



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: **MACEDO FLORES ROMELD MAX**

Código de alumno: 081.0802.476

Teléfono: 982692601

Correo electrónico: **romeldmax.64@gmail.com**

DNI o Extranjería: 45739360

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

“EMPLEO DE EMULSIÓN GASIFICADA SAN-G APU PARA MEJORAR LA FRAGMENTACIÓN EN LA FASE 8 DE LA MINA ANTAMINA AÑO 2018”

5. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia

6. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería de Minas

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: M.Sc. Ing. **Bojorquez Huerta Gustavo Roberto** Teléfono: 964090138

Correo electrónico: **gbojorquezh@yahoo.es**

D.N.I: 32645242

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I

45739360

Fecha: 18 / 02 / 20



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**



FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

**EMPLEO DE EMULSIÓN GASIFICADA SAN-G APU PARA
MEJORAR LA FRAGMENTACIÓN EN LA FASE 8 DE
LA MINA ANTAMINA AÑO 2018**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

Presentado por:

Bach. MACEDO FLORES, Romeld Max

Asesor:

MSc. Ing. BOJORGUEZ HUERTA, Gustavo Roberto

HUARAZ - PERÚ

2020

DEDICATORIA

*A mis padres y hermanos por
bríndarme su apoyo incondicional
para lograr mis metas.*

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mis padres y hermanos. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres y hermanos mi hermosa familia, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora.

También los agradecimientos a todos los señores docentes de la Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo en forma especial a los de la Facultad de Ingeniería de Minas por compartir sus conocimientos y experiencias con mi persona para ser un profesional minero.

RESUMEN

Este trabajo de investigación titulado **“Empleo de emulsión gasificada SAN-G APU para mejorar la fragmentación en la fase 8 de la mina Antamina año 2018”**, tiene como objetivo principal el de realizar la voladura de rocas y minerales empleando emulsión gasificada SAN-G APU, para optimizar la fragmentación en la compañía minera Antamina S.A., año 2018. Se justifica porque la voladura usando emulsión gasificada SAN-G APU para mejorar la fragmentación en la fase 8 de en la mina Antamina año 2018, que por sus características técnicas y propiedades hacen un explosivo de mayor calidad y rendimiento en términos de velocidad de detonación, mejora la fragmentación y que, al mismo tiempo, maximiza la productividad en el proceso con un menor costo de operación en US\$/Tm – Fragmentada. Asimismo, es un producto eco-amigable ya que al poseer un mejor balance de oxígeno la presencia de gases nitrosos post-voladura es nula, teniendo así un cuidado del medio ambiente en las zonas de influencia de la operación minera. Al remplazar la utilización de ANFO pesado 73 gasificado por la emulsión SAN-G APU, se elimina la utilización del ANFO y por consecuencia el costo de fabricación del mismo. Se concluyó que se observa una leve mejoría en términos de emisión de gases nitrosos post voladura en zonas de desmonte y mineral y se obtuvo un incremento del 3.4% en el VOD, por lo cual se mejora la presión de detonación de la mezcla y se espera obtener mejora en la fragmentación.

Palabras claves

Empleo de emulsión gasificada SAN-G APU, mejorar la fragmentación, fase 8, mina Antamina, año 2018

ABSTRACT

This research work entitled "Use of gassed emulsion SAN-G APU to improve fragmentation in phase 8 of the Antamina mine year 2018", has as its main objective to perform the blasting of rocks and minerals with explosive mixtures using SAN gassed emulsion -G APU, to optimize the fragmentation in the mining company Antamina SA, year 2018. It is justified because the blasting with mixtures using gas emulsion use SAN-G APU to improve the fragmentation in phase 8 of the Antamina mine 2018, that due to its technical characteristics and properties make an explosive mixture of higher quality and performance in terms of detonation speed, improves fragmentation and, at the same time, maximizes productivity in the process with a lower operating cost in US \$ / Tm - Fragmented. It is also an eco-friendly product since having a better oxygen balance the presence of nitrous gases post-blasting is minimal or nonexistent, thus taking care of the environment in the areas of influence of the mining operation. By replacing the use of heavy ANFO 73 gasified by the APU emulsion, the use of the ANFO is eliminated and, consequently, the manufacturing cost thereof. It was concluded that there was a slight improvement in terms of nitrous gas emissions after blasting in the waste and mineral zones and an increase of 3.4% in the VOD was obtained, which improves the detonation pressure of the mixture and is expected get improvement in fragmentation.

Keywords

Use of gasified emulsion SAN-G APU, improve fragmentation, phase 8, Antamina mine, year 2018.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN.....	xii

CAPITULO I

GENERALIDADES	14
1.1. Ubicación y acceso.	14
1.2. Topografía.	16
1.3. Recursos naturales.	16
1.4. Clima.	16
1.5. Entorno Geológico.....	17
1.5.1. Fisiografía.....	17
1.5.2. Geología regional.	18
1.5.3. Geología local.....	18
1.5.4. Geología estructural.....	20
1.5.5. Geología económica.	22

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN.....	40
2.1. Marco Teórico.	40
2.1.1. Antecedentes de la investigación.....	40
2.2. Fundamentación teórica.....	44
2.2.1. Voladura de rocas.	44
2.2.2. Características y propiedades de desempeño de los explosivos.	47

2.2.3. La SAN-G APU.....	57
2.2.4. Sensibilización y gasificación de la SAN-G APU	59
2.2.5. Solución gasificante.....	60
2.2.6. Factores que afectan la gasificación.....	61
2.2.7. Fabricación de la emulsión SAN-G APU gasificada en campo	61
2.2.8. Anfo pesado gasificable	62
2.3. VARIABLES EN EL PROCESO DE TRITURACION DE LA ROCA	63
2.3.1. Variables no controlables	63
2.3.2. Variables controlables	64

CAPITULO III

METODOLOGÍA.....	65
3.1. El Problema.	65
3.1.1. Descripción de la realidad.	66
3.1.2. Identificación y selección del problema.	66
3.1.3. Formulación del Problema.	66
3.1.3.1. Formulación del problema General:	66
3.1.4. Objetivos de la investigación.....	67
3.1.4.1. Objetivo General.....	67
3.1.4.2. Objetivos Específicos.	67
3.1.5. Justificación e importancia.	67
3.1.6. Alcances.	68
3.1.7. Limitaciones.	68
3.2. Hipótesis.	68
3.2.1. Hipótesis General.	68
3.2.2. Hipótesis Específicas.....	68
3.3. Variables.....	68
3.3.1. Operacionalización de variables.....	69

3.4. Diseño de la investigación.....	69
3.4.1. Tipo de investigación.	69
3.4.2. Nivel de la investigación.	69
3.4.3. Método.....	70
3.4.4. Población y muestra.	70
3.5.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	70

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	74
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos.....	74
4.1.1. La emulsión gasificada "SAN-G APU".....	75
4.1.2. Pruebas de voladura en Antamina con mezclas explosivas gasificadas usando Emulsión SAN-G APU.....	78
4.1.3. Aporte del tesista.....	91
 CONCLUSIONES.....	 92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	94
 ANEXOS.....	 96
ANEXO N° 01: Matriz de consistencias	97
ANEXO N° 02: Índice de símbolos y abreviaturas.....	98
ANEXO N° 03: Flota de perforación	100
ANEXO N° 04: MSDS y hoja técnica	101
ANEXO N° 05: Panel fotográfico	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Densidades de diferentes tipos de explosivo	51
Tabla N° 2: Principales propiedades de mezclas explosivas	54
Tabla N° 3: Tamaño de partícula de los explosivos.	55
Tabla N° 4: Características técnicas.	59
Tabla N° 5: Operacionalización de variables	69
Tabla N° 6: Resultados actuales usando APU	76
Tabla N° 7: Parámetros de perforación y voladura para la fase 8.....	77
Tabla N° 8: Curva de gasificación del ANFO pesado 73 gasificado.....	77
Tabla N° 9: Densidad copa planeada.....	78
Tabla N° 10: Evaluación de la fragmentación HAVEY ANFO 73 GASIFICADO (MINERAL M4B).....	83
Tabla N° 11: Evaluación de la fragmentación EMULSION GASIFICADA SAN-G APU (MINERAL M4B)	83
Tabla N° 12: Evaluación de la fragmentación 1	85
Tabla N° 13: Evaluación de la fragmentación 2.....	87
Tabla N° 14: Medición de VOD (SANG STD)	88
Tabla N° 15: Medición de VOD (SANG APU)	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de la mina Antamina.....	15
Figura N° 2: Mapa estructural.....	21
Figura N° 3: Alteración esquemática del yacimiento y zoneamiento metálico.....	24
Figura N° 4: Ciclo de minado (Mine to Mill).....	25
Figura N° 5: Proceso de perforación.....	26
Figura N° 6: flota de perforación.....	26
Figura N° 7: Diseño de perforación.....	27
Figura N° 8: perforadoras de diámetro de 12 ¼”.....	27
Figura N° 9: perforadoras de diámetro de 9 7/8”.....	28
Figura N° 10: perforadora de diámetro 5”.....	28
Figura N° 11: Proceso de voladura.....	30
Figura N° 12: Diseño de carga.....	30
Figura N° 13: Proceso de Carguío.....	31
Figura N° 14: accesorios de voladura.....	32
Figura N° 15: Cargador tapa pozo.....	33
Figura N° 16: Pala Eléctrica P&H XPC 4100.....	34
Figura N° 17: Pala hidráulica Hitachi.....	35
Figura N° 18: Camión komatsu 930E.....	36
Figura N° 19: Planta concentradora y chancadora primaria.....	37
Figura N° 20: recorrido del mineroducto mina a puerto punta lobitos.....	39
Figura N° 21: Variación de la potencia de un ANFO pesado según el porcentaje de emulsión.....	48
Figura N° 22: Influencia del diámetro sobre el VOD.....	50
Figura N° 23: Categoría de gases nocivos post voladura.....	51
Figura N° 24: Estructura del ANFO pesado.....	53

Figura N° 25: Características de diferentes mezclas de ANFO Pesado.	54
Figura N° 26: Diseño de carga con ANFO Pesado y emulsión gasificable.	56
Figura N° 27: Presentación en tote bin y cilindro de la solución gasificante	61
Figura N° 28: Curva de gasificación del ANFO pesado 73 gasificado	77
Figura N° 29: Curva de gasificación del SANG APU gasificado.....	78
Figura N° 30: Distribución de taladros – malla de perforación.....	79
Figura N° 31: Esquema de distribución del explosivo.	80
Figura N° 32: Secuencia de la voladura de rocas.....	80
Figura N° 33: Distribución de taladros – malla de perforación.....	81
Figura N° 34: Esquema de distribución del explosivo.	81
Figura N° 35: Secuencia de la voladura de rocas.....	82
Figura N° 36: Granulometría en el banco.	84
Figura N° 37: Tipos de granulometría.	84
Figura N° 38: Distribución de acuerdo al tamaño.....	85
Figura N° 39: Granulometría en el banco.	86
Figura N° 40: Tipos de granulometría.	86
Figura N° 41: Distribución de acuerdo al tamaño.....	87
Figura N° 42: VOD.	88
Figura N° 43: VOD.	89
Figura N° 44: Beneficios de la SAN-G APU	90

INTRODUCCIÓN

En la mina Antamina en la fase 8 se trabajó con Heavy Anfo, explosivo que no cumplía con la fragmentación requerida y también existía la emanación de gases nitrosos al medio ambiente.

El material disparado es transportado a la chancadora primaria y luego a la planta de tratamiento metalúrgico y el material de desmonte del tajo es destinado a los botaderos, es por ello que se realiza un análisis en la aplicación de un explosivo que permita la obtención de la fragmentación requerida y que no contamine el medio ambiente.

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

El presente trabajo de investigación consta de:

La dedicatoria; el agradecimiento, el resumen, el índice general, índice de tablas, índice de figuras y la introducción.

Capítulo I: Generalidades.

Capítulo II: Fundamentación.

Capítulo III: Metodología.

Capítulo IV: Resultados de la investigación

Para finalizar las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Ubicación y acceso.

La mina Antamina es un yacimiento poli-metálico (cobre, zinc, Molibdeno y bismuto), se encuentra ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes, en la parte Nor-central del Perú, entre los 4,200 y 4,700 msnm.

Ubicado en el departamento de Ancash, Provincia Huari, Distrito de San Marcos a 270 km en línea recta al norte de Lima, siguiendo la ruta Pativilca - Conococha. La mina Antamina se ubica en la Cordillera Occidental de los Andes, en la Cordillera Blanca. Huaraz es la ciudad más cercana a la mina y se puede llegar por carretera en 6 horas. El acceso a la mina es por una vía asfaltada a 3.5 horas de manejo (200km). (Geología Antamina. Citado por Norabuena, 2016).



Figura N° 1: Ubicación de la mina Antamina.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos33/geología-Áncash/geología-Áncash.shtml>.

Citado por Morales, 2016.

