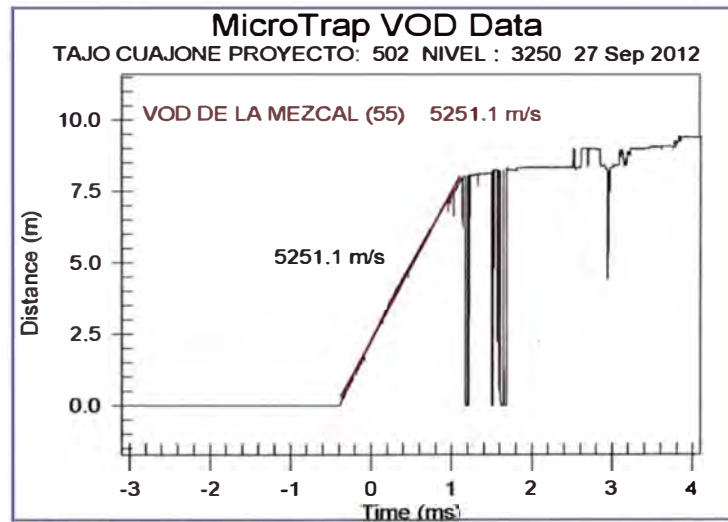
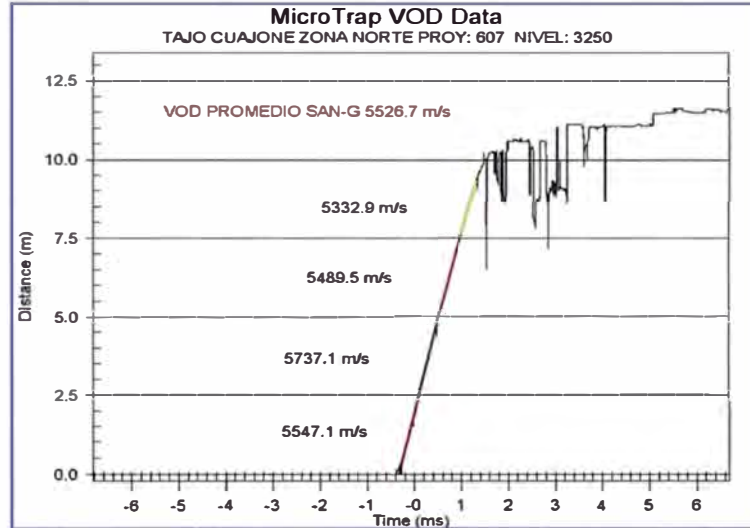
ANEXO N° 1

FRAGMENTACION



ANEXO N° 2

REGISTROS DE VELOCIDAD DE DETONACION



ANEXO Nº 3

FOTOGRAFIAS DE LAS VOLADURAS

Fotografías comparativas de los resultados de las voladuras

(1er Disparo) Proyecto 607 Nivel 3250



2do Disparo 27 Septiembre 2012

Proyecto 502 Nivel 3250



3er Disparo 27 Septiembre 2012

Proyecto 502 Nivel 3250