1.2. Topografía.

La mina se encuentra ubicada en la parte central de los Andes Occidentales, sobre el flanco oriental de la Cordillera Blanca, en el extremo sureste del graben del Marañón. La zona se caracteriza por su topografía abrupta entre las cotas 3,800 y 4,800 m.s.n.m. La morfología actual es el resultado de procesos glaciares del Pleistoceno, los cuales dieron como resultado los característicos valles en “U” (es decir, fondo plano y flancos empinados).

1.3. Recursos naturales.

Los recursos naturales son aquellos que podemos utilizar para realizar una actividad económica y que nos permiten satisfacer algunas necesidades básicas, es decir, son todos aquellos elementos que están presentes en la naturaleza y que las personas podemos utilizar, directamente o transformados, para producir un bien económico.

Minerales metálicos: Los recursos minerales metálicos presentes en el yacimiento polimetálico de Antamina son: Cobre; Zinc, Plomo, Plata, Molibdeno, bismuto y otros. Los recursos hídricos en la zona son abundantes y los recursos humanos los más importantes para la minera Antamina son también abundantes tanto en cantidad como en calidad. (https://www.codelcoeduca.cl/biblioteca/sociales/1_Sociales_NM1.pdf. Citado por Morales, 2016).

1.4. Clima.

La temperatura varía entre -2 °C a 20 °C y una humedad relativa promedio de 55 %. (Geología Antamina. Citado por Norabuena, 2016).

1.5. Entorno Geológico.

1.5.1. Fisiografía.

La fisiografía de la zona de la mina influye sobre la corriente de aire y el flujo de agua, y juega un papel importante en los ecosistemas y tipos de suelos identificados. Además, la fisiografía del lugar afecta el desarrollo del Proyecto Antamina, principalmente en lo que se refiere a cómo y dónde depositar los relaves y el desmonte. La fisiografía ha sido determinada mediante la revisión de mapas topográficos, visitas al lugar y la revisión de la bibliografía existente. El Anexo G-IV presenta una revisión de las condiciones regionales existentes en la zona del Proyecto.

La mina propuesta se encuentra ubicada en la parte central de los Andes Occidentales, sobre el flanco oriental de la Cordillera Blanca, en el extremo sureste del graben del Marañón. La zona se caracteriza por su topografía abrupta entre las cotas 3,800 m y 4,800 m. La morfología actual es el resultado de procesos glaciares del Pleistoceno, los cuales dieron como resultado los característicos valles en “U” (es decir, fondo plano y flancos empinados). Tanto las crestas como los flancos empinados de los valles están constituidos por las calizas masivas de la Formación Jumasha. Los valles están conformados por pizarras y margas de la Formación Celendín, las cuales son más susceptibles a la meteorización y la erosión.

Las lagunas de la zona son relativamente pequeñas, están formadas en depresiones producto de erosión glaciaria y valles, en los que el drenaje natural ha sido bloqueado por morrenas o material coluvial. Las principales lagunas ubicadas cerca de la mina son la Laguna Antamina, Laguna Condorcocha, Laguna Pajoshcocha y Laguna Shahuanga. La zona de la mina se caracteriza por

grupos de cumbres y valles que siguen una orientación noroeste sureste. (Klohn Crippen, 1998). - SVS S.A. (KC-SVS).

1.5.2. Geología regional.

Al igual que la fisiografía, la geología de la zona minera influye en el desarrollo del Proyecto. En particular, las propiedades físicas y geoquímicas de las rocas y depósitos superficiales afectan el suelo y recursos hídricos de la zona. En el flanco oriental de la Cordillera Blanca, predomina una vasta secuencia de rocas sedimentarias, dentro de las que se incluyen las calizas, margas y areniscas que se ubican en la zona de transición de la cuenca Chavín y el Marañón. Las principales formaciones, desde la más reciente hasta la más antigua son: Celendín, Jumasha, Pariambo, Pariahuanca, Carhuaz, Santa, Chimú y Chicama. (Klohn Crippen, 1998).

1.5.3. Geología local.

La mina Antamina se encuentra ubicada en una secuencia interestratificada de rocas sedimentarias correspondientes al Cretáceo Superior. Las intrusiones ocurridas en el Terciario contribuyeron a la formación del depósito mineral.

Otro gran cuerpo intrusivo, denominado Lucía, se presenta a unos 6 km al sur del depósito de relaves. Después de la formación sedimentaria, pero antes de producirse las intrusiones, esta secuencia sedimentaria estuvo sometida a un campo de esfuerzos de orientación suroeste-noreste, que dio lugar a una secuencia de sinclinales, anticlinales, fallas de empuje, fallas listricas y otras estructuras complejas.

Las intrusiones posteriores causaron levantamientos locales y la inclinación de los estratos. La erosión posterior ha conducido a la formación de valles en los

sedimentos más débiles y una topografía de grandes riscos en las calizas competentes.

En la zona de la presa de relaves se identificó una zona fracturada de rumbo noroeste- sureste. Esta zona corre paralela a la estratificación, justo aguas arriba de la presa, intersectando la Quebrada Huincush, a unos 700 m aguas arriba de su confluencia con la Quebrada Tucush.

Las investigaciones de campo indican que se ha producido un proceso de meteorización preferencial en la zona fracturada lo cual creó una roca madre que ha sido parcialmente rellenada con morrenas de origen glaciar, pese a lo cual aún colecta el drenaje de la zona.

Las muestras de testigos obtenidas al efectuar perforaciones en las inmediaciones de la zona muestran fracturas y cizallamiento con presencia de arcilla; la permeabilidad de las muestras testigos superan un orden de magnitud superior a los de la roca madre circundante.

La Formación Jumasha tiene importante presencia cárstica, la cual consiste en aberturas dentro de la caliza, formadas por disolución química, en tanto la Formación Celendín Inferior tiene una menor presencia cárstica en el área del depósito de relaves.

La formación cárstica en Jumasha parece ocurrir a lo largo de los estratos dando la impresión de que se trata de un Karst de tipo vadoso. Las depresiones de la Formación Jumasha, ubicadas hacia el este y norte del depósito de relaves, pueden interpretarse como las características del colapso de las unidades cársticas. (Klohn Crippen, 1998).

1.5.4. Geología estructural

Antamina se localiza dentro de una parte de la Faja de Plegamientos-Sobre-escurrimientos del Marañón la cual aquí tiene un ancho de 40 Km. Esta es una de las partes más anchas de la faja la cual puede llegar a ser tan angosta como 10 Km. Las estructuras y estratigrafía se orientan NW-SE y los sobre-escurrimientos convergen al este. La edad de los escurrimientos es Incaica 2 (Eoceno Tardío).

El depósito de Antamina se emplaza en la Formación Celendín. Al oeste de Antamina la Formación Jumasha forma una rampa de escurrimiento sobre una lengua sobre escurrida de Jumasha (es decir sobre sí misma) y la Formación Celendín (ver Figura 2). Jumasha forma montañas prominentes pronunciadas de calizas bien estratificadas gris claras. Continuando al oeste, los sucesivos escurrimientos traen la Formación Pariahuanca sobre Jumasha (no existen las Formaciones Chulec y Paria tambo), la Formación Carhuaz y luego la Formación Chimú. Esta última forma un sinclinal con las Formaciones Santa y Carhuaz que afloran al sur. Más al oeste la Formación Ayón sobre-escurre a la Formación Chimú.

La Formación Celendín aflora al este de Antamina y es suave con escasa exposición. Forma el núcleo de un sinclinorio regional.

El eje se inclina ligeramente al SE y corre a lo largo de la Quebrada Huincush hasta Rosita de Oro. El eje debe continuar por debajo de la lengua sobre-escurrida de Antamina ya que la quebrada Tucush está en el limbo norte del sinclinal.

La traza actual de la falla que separa Celendín de Jumasha al noreste del Lago Antamina parece ser muy pronunciada.

No está claro si se trata sólo de una rampa pronunciada del sobre-escurrimiento o de una falla normal posterior desplazando el cabalgamiento. El cierre del sinclinal al NW hacia Contonga tiene muchos pliegues complicados menores en la Formación Jumasha. (Geología Antamina. Citado por Norabuena, 2016).

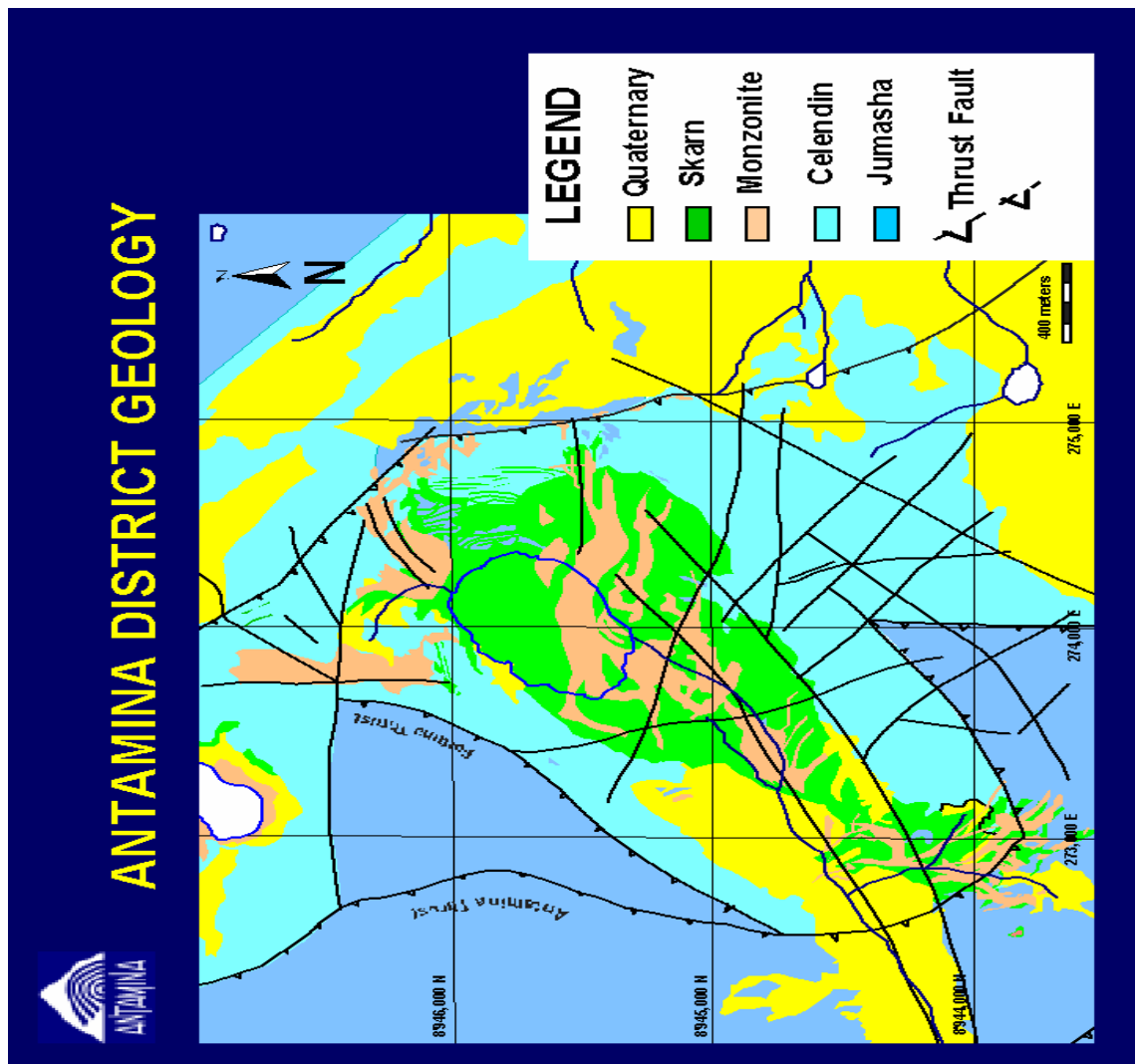


Figura N° 2: Mapa estructural.
Fuente: Geología Antamina. Citado por Norabuena, 2016.

1.5.5. Geología económica.

El depósito de Antamina es un depósito de skarn polimetálico con mineralización de cobre, zinc, plata, molibdeno y bismuto. El depósito se formó durante el emplazamiento de los intrusivos de roca ígnea de Antamina y los intrusivos porfiríticos relacionados en la caliza de Celendín. El metasomatismo de contacto tuvo como resultado la formación del skarn mineralizado en los márgenes de los intrusivos de la caliza. La mineralización de la ley del mineral se produce aproximadamente el 90% del skarn y localmente dentro del intrusivo y de la caliza.

La caliza es susceptible a la intemperización del karst, la cual se origina por la disolución de la caliza, generalmente en las fracturas (rutas de flujo). Esto origina cavidades y cuevas dentro de las unidades de caliza. En el área del depósito de Antamina (tajo abierto) no hay características de karst en la superficie. Sin embargo, se observaron cavidades subterráneas con flujo de agua al norte y al este del depósito en la unidad de caliza de Jumasha.

La intrusión porfirítica comprende múltiples intrusiones, con hasta nueve fases identificadas. La intrusión contiene mineralización del cobre/molibdeno de tipo porfirítico, aunque las leyes usualmente se encuentran por debajo de la ley de corte utilizada para la planeación de la mina. Las fases intrusivas asociadas con el evento de mineralización fueron afectadas por la alteración potásica. La alteración fílica es mínima pero extendida.

El skarn se encuentra bien zonificado a cada lado de la intrusión central. La siguiente secuencia empieza en el intrusivo y termina en la caliza.

- Skarn de granate marrón con cobre como calcopirita (mineral de cobre)

- Skarn de granate verde con calcopirita y esfalerita (mineral de cobre-zinc)
- Skarn de wollastonita/di ópido granate verde con bornita, esfalerita y bismuto anómalo y caliza marmolizada con venas o mantos de skarn de wollastonita/granate verde con mineralización de zinc, plomo y plata.

La mineralización del sulfuro es posterior a la formación de granatita y se produce de tres formas: intersticial a cristales de granate, zonas de sulfuro masivo o venillas de corte transversal. Con frecuencia las zonas de sulfuro masivo son mezclas que contienen cantidades variables de pirita, calcopirita y esfalerita, con cantidades menores de molibdeno, galena y diversos sulfosales. Se pueden distinguir dos zonas mineralizadas: la primera formada por los dos tercios centrales, adyacentes al cuerpo intrusivo, que se caracteriza por calcopirita, pirita y molibdeno; y la segunda una corteza exterior que representa el otro tercio del depósito, la cual contiene esfalerita, calcopirita, pirita y cantidades menores de galena y sulfosales. Las principales unidades de roca utilizadas para la clasificación del mineral y del desmonte se resumen de la siguiente manera:

Mineral: consta principalmente de mineral de cobre (skarn de granate marrón) y mineral de cobre-zinc (skarn de granate verde) en proporciones aproximadamente iguales, con algunos intrusivos mineralizados y mármol.

Caliza, mármol y hornfels: consta de caliza no mineralizada y, cerca al contacto con el skarn, mármol/ hornfels, las cuales conforman en conjunto alrededor del 75% del desmonte minado.

Intrusivos: consta principalmente de cuarzo - monzonita con baja mineralización y forma alrededor del 15% del desmonte.

Skarn: contiene baja mineralización y forma alrededor del 10% del desmonte.

(Geología Antamina. Citado por Norabuena, 2016).

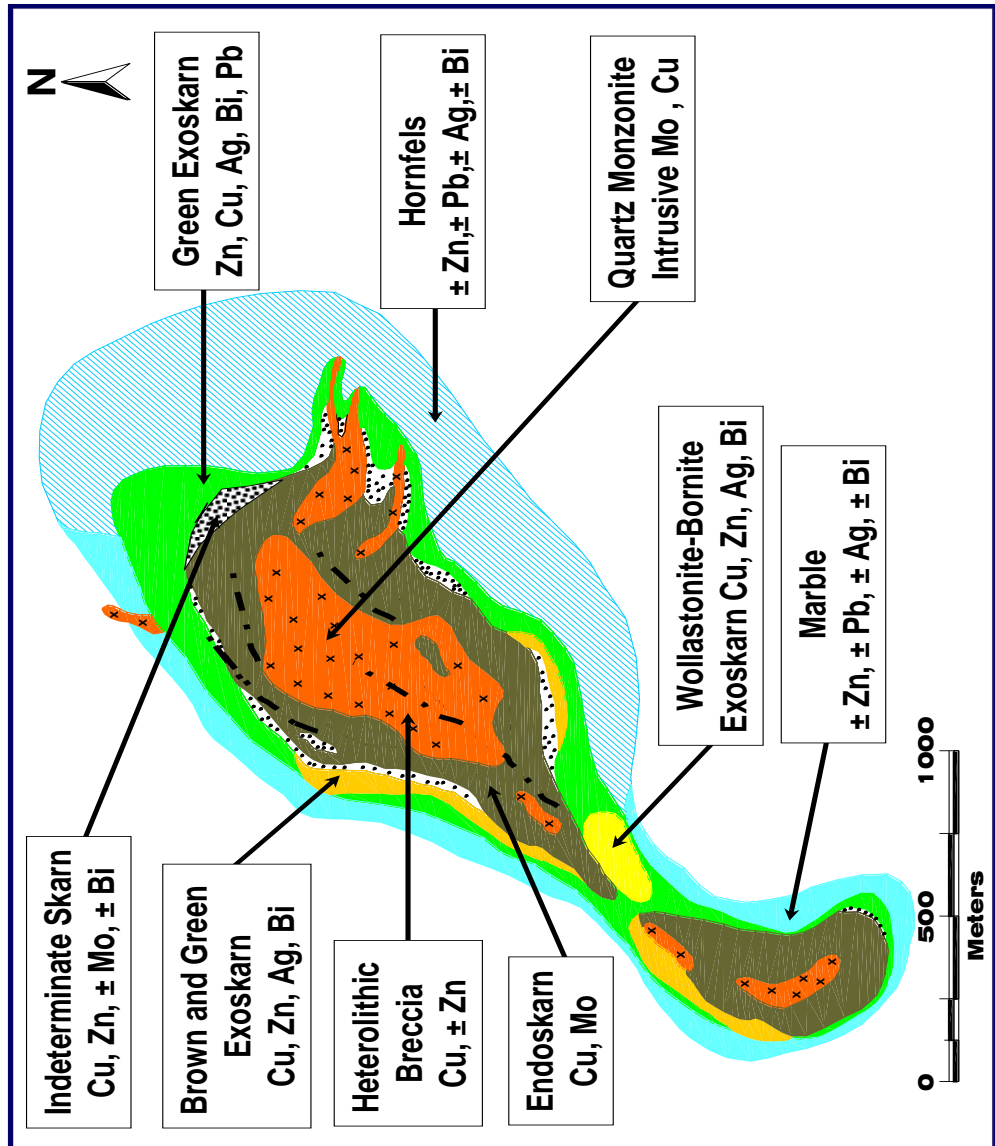


Figura N° 3: Alteración esquemática del yacimiento y zonamiento metálico.
Fuente: Geología Antamina.

1.6. Operaciones mina

Las operaciones mineras en Antamina para obtener su producto final consiste básicamente en la perforación, voladura, carguío o acarreo, chancado, proceso metalúrgico, una vez cumplido con el proceso de obtención del concentrado es transportado por medio de un minero ducto Mina-Huarmey para su comercialización.

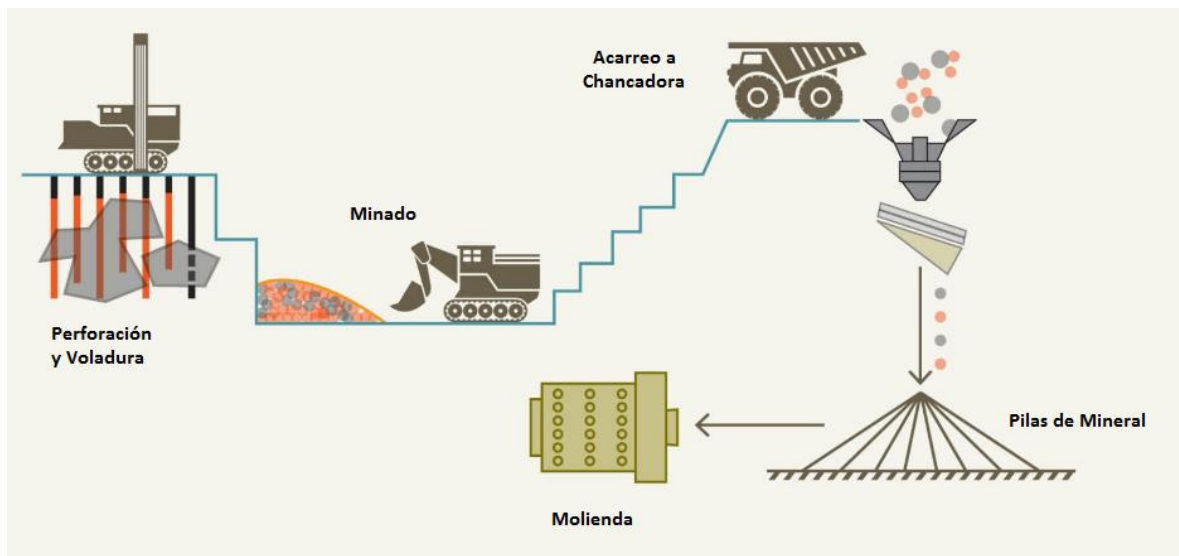


Figura N° 4: Ciclo de minado (Mine to Mill)
Fuente: Operaciones Antamina

1.6.1. Perforación.

La perforación es la primera operación en la preparación de la voladura, su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos, denominados “taladros” destinados para alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores.

Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen la trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo.

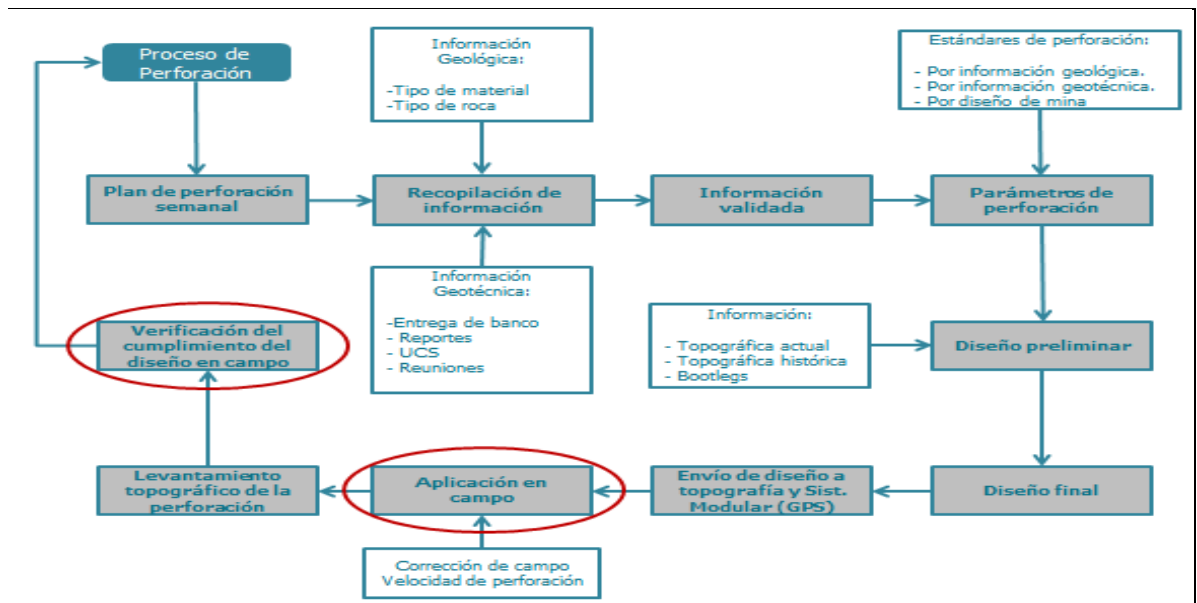


Figura N° 5: Proceso de perforación
Fuente: Operaciones Antamina

MODELO DE PERFORADORA	MARCA	NÚMERO DE EQUIPOS	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN
P&H 320XPC	P&H	2	12 ¼"
CAT MD6640	CATERPILLAR	2	12 ¼"
BE 49HR	BUCYRUS	2	12 ¼"
BE 49HR-111	BUCYRUS	4	12 ¼"
D75 KS	SANDVIK	2	9 7/8"
ACL 830	ATLAS COPCO	5	5"
DP1500	SANDVIK	1	4 ½"
DPi1500	SANDVIK	1	4 ½"

Figura N° 6: Flota de perforación
Fuente: Operaciones Antamina

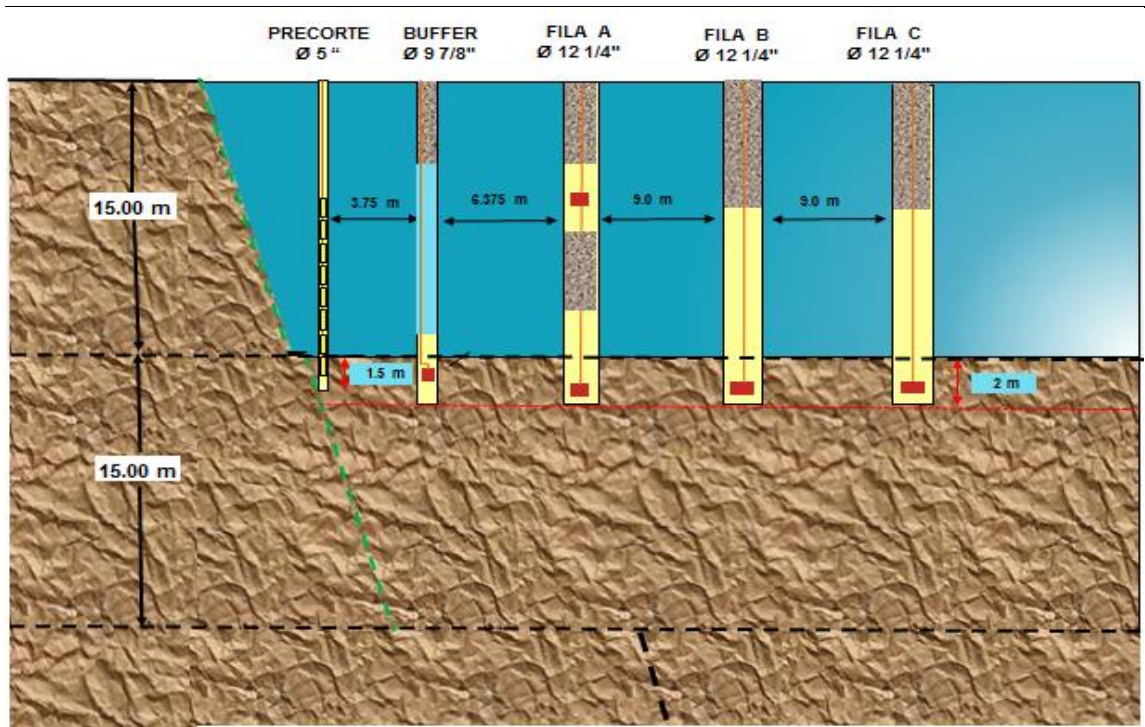


Figura N° 7: Diseño de perforación
Fuente: Operaciones Antamina

Los trabajos de perforación son realizados con perforadoras eléctricas marca Bucyrus, Caterpillar y P&H, en taladros de producción, con diámetros de perforación de 12 1/4" y con longitud de perforación de 17 metros.



Figura N° 8: perforadoras de diámetro de 12 1/4"
Fuente: Operaciones Antamina

Así mismo con perforadora Diésel marca Sandvik con diámetros de perforación de 9 7/8” para taladros buffer con longitud de 10 a 17 metros.



Figura N° 9: perforadoras de diámetro de 9 7/8”
Fuente: Operaciones Antamina

Para el cuidado de las paredes de los taludes finales se perfora los pre-cortes con perforadoras de Atlas Copco con diámetros de 5”.



Figura N° 10: perforadora de diámetro 5”
Fuente: Operaciones Antamina

PARÁMETROS OPERATIVOS DEL TAJO

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Altura de banco	metros	15(banco simple) y 30 (banco doble)
Ancho de banco	metros	8 a 15
Talud de banco	grados	65 a 72
Angulo interrampa	grados	45 a 53
Ancho de rampa	metros	40
Pendiente de rampa	%	10
Altura muro de seguridad	metros	2.8

PARAMETROS DE PERFORACION

PARAMETROS	UNIDAD	MINERAL	DESMONTE
Borden	metros	7.5	9.5
Espaciamiento	metros	8.5	11
Altura de banco	metros	15	15
Sobreperforacion	metros	2	2
Densidad del material	ton/m ³	2.9	2.7

1.6.2. Voladura.

El departamento de voladura se encarga del diseño de mallas de perforación, diseño de mallas y las cargas de acuerdo a los parámetros de la roca brindados por geología y geotecnia, secuencias de salida, mallas a disparar, supervisar el carguío de los taladros con los explosivos y accesorios de voladura se deán según sus procedimientos.

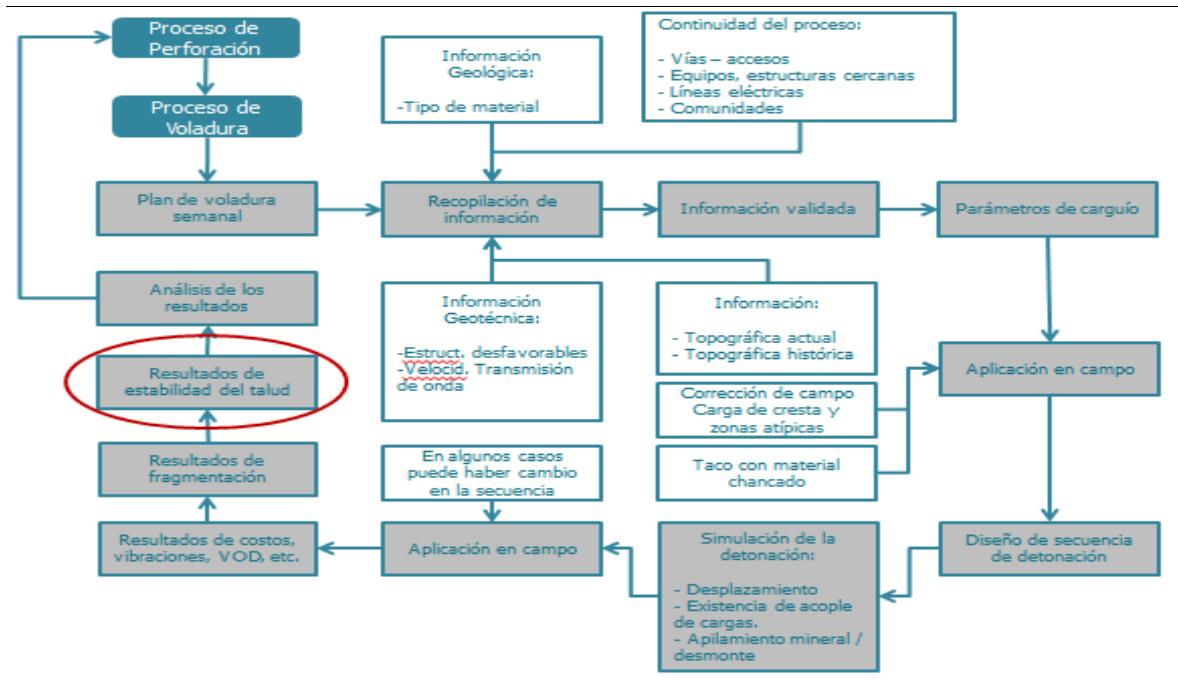


Figura N° 11: Proceso de voladura
Fuente: Área de voladura- Antamina

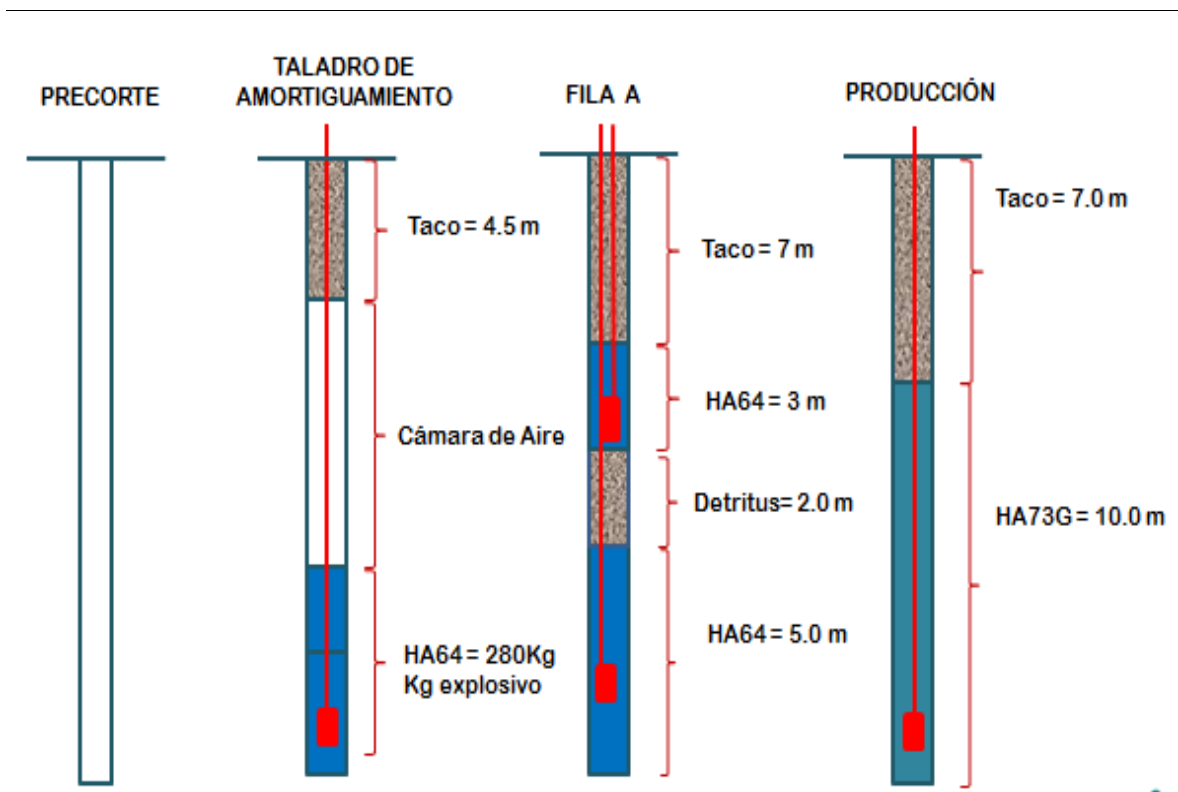


Figura N° 12: Diseño de carga
Fuente: Área de voladura- Antamina

El carguío de las mallas perforadas es realiza por la empresa Famesa Explosivos S.A.C., a través de sus camiones fabrica (volvo) los cuales tienen las siguientes capacidades.

- 5 toneladas de nitrato de amonio
- 13 toneladas de emulsión
- 120 galones de petróleo



Figura N° 13: Proceso de Carguío
Fuente: Área de voladura- Antamina

Para la voladura primaria se utiliza agentes de voladura a base de emulsiones y ANFO (HAVEY ANFO) en diferentes mezclas. El ANFO es preparado con petróleo para el balance positivo de los oxígenos con ello evitar la generación de gases nocivos (humos naranjas) al medio ambiente y a la salud.

Los accesorios que usan son el booster de 1 lb y booster de 2 lb, fanel de 18 metros con retardo de 800 milisegundos de retardo en fondo como medida de seguridad, detonadores electrónicos (Daveytronic), con ello realizar voladuras controladas.



Figura N° 14: accesorios de voladura
Fuente: Área de voladura- Antamina

Para las voladuras secundarias se utiliza emulsión encartuchada (Emulnor 3000) con detonadores electrónicos, así mismo para los pre-cortes se utiliza los famecortes con cordón detonante.

TALADRO	EXPLOSIVO	ACCESORIOS
Pre-corte	Famecorte	Cordon detonate
Buffer	Havey Anfo 64	Detonador electronico
Produccion	Havey Anfo 73 Gasificado	Detonador electronico
voladura secundaria	emulnor 300	Detonador electronico

1.6.2.1. Equipo para el tapado de los taladros.

Los equipos que utilizan para el tapado de los taladros son los cargadores frontales (cargador tapa pozo) marca CAT 924F, con capacidad de cuchara de 1.2 tonelada.



Figura N° 15: Cargador tapa pozo
Fuente: Área de voladura- Antamina

1.6.3. Carguio o acarreo

El carguío del material fragmentado de los diferentes frentes de minado es realizado mediante las palas eléctricas P&H, palas hidráulicas Hitachi y cargadores frontales LeTourneau y CAT. Los frentes de carguío se encuentran delimitados de acuerdo a los tipos de materiales mediante polígonos marcados por los geólogos. Estos polígonos también se encuentran en el sistema de despacho de mina.

1.6.3.1. Equipos de carguio

Tenemos los siguientes equipos de carguío.

EQUIPO	CANTIDAD	CAPACIDAD
Pala electrica P&H 4100 AC	4	77 yd ³
Pala electrica P&H 4100 XAC	3	77 yd ³
Pala electrica Bucyrus 495BI	2	70 yd ³
Pala hidraulica Hitachi EX5600	4	38 yd ³
Cargador LeTourneau L2350	1	29 yd ³



Figura N° 16: Pala Eléctrica P&H XPC 4100
Fuente: Operaciones Antamina



Figura N° 17: Pala hidráulica Hitachi
Fuente: Operaciones Antamina

El acarreo es realizado mediante camiones Caterpillar CAT 777 D1 de 90 toneladas, Caterpillar CAT 793 de las series D/F de 240 toneladas, Komatsu 930E de 320 toneladas y el Komatsu 980E-4 de 380 toneladas de capacidad.

EQUIPO	CANTIDAD	CAPACIDAD
Camion CAT 777D1	3	90 tn
Camion CAT 793D	7	240 tn
camion CAT 793F	18	240 tn
Camion komatsu 930 E- 4SE	92	320 tn
Camion komatsu 980 E-4	2	380 tn



Figura N° 18: Camión komatsu 930E
Fuente: Operaciones Antamina

El mineral extraído del tajo abierto es transportado a la chancadora primaria ubicada en la parte Sur del tajo abierto, luego es llevado por un túnel a través de una faja transportadora hacia la planta concentradora, obteniéndose como productos final concentrados de cobre, zinc, plomo y plata. El desmonte extraído de la mina tiene como destino final dos (2) botaderos donde se dispone finalmente en capas que varían sus dimensiones en base a diseños geotécnicos.

1.6.4. Chancadora primaria y concentradora

El mineral volado de las distintas fases es llevado por medio de los camiones gigantes a la chancadora primaria, el material chancado es enviado a la planta concentradora por medio de una faja transportadora a 2.8 km de longitud de chancadora primaria a la planta concentradora por medio de un túnel de la misma

distancia, este materia son descargadas en tres (03) stock piles para su posterior tratamiento.



Figura N° 19: Planta concentradora y chancadora primaria
Fuente: concentradora Antamina

Actualmente la planta concentradora posee una capacidad de procesamiento de 180 000 toneladas de mineral por día. La planta produce concentrados de cobre, zinc, plomo, plata y bismuto. Los concentrados de cobre y zinc son enviados a través de un mineroducto de 302 km de longitud mina – puerto punta lobitos, mientras que los concentrados de molibdeno, plata y plomo son empacados en sacos sellados y transportados en camiones desde la mina hasta el puerto del Callao en Lima.

1.6.5. EL MINERODUCTO

Después del estudio de impacto ambiental (EIA) inicial presentado en marzo de 1998, se realizó una reevaluación de las diversas alternativas para el transporte del concentrado de cobre y zinc de la planta concentradora al puerto

punta lobitos – Huarmey, se optó por la construcción de un mineroducto con las medidas de seguridad optimas con el fin del cuidado del medio ambiente y la seguridad de no tener derrames.

Se trata de una tubería reforzada de 302 km que corre bajo el suelo y que es monitoreada en toda su trayectoria. El mineroducto ha sido diseñado con el uso de la tecnología más avanzada, que incluye una red de fibra óptica entre la mina y Huarmey.

Buscando preservar el medio ambiente con el menor impacto posible, el mineroducto de antamina ofrece las siguientes ventajas con relación al traslado del concentrado por tierra.

- Menos impacto negativo al medio ambiente.
- Mayor seguridad en caso de derrames de concentrado.
- Menos impacto social.
- Menor costo operativo de transporte de concentrado y el tiempo de monitoreo a tiempo real.
- Longitud de 302 kilómetros
- Longitud de cada tubería de 12 metros.
- Diámetro de cada tubería: 8 a 10 pulgadas (21 a 25 cm)
- Espesor de la tubería de 1cm.
- Espesor de la cubierta de polipropileno :7mm
- Material de la tubería: acero revestido interna y externamente.
- Tiempo de vida útil de las tuberías: 30 años.
- Las tuberías están a una profundidad promedio entre 1.30 y 1.50 metros.
- Resistencia a sismos: hasta grado VIII en la escala de Mercalli modificada.



Figura N° 20: recorrido del minero ducto mina a puerto punta lobitos.
Fuente: concentradora Antamina

1.6.6. PRESA DE RELAVES

La gigantesca presa de relaves de Antamina, la más alta del mundo en su tipo, tendrá capacidad para almacenar 570 Mt de material estéril o 330 Mm³ durante los 23 años de su vida útil.

Erigida en la quebrada de huincush y a tres kilómetros de la planta concentradora, esta poza de relaves cuenta con una presa de arranque de 135 metros de altura, con una placa interior de concreto reforzado y luego un crecimiento de 75 metros tipo aguas abajo con material de mina no generador de lixiviación de metales.

Esta elevación está protegida, a su vez con geo-membranas de alta densidad para evitar posibles filtraciones desde la poza de relaves hacia el exterior. Túneles de drenaje, inyección de concreto de hasta 80 metros en los estribos y canales colectores del agua de lluvia de capacidades finales del agua de lluvia de capacidades finales de 25m³/seg complementan una obra de alta tecnología, lo que garantiza el cuidado del medio ambiente, así como su estabilidad estructural.

CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico.

2.1.1. Antecedentes de la investigación.

En la tesis **Evaluación técnica y económica de la emulsión gasificada en minera YANACocha SRL**; Sustentado el año 2015 por el Bachiller Edson Edu SALCEDO ORIHUELA, para optar el título profesional Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. La tesis tiene las siguientes conclusiones:

KPI. - indicador clave de desempeño o indicadores de gestión, Los KPIs son métricas que nos ayudan a identificar el rendimiento de una determinada acción o estrategia. Estas unidades de medida nos indican

nuestro nivel de desempeño en base a los objetivos que hemos fijado con anterioridad.

1. Las emulsiones gasificadas son más resistentes al agua bajo condiciones de lluvia y nivel freático elevado (condiciones que se presentan a menudo en MYSRL) que los ANFOs pesados formulados a partir de emulsión TC.
2. Las emulsiones gasificadas, por no tener contenido de nitrato de amonio grado prillax, garantizan siempre un balance de oxígeno negativo por lo que no generan gases nitros dañinos para la salud y el medio ambiente.
3. El sistema de carguío de emulsión gasificada dentro de los taladros es igual que el sistema de carguío de los ANFOs pesados con emulsión TC; en ambos casos la mezcla se puede vaciar a razón de 200 kg/min o bombear (para taladros con más de 2,0 m de agua) a razón de 80 kg/min.
4. La densidad de la emulsión gasificada medida en una taza tarada y una balanza calibrada, es menor que la densidad real dentro del taladro debido a la presión que es ejercida sobre el explosivo por la atmósfera, el taco y la columna explosiva superior.
5. Al ser la emulsión gasificada una mezcla compresible y un explosivo en estado líquido, ésta pierde su capacidad sensitiva para densidades dentro del taladro que se encuentran fuera del rango de 0.9 – 1,25 g/cm³.

6. Mediante varias pruebas de VOD para la emulsión G a diferentes densidades, se pudo concluir que ésta puede reemplazar a los ANFOs pesados formulados a partir de emulsión TC como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Densidades para la emulsión SAN-G APU y su equivalente en ANFO pesado.

MEZCLA EXPLOSIVA	D. DEL ANFO PESADO	REEMPLAZADA POR	D. FINAL DE TAZA DE EMULSIÓN G
ANFO	0.81 g/cm ³	Emulsión G (100%)	0.80 g/cm ³
HA 37	1.05 g/cm ³	Emulsión G (100%)	1.00 g/cm ³
HA 46	1.19 g/cm ³	Emulsión G (100%)	1.10 g/cm ³
HA 64	1.29 g/cm ³	Emulsión G (100%)	1.10 g/cm ³

7. La emulsión G a densidad de 0,8 g/cm³ tiene un costo superior al ANFO, por lo que no es posible reemplazar este explosivo por el primero. Para todas las demás mezclas explosivas si es económico reemplazarlas por la emulsión G. Esto se ha demostrado en las figuras 42-45 y se detallan en la tabla 19.
8. Se midieron las tasas de excavación (dig rate) de los equipos de carguío en los polígonos disparados con ANFO pesado y se compararon con los polígonos disparados con emulsión G a densidades equivalentes. No se encontraron variaciones en las tasas de excavación, garantizando que las voladuras con emulsión G generan los mismos resultados que las realizadas con ANFO pesado formulados con emulsión TC.

9. Se realizaron mediciones de granulometría luego del disparo en zonas contiguas y de similar alteración litológica, las cuales fueron cargadas con HA46 y emulsión G a densidad 1,10 g/cm³. No se encontraron diferencias significativas en el tamaño de los fragmentos producidos por los disparos con diferentes agentes.
10. Reemplazando los ANFOs pesados realizados con emulsión TC por la emulsión G a densidad variables entre el periodo 2015-2019, garantizaría un ahorro de costos sin descuento de \$ 3,43 millones y un VPN de \$ 2,95 millones a una tasa de descuento del 12%. (Salcedo, 2015).

En la tesis **“Utilización de emulsión gasificable en voladura para optimizar factores ambientales, técnicos y económicos en minería a tajo abierto”**; Sustentado el año 2018 por el Bachiller Edgard Jesús Sergio ESCRIBA CHACON, para optar el título profesional Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Escuela Profesional de ingeniería de Minas tiene las siguientes conclusiones:

1. Quedo demostrado que el uso de la emulsión G en remplazo del ANFO pesado 73 Gasificado logró mejores resultados, optimizando así los aspectos operativos, medioambiental y económico en el proceso de voladura.
2. La emulsión G, alcanza mejores resultados en velocidad de detonación siendo esta en promedio 2.6% mayor comparada con el ANFO pesado 73 gasificado, con lo cual se aprovecha la mayor

energía que contiene la mezcla explosiva y se ve reflejado en la fragmentación del material.

3. Los análisis de fragmentación demuestran que con el uso de la emulsión G se obtuvo una reducción en el P80 de un 43 % y siendo el 90 % del material de menor tamaño que el requerido para esa zona.
4. Desde el punto de vista medioambiental y en términos de seguridad, se redujo significativamente la generación gases nitrosos post – voladura y se eliminó el uso de la fabricación del ANFO.
5. El factor de carga utilizando emulsión G se redujo un 2.3 %, esto debido al mayor esponjamiento que se obtiene y que reduce la cantidad de explosivo necesario para el carguío del taladro.
6. Económicamente se demostró un ahorro de \$ 17.8 por taladro y \$ 0.0042 por tonelada volada con el reemplazo de ANFO Pesado 73 gasificado por la emulsión G, esto debido principalmente a la eliminación del costo de fabricación del ANFO y el menor precio por tonelada que ofrece la emulsión G comparada a la emulsión estándar que se usa para fabricar el ANFO pesado 73 gasificado

2.2. Fundamentación teórica.

2.2.1. Voladura de rocas.

De acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos:

- Fragmentación y desplazamiento.

El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la "mejor" fragmentación.

Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminación en las plantas metalúrgicas, mientras que en la de rocas algunas veces se requiere que sea en grandes bloques, como los que se emplean para la construcción de ataguías o rompeolas.

El desplazamiento y la forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el paleo o acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles.

Teniendo en cuenta los diversos criterios que involucra un trabajo de voladura, como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener el volumen a ser excavado, el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se quedará in situ será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes que puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es pues necesaria una planificación cuidadosa de la voladura considerando todos los detalles que puedan influir en sus resultados.

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no.

Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca

Para facilidad de interpretación se resume a estos factores afines en grupos, que suelen denominarse variables, factores, parámetros o condiciones fundamentales que comprenden:

Parámetros de la roca: Son determinantes, debiendo los explosivos y sus métodos de aplicación adecuarse a las condiciones de la roca. Entre ellos tenemos

Propiedades físicas:

- **Dureza:** Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.
- **Densidad:** Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1,0 a 4,5g cm³ en promedio. Rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse.
- **Textura:** Trama o forma de amarre de los cristales o granos y su grado de cementación o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.
- **Porosidad.** Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.
- **Variabilidad:** Las rocas no son homogéneas en su composición y textura. Tienen un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.

- **Grado de alteración:** Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.

Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas:

- **Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido:** Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.
- **Resistencia mecánica:** Resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.
- **Fricción interna:** Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas).
- **Módulo de Young:** Resistencia elástica a la deformación.
- **Radio de Poisson:** Radio de contracción transversal o extensión longitudinal del material bajo tensión
- **Impedancia:** Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con alta frecuencia sísmica requieren explosivos de alta velocidad de detonación.
- **Tenacidad:** Indica la facilidad o dificultad de romperse bajo el efecto de fuerzas de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable (fácil), intermedia a tenaz (difícil). (Exsa, 2017).

2.2.2. Características y propiedades de desempeño de los explosivos.

- **Potencia** Es la medida del “contenido de energía” del explosivo y del trabajo que puede efectuar para producir efectos mecánicos. Se mide mediante la prueba Trauzl que determina la capacidad de expansión que produce la

detonación de 10 g de explosivo disparado dentro de una cavidad cilíndrica (70 cm³) abierta en la parte superior de un molde cilíndrico de plomo de dimensiones específicas, la cual es comparada con un patrón (ANFO).

Se expresa como potencia absoluta por peso (AWS) y potencia absoluta por volumen (ABS). También se puede expresar como una comparación de la energía de un explosivo respecto al del ANFO, el cual es tomado como el 100%, obteniéndose la potencia relativa por peso o la potencia relativa por volumen. Entonces, es un valor relativo cuya finalidad es comparar los explosivos entre ellos.

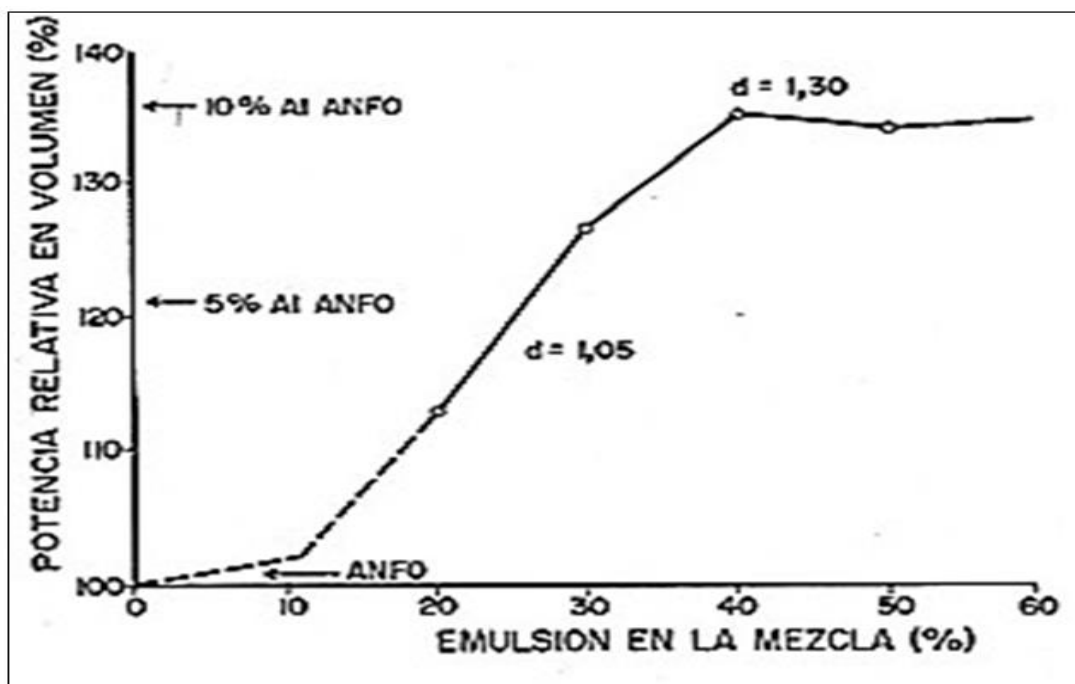


Figura N° 21: Variación de la potencia de un ANFO pesado según el porcentaje de emulsión. Fuente: Bampfield y Morrey, 1984.

En la figura 4, se puede apreciar que encima del 40% y 50 % de emulsión en la mezcla en un ANFO pesado, la potencia alcanza un límite y empieza a decaer, esto debido a que la separación de las partículas de ANFO resulta elevada para

que estas actúen eficientemente como puntos calientes y propagadores de la onda de choque.

- **Brisance o poder rompedor.** Es el efecto “demoledor” o “tritador” que aplica el explosivo sobre la roca para iniciar su rompimiento. Como factor dinámico de trabajo es consecuencia de la onda de choque y está vinculado a la densidad y a la velocidad de detonación que muchas veces se utiliza como base comparativa.

Cabe recalcar que brisance es el efecto de impacto que tritura la roca y potencia el efecto de expansión y empuje del material roto, para desplazarlo y formar la pila de escombros. Ambos se conjugan en la voladura.

- **VOD (Velocidad de detonación).** - Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo, y por tanto es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía. Es también la velocidad con que viaja la onda a lo largo de una columna explosiva, sea al aire libre o en confinamiento dentro de un taladro de voladura.

Los factores que la afectan son: la densidad de la carga, el diámetro, el confinamiento, la iniciación y el envejecimiento. Para los tres primeros, conforme aumentan dichos parámetros la velocidad de detonación resultante crece significativamente. Ver Figura 5.

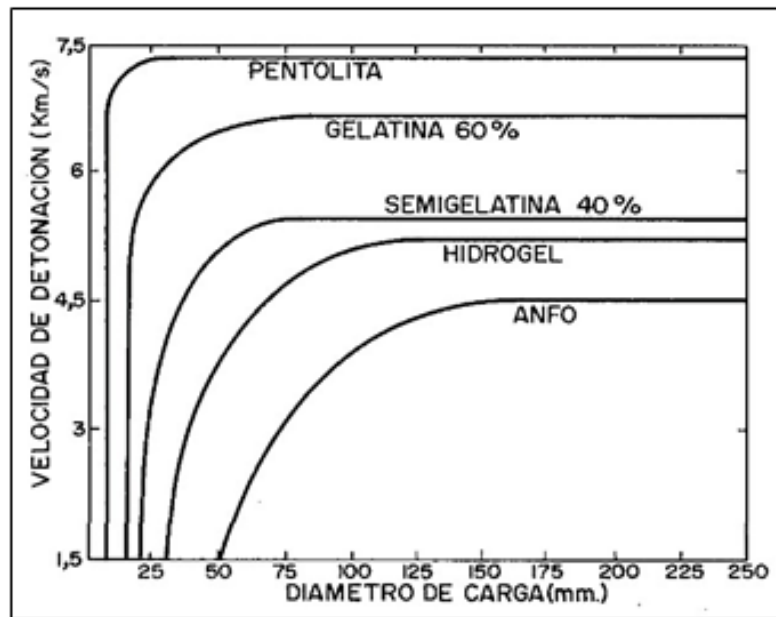


Figura N° 22: Influencia del diámetro sobre el VOD.
Fuente: Ash, 1977.

- **Resistencia al agua.** Es la habilidad para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características, es decir su capacidad para rechazar la penetración del agua. La unidad de medida empleada es la de “horas”.

A pesar de que no existe una escala numérica reconocida internacionalmente para calificar la resistencia al agua, ésta generalmente se determina por el tiempo en el que el explosivo puede quedar sumergido y después del cual aún puede ser detonado manteniendo sus performances originales.

- **Categoría de humos / balance de oxígeno:** La detonación de todo explosivo comercial produce polvo, vapor de agua (H₂O), óxidos de nitrógeno (NO-NO₂) óxidos de carbono (CO-CO₂) y eventualmente gases sulfurosos (H₂S, SO₃ y AlO₂) si contenía azufre o aluminio. Entre los gases inocuos generados hay siempre cierto porcentaje de productos irritantes tóxicos o letales llamados en conjunto “humos”, como el monóxido de carbono y el bióxido de nitrógeno. De acuerdo a la proporción contenida de estos gases tóxicos se ha establecido

escalas de clasificación por grado de toxicidad para la exposición del personal trabajador después del disparo. Ver figura 6.

CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO ₂)
1 ^{ra}	de 0 a 0,16 pie ³
2 ^{da}	de 0,16 a 0,33 pie ³
3 ^{ra}	de 0,33 a 0,67 pie ³
Cuya equivalencia métrica según el ISO es:	
CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO ₂)
1 ^{ra}	de 0 a 4,53 dm ³
2 ^{da}	de 4,53 a 9,34 dm ³
3 ^{ra}	de 9,34 a 18,96 dm ³

Figura N° 23: Categoría de gases nocivos post voladura.
Fuente: Institute of makers of explosives. EE.UU.

Es importante en la formulación de la mezcla explosiva asegurar una completa combustión con la máxima potencia y mínima producción de gases tóxicos, siendo necesario controlar la proporción de oxígeno suministrado a los componentes combustibles (añadirlo o restarlo según convenga) para que logren su mayor nivel de oxidación.

- **Densidad:** La densidad de la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 y 1.6 g/cm³ (Ver cuadro 01). Generalmente, cuanto más denso sea un explosivo, proporcionará mayor efecto de brísense o impacto.

Tabla N° 1: Densidades de diferentes tipos de explosivo

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

Fuente: Konya & Albarrán, 1998. Citado por escriba, 2018

Los explosivos tienen cada cual sus límites superior e inferior de densidad; cuando por cualquier razón queden fuera de estos límites se dice que su densidad es “crítica” o “de muerte”, porque perderán sus características al momento de la detonación, llegando incluso a no reaccionar. En los agentes de voladura granulares la densidad puede ser un factor crítico dentro del taladro, pues si es muy baja se vuelven sensibles al cordón detonante axial, que los comienza a iniciar en régimen de deflagración antes que arranque el cebo o booster, o de lo contrario si es muy alta no detonan (es el caso de insensibilidad por incremento de la densidad bajo presión).

- **Agentes de voladura:** Los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N° 8, por lo que necesitan un cebo reforzado o primer-booster para iniciar su detonación. Estos explosivos a diferencia de los primarios que tienen alta energía y sensibilidad, se caracterizan por desarrollar un mayor trabajo útil, en el estricto sentido de arranque y fragmentación de roca.
- **Anfo:** El ANFO es una mezcla explosiva industrial, su composición es de 94% nitrato de amonio y 6% combustible. El nitrato de amonio es una sal inorgánica, no explosiva, siendo de aplicación en minería aquella que se fabrica como partículas esféricas o prills porosos. La principal desventaja del ANFO es su nula resistencia al agua. Esto se debe a que el agua absorbe gran cantidad de energía para su vaporización y rebaja la potencia del explosivo. Además, el nitrato es soluble en agua, perdiendo todas sus características al estar en contacto con esta.

- **Anfo pesado:** El 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 7), formando una matriz energética con propiedades específicas.

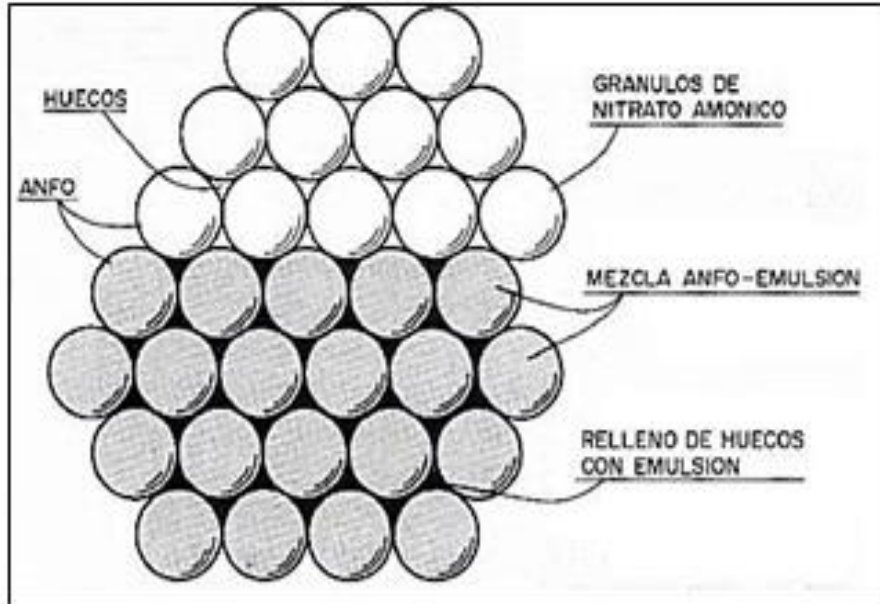


Figura N° 24: Estructura del ANFO pesado.
Fuente: Du Pont, 1986.

Existen diversas mezclas de ANFO Pesado, las cuales poseen diferentes características. La siguiente figura muestra la variación de estas características incluyendo su capacidad de resistencia al agua, densidad, así como la velocidad de detonación.



Figura N° 25: Características de diferentes mezclas de ANFO Pesado.
Fuente: Du Pont, 1986.

Tabla N° 2: Principales propiedades de mezclas explosivas

TIPO DE EXPLOSIVO	DENSIDAD (g/cc)	VOD (m/s)
ANFO	0.80 ± 0.01	3800 – 4450
HA 28	0.92 ± 0.01	4350 – 4600
HA 37	1.08 ± 0.01	4700 – 4900
HA 46	1.23 ± 0.01	4800 – 5300
HA 55	1.27 ± 0.01	5100 – 5400
HA 64	1.29 ± 0.01	4800 – 5200
HA 73	1.31 ± 0.01	4300 – 5100
Emulsión estándar	1.33 ± 0.01	5350 – 5550

Nota: Resultados para taladros de 12 ¼ ‘’

Fuente: Famesa/Enaex.

- **Emulsión:** Las emulsiones explosivas son agentes de voladura del tipo denominado “agua en aceite” en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado, comúnmente diésel 2. El tamaño de los componentes de esta mezcla (oxidante y combustible) tiene influencia directa en la velocidad de

detonación y en general en el performance del explosivo. Según López Jimeno (2003), el proceso de fabricación de los explosivos ha llevado a una reducción gradual del tamaño de las partículas, pasando desde los sólidos a las soluciones salinas con sólidos y, por último, a las microgotas de una emulsión explosiva.

Tabla N° 3: Tamaño de partícula de los explosivos.

EXPLOSIVO	TAMANO (mm)	ESTADO	VOD (km/s)
ANFO	2	Solido	3,2
Dinamita	0.2	Solido	4
Hidrogel	0.2	Solido/liquid	3.3
Emulsión	0.001	Liquido	5 – 6

Fuente: Bampffield & Morrey, 1984.

La emulsión pura no es un explosivo que pueda detonar, debido a que no es sensible ni siquiera al booster porque su densidad es muy alta. Para sensibilizarla, se puede utilizar un mecanismo físico como la generación de burbujas de gas, las cuales al ser comprimidas adiabáticamente se comportan como puntos calientes o hot spots, favoreciendo tanto la iniciación como la propagación de la detonación. Estos agentes gasificantes pueden ser poliestireno expandido o micro esferas de vidrio. A la vez, se puede aplicar la sensibilización química a través de una solución gasificante como es el nitrito de sodio.

- **Emulsión Gasificable:** Explosivo basado en emulsión que se sensibiliza mediante un aditivo químico (gasificante); el cual alcanza su sensibilidad dentro del taladro de voladura. Químicamente, está formulada para reaccionar con nitrito de sodio, que es el agente gasificante. El producto de la sensibilización es una mezcla explosiva de menor y variable densidad que depende de la mayor o menor adición del gasificante. El esponjamiento

obtenido dentro del taladro por efecto de la sensibilización hace que se requiera una menor carga de explosivo en el taladro y se obtenga la misma altura de carga de diseño. En la figura 9, se muestra la gasificación que ocurre en un taladro cargado con emulsión gasificable frente a otro cargado con ANFO Pesado a base de emulsión matriz, cuya carga lineal no varía debido a que su densidad es constante.

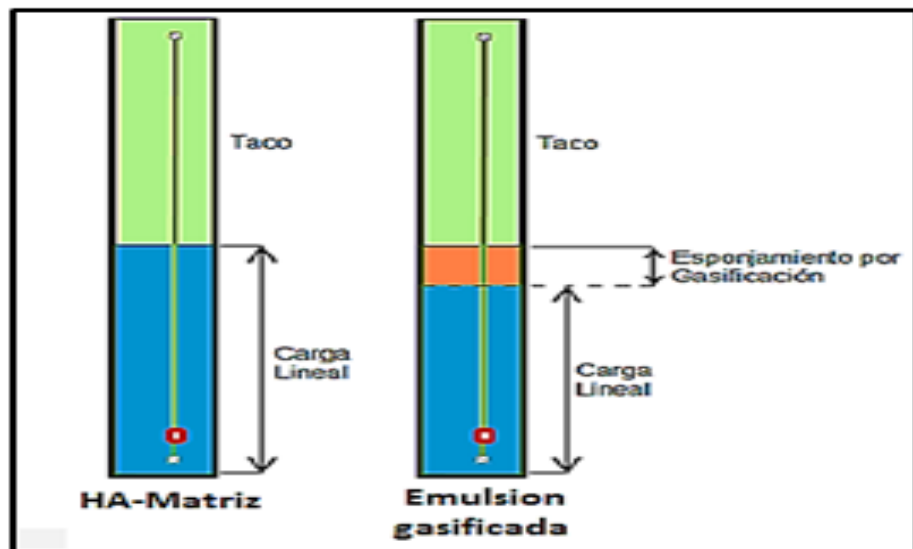


Figura N° 26: Diseño de carga con ANFO Pesado y emulsión gasificable.
Fuente: Wilson Vilela, 2014.

Los aspectos más relevantes de la emulsión gasificada en comparación con el ANFO y ANFO Pesado son:

- Alta velocidad de detonación, del orden de 5600 m/s.
- Amplio rango de densidad, desde 0.80 hasta 1.20 g/cm³.
- Inherente resistencia al agua.
- Homogeneidad de la sustancia dentro del taladro.
- Adecuado balance de oxígeno y no producción de gases nitrosos de detonación.
- Buen acoplamiento en el taladro por su alta viscosidad.

2.2.3. La SAN-G APU.

La **SAN-G APU** es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante.

La **SAN-G APU** puede ser sensibilizada en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros con la solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO, también puede ser sensibilizada con ANFO en diferentes proporciones y ser gasificada.

La **SAN-G APU** se ha diseñado especialmente para ser usado en minería superficial en macizos rocosos cuya temperatura esté comprendida entre 0 °C y 40 °C.

La **SAN-G APU** es cargada por camiones fábrica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. que a diferencia de las unidades convencionales que cargan ANFO pesado, están provistos de un sistema de gasificación de la emulsión matriz, constituido por una unidad de programación lógica (PLC) que permite programar la cantidad de emulsión matriz, solución gasificante y agua a dosificar; así como controlar en tiempo real la temperatura del agente y la presión de bombeo. Posee un sistema de seguridad que detiene automáticamente el proceso de bombeo y gasificación cuando la presión de la bomba de trabajo alcanza 160 psi.

La **SAN-G APU** es cargado mediante los camiones fabrica con el sistema bombéale hacia el interior de los taladros. Una vez cargado los taladros se deja

esponjar unos 20 minutos para la colocación del “taco” en el taladro. Entre las ventajas de usar la **SAN-G APU** se tiene:

- Puede utilizarse en terrenos secos, húmedos o inundados y con rocas de diferente dureza.
- Al cargar los taladros, las columnas explosivas se acoplan por completo, desarrollando con dicha condición toda la energía que se deposita en ellas.
- Su uso representa un trabajo seguro, toda vez que la emulsión matriz se sensibiliza al final de la unidad mecanizada; vale decir que se trata de un producto no explosivo antes de ingresar en los taladros.
- Puede ser cargado a diferentes densidades y energías, para cumplir siempre con el objetivo de producir una buena fragmentación y mejorar la productividad desde la mina, chancadora primaria y hasta su molienda en la planta concentradora.
- Por su alto poder rompedor es posible ampliar las mallas de perforación y de reducir los costos involucrados.
- Permite reducir el tiempo del carguío por su practicidad.

Transporte: La **SAN-G APU** es transportada de las plantas de producción de emulsión SAN-G APU de la planta de Chancay y Salaverry en cisternas de la empresa ATLANTIC a mina para luego ser descargadas en la mina en los silos ubicadas en el polvorín (propiedad de la mina Antamina).

Presentación: La **SAN-G APU** es presentada a granel y transportada en forma segura en camiones cisternas. (Famesa, 2019).

Tabla N° 4: Características técnicas.

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

Fuente: Famesa, 2019

2.2.4. Sensibilización y gasificación de la SAN-G APU

La sensibilización de la mezcla se da mediante la generación de burbujas de gas por la adición de un agente gasificante, siendo en este caso el nitrito de sodio (NaNO₂). Esta sustancia química reacciona con el nitrato de amonio (NH₄NO₃), generando pequeñas burbujas de gas nitrógeno. A continuación, se muestra la reacción química que ocurre:

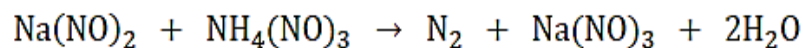
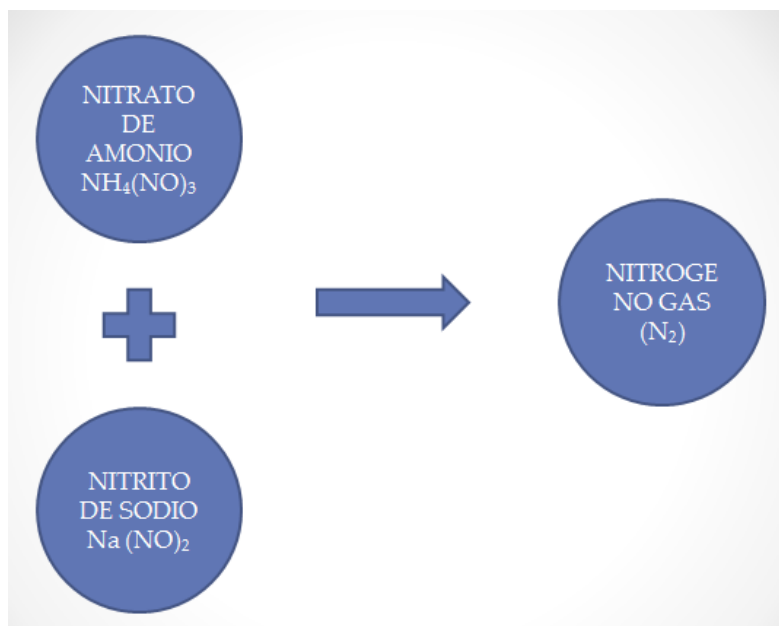


Diagrama 02. Reacción de gasificación de la emulsión gasificable



Fuente: Wilson Vilela, 2012

2.2.5. Solución gasificante.

Es un agente sensibilizante constituido por una solución acuosa de sales oxidantes químicamente balanceada de naturaleza iónica, es inerte “no detonable” que se mezcla in situ en diferentes proporciones con la emulsión SAN-G APU gasificable antes de su carguío en los taladros produciendo una mezcla homogénea de menor densidad. Sus características se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 05. Características de la solución gasificante

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

Fuente Famesa

Figura N° 27: Presentación en tote bin y cilindro de la solución gasificante



Fuente: Famesa.

2.2.6. Factores que afectan la gasificación

a) Solución gasificante.

La mayor o menor adición de la solución gasificante hará que la gasificación varíe y por ende la densidad. A mayor inyección el esponjamiento obtenido será mayor pero las propiedades de energía y velocidad de detonación disminuirán proporcionalmente.

b) Temperatura

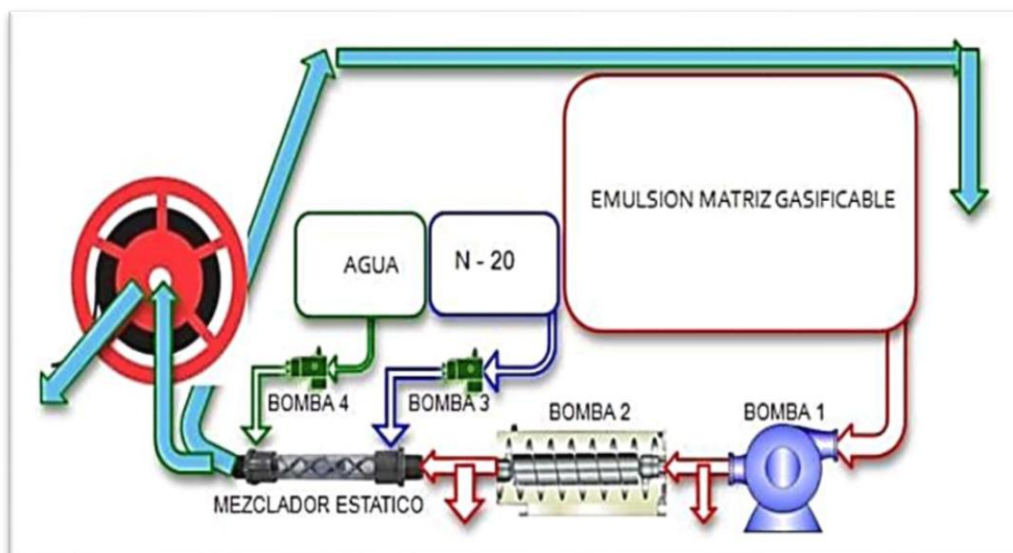
La temperatura es un factor que influencia directamente a la gasificación. A mayor temperatura se necesitará menor inyección de solución gasificante para obtener la densidad deseada y esto ocurre inversamente a menor temperatura.

2.2.7. Fabricación de la emulsión SAN-G APU 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.

Diagrama 01. Fabricación de emulsión gasificable



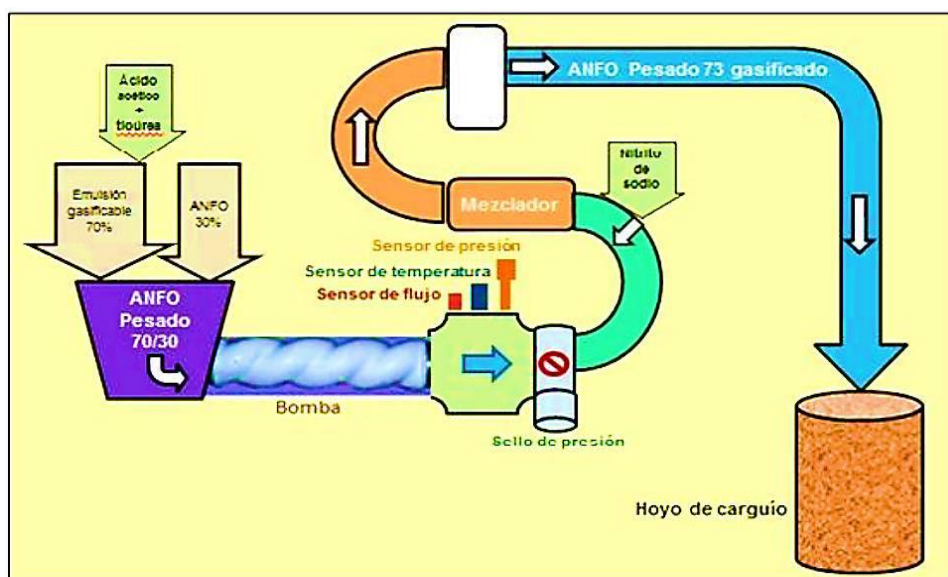
Fuente: Famesa

Como se muestra en el diagrama 01, la emulsión gasificable es bombeada desde su compartimento hasta un mezclador estático donde se dosifica la solución gasificante y se combinan homogéneamente. Luego se procede a agregar un porcentaje de agua con el fin de liberar presión en la última bomba que bombea el producto hacia el taladro.

2.2.8. Anfo pesado gasificable

El proceso de gasificación del ANFO Pesado consiste en sustituir en su composición la emulsión matriz por una emulsión gasificable, y la adición de la solución gasificante para formar pequeñas burbujas las cuales actúan en forma de hot spots adicionales a los que proporcionan los prills del ANFO. Esta gasificación hace que las propiedades referidas a VOD, potencia y energía se vean incrementado en comparación a un ANFO pesado 73 convencional.

Diagrama 02. Proceso de fabricación de ANFO pesado 73 Gasificable



Fuente: Famesa

El diagrama 02 nos muestra el proceso de fabricación del ANFO pesado 73 gasificable en el camión fabrica, donde primero se realiza la fabricación del ANFO pesado 73 a base de emulsión gasificable para luego agregar la solución gasificable, los cuales pasan por un mezclador que da como resultado un producto homogéneo que va directo al taladro.

2.3. VARIABLES EN EL PROCESO DE TRITURACION DE LA ROCA

2.3.1. 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 (μ), el módulo de elasticidad de Young (E), el módulo de rigidez (G), la constante de Lamé (λ), etc.

2.3.2. Variables controlables

- Variables geométricas: Entre ellas se tiene:
 - a. Burden (B)
 - b. Diámetro de taladro (BHF)
 - c. Espaciamiento (S)
 - d. Longitud de carga (BHL)
 - e. Sobre perforación (S/D)
 - f. Taco (ST)
 - g. Altura de banco (BH)
 - h. Profundidad de taladro (BHD), etc.
- Variables físico-químicas:
 - a. Tipo de mezcla explosiva
 - b. Densidad de la mezcla explosiva (ρ_1)
 - c. Parámetros del explosivo
- Variables de tiempo: tipos y tiempos de retardo, tipos de secuencia de salida, etc.
- Variables operativas: fragmentación requerida

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. El Problema.

En la minería superficial la perforación y voladura de rocas es una actividad crítica que presenta problemas derivados de desviación de taladros, que deriva en una mala fragmentación con presencia de bolonería, mayor a la planificada por ingeniería mina, este parámetro debe ser muy controlado por que incide en la elevación de costos tanto de transporte y de la voladura secundaria, chancado y estabilidad de los taludes. Por la fuerte demanda del Anfo surge la necesidad de reducir costos de la voladura con mezclas explosivas usando emulsión gasificada SAN-G APU. Que por sus características técnicas que ofrece, al poder trabajar bajo cualquier condición geológica y para mejorar la fragmentación, con mínima o nula presencia de gases nitroso y bajo costos en US\$/Tm – Fragmentada es viable su empleo en la voladura para garantizar un costo óptimo de fragmentación del mineral como de la roca de acuerdo al KPI establecido por la Mina. También para minimizar la generación de gases nitrosos (humo naranja) y mantener y/o mejorar el VOD actual para asegurar una alta presión de detonación de la mezcla explosiva

3.1.1. Descripción de la realidad.

La presencia de gases nitrosos post-voladura, la fragmentación deficiente con presencia de bolonería, el deficiente balance de oxígeno, en la mezcla explosiva, con un bajo poder rompedor y energía de la mezcla explosiva. La utilización de una nueva mezcla explosiva, con mayor VOD, mejora la fragmentación, mínima o nula emisión de gases y un bajo costo.

En la presente tesis, se plantea resolver estos problemas, aplicando técnicas de voladura conocidas. El análisis de resultados de la fragmentación de rocas y minerales, se realizan sobre una comparación entre el modelo actual y los modelos propuestos basados en el empleo de mezclas explosivas usando emulsión gasificada SAN-G APU, para mejorar la fragmentación en la compañía minera Antamina S.A., en el año 2018.

3.1.2. Identificación y selección del problema.

La fragmentación de rocas y minerales producto de la voladura no es adecuada porque presenta la presencia de bolonería, que incrementa los costos de voladura secundaria.

3.1.3. Formulación del Problema.

3.1.3.1. Formulación del problema General:

¿Cómo el empleo de mezclas explosivas usando emulsión gasificada SAN-G APU mejorara la fragmentación de rocas y minerales en la fase 8 de la minera Antamina año 2018?

3.1.4. Objetivos de la investigación.

3.1.4.1. Objetivo General.

Realizar la voladura de rocas y minerales con mezclas explosivas empleando emulsión gasificada SAN-G APU, para mejorar la fragmentación en la minera Antamina año 2018.

3.1.4.2. Objetivos Específicos.

1. Mejorar la fragmentación de la roca tanto estéril y mineral de acuerdo al KPI establecido por la Minera.
2. Mantener y/o mejorar el VOD actual para asegurar una alta presión de detonación de la mezcla explosiva.

3.1.5. Justificación e importancia.

La voladura con mezclas usando empleo de emulsión gasificada SAN-G APU para mejorar la fragmentación en la fase 8 de la mina Antamina año 2018, que por sus características técnicas y propiedades hacen una mezcla explosiva de mayor calidad y rendimiento en términos de velocidad de detonación, mejora la fragmentación y que, al mismo tiempo, maximiza la productividad en el proceso con un menor costo de operación en US\$/Tm – Fragmentada.

Asimismo, es un producto eco-amigable ya que al poseer un mejor balance de oxígeno la presencia de gases nitrosos post-voladura es mínima o nula, teniendo así un cuidado del medio ambiente en las zonas de influencia de la operación minera. Al reemplazar la utilización de ANFO pesado 73 gasificado por la emulsión APU, se elimina la utilización del ANFO y por consecuencia el costo de fabricación del mismo.

3.1.6. Alcances.

Todas las áreas de extracción de rocas estéril y minerales propuestas por la minera.

3.1.7. Limitaciones.

Una de las limitaciones fue el poco acceso a la información porque son pruebas muy costosas.

3.2. Hipótesis.

3.2.1. Hipótesis General.

El empleo de emulsión gasificada SAN-G APU mejorara la fragmentación en la fase 8 de la mina Antamina año 2018.

3.2.2. Hipótesis Específicas.

1. Se mantendrá y/o mejorará la fragmentación de la roca y mineral de acuerdo al KPI establecido por la Minera.
2. Se minimizará y/o eliminará la generación de gases nitrosos (humos naranjas) productos del proceso de voladura.
3. Se mantendrá y/o mejorará el VOD actual para asegurar una alta presión de detonación de la mezcla explosiva para mejorar la fragmentación.

3.3. Variables.

Variable Independiente (x):

Empleo de emulsión gasificada SAN-G APU.

Variable dependiente (y):

Mejorar la fragmentación en la fase 8 de la mina Antamina en el año 2018.

3.3.1. Operacionalización de variables.

Tabla N° 5: Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente	Empleo de mezclas explosivas usando emulsión gasificada SAN-G APU.	Propiedades físico mecánicas del macizo rocoso. Propiedades y características de la emulsión APU. Diseño de malla de perforación y voladura.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocidad de detonación del explosivo ▪ Presencia de gases nitrosos ▪ Factor de carga, factor de potencia ▪ Costos.
		Geología estructural	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Densidad de la roca. ▪ Discontinuidades Condición de las discontinuidades (Apertura, relleno y alteración)
		Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presencia de agua
Variable dependiente	Mejorar la fragmentación en la fase 8 de la mina Antamina año 2018.	Diseño de carga explosiva.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fragmentación de roca.

Fuente: Adaptación propia.

3.4. Diseño de la investigación.

3.4.1. Tipo de investigación.

El tipo de estudio es descriptivo donde se evaluó el grado de fragmentación que se obtiene después de post voladura.

3.4.2. Nivel de la investigación.

El nivel será de investigación descriptiva.

3.4.3. Método.

Se empleará el método deductivo donde el proceso de los conocimientos se inicia por la observación de fenómenos de carácter general con el propósito de llegar a conclusiones particulares contenidos explícitamente en la situación general.

3.4.4. Población y muestra.

Población

La población está constituida por todos bancos donde se realizarán la voladura de minerales y rocas del tajo de la compañía minera Antamina en el año 2018.

Muestra

Serán las pruebas 01 y 02 realizados en los bancos de producción de mineral tajo de la compañía minera Antamina en el año 2018.

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Se establecieron cuatro parámetros de medición que fueron comparados con los establecidos por la minera, y con ello se determinó la calidad del explosivo y de la voladura en general.

- Velocidad de detonación.
- Fragmentación
- Factor de carga
- Gases nitrosos

Cada parámetro ha tenido un procedimiento de medición específico para que los ensayos sean representativos y fiables.

- **Velocidad de detonación:** Se utilizó el equipo Micro Trap para medir la velocidad de detonación (VOD) de la mezcla explosiva en taladros de producción. El método consiste en medir la disminución de la resistencia de un circuito, a medida que el frente de detonación consume un cable resistivo. Esto se logra mediante la instalación de un cable de resistencia continuo (cable resistivo) cuya resistencia lineal es conocida (para este caso 10,8 ohm/m). El cable se adhiere al Booster o iniciador y se extiende a lo largo de la columna explosiva. A medida que el frente de detonación del explosivo consume el cable resistivo, la resistencia del corto circuito disminuirá en proporción a la reducción del largo del cable. De esta manera el Micro Trap registra la disminución resultante del homenaje en comparación con el tiempo. El software convierte los datos registrados en un gráfico de distancia versus tiempo, como se muestra en la Figura 26. La gradiente de este gráfico es la velocidad de detonación.
- **Fragmentación:** Se utilizó el equipo “Porta Metrics”, que es una tableta robusta para apuntar y disparar que proporciona un análisis de fragmentación casi instantáneo de la escena deseada sin la necesidad de ningún objeto de escala de referencia. Con tres cámaras de alta resolución compiladas en un paquete industrial robusto y completo con una pantalla táctil amigable con los guantes, Porta Metrics es capaz de capturar y procesar imágenes en cualquier entorno de minería. Los usuarios pueden seleccionar fácilmente su región de interés, capturar una imagen y mostrar los resultados al instante en una interfaz gráfica de usuario

intuitiva. Este dispositivo de apuntar y disparar incluye capacidades de corrección manual para ajustar las imágenes y realizar ajustes si es necesario.

- **Factor de carga y factor de potencia:** Para hallar el factor de carga se utilizó la densidad de carga lineal de cada mezcla explosiva, tanto del ANFO pesa 73 gasificado como de la emulsión APU. Para ello se empleó la siguiente fórmula:

$$DL = \rho_{\epsilon} \times \phi^2 \times 0.507$$

Donde:

ρ_{ϵ} : Densidad del explosivo (g/cc)

ϕ : Diámetro del taladro (pulgadas)

Una vez hallado la densidad lineal se multiplica por la altura de la columna explosiva y se obtendrá la cantidad de explosivo utilizado para cargar un taladro. Después se procedió a dividir esta cantidad entre el material roto por taladro con lo cual nos da como resultado el factor de carga. El factor de potencia es el resultado de dividir el factor de carga por la densidad del material.

- **Gases nitrosos:** Se utilizó una cámara fotográfica y/o filmadora para así poder evidenciar la presencia de gases nitrosos. La evaluación fue realizada por el área de diseño mina por el método de observación directa.

Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

- **Observación directa:** Se utilizó esta técnica para el análisis de la presencia de gases nitrosos post-voladura, con la ayuda de la grabación del video y la observación directa en el momento de la voladura.

- **Análisis descriptivo – cuantitativo:** Se utilizó este método para describir cuantitativamente, a través de los reportes, los parámetros de velocidad de detonación, fragmentación y factor de carga.
- **Trabajo de campo:** Este se dio básicamente para tomar las fotos en los frentes de minado que fueron utilizados para el análisis de fragmentación.
- **Trabajo de gabinete:** Realización de los reportes de los monitoreos:
 1. Velocidad de detonación.
 2. Fragmentación.
 3. Calculo del factor de carga y factor de potencia para cada mezcla explosiva.

CAPITULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos.

En la mina Antamina en cuanto a la fragmentación, usando SAN-G se tiene una granulometría igual o mejor que con el tradicional HAVEY ANFO 73, en la mayoría de casos, el P80 se ha reducido entre 10% y 16%.

La emulsión, al ser una mezcla de líquidos inmiscibles, es propensa a ser comprimido, dependiendo de la presión que ejerza el peso sobre la carga explosiva. Se han realizado pruebas en donde se compara la densidad de taza con la densidad promedio de la columna de explosivo calculada a partir del esponjamiento final luego de 20min para taladros de 12 1/4'' de diámetro, altura de carga de 7m y profundidad del taladro de 17m. La presión generada en cada punto dentro de la columna explosiva es igual al resultado de la suma de la presión atmosférica, la presión generada por el taco y la columna explosiva superior al punto en mención.

4.1.1. La emulsión gasificada "SAN-G APU".

La emulsión gasificada "SAN-G APU". La cual no necesita del nitrato de amonio poroso ni del petróleo. Las pruebas que se realizaron en Antamina fue la base para la estandarización logrando reemplazar al Anfo pesado y dando significativos ahorros. Este explosivo basado en emulsión que se sensibiliza mediante un aditivo químico (gasificante); el explosivo alcanza su sensibilidad dentro del taladro de voladura.

Los aspectos más relevantes en comparación con el Anfo Pesado y la emulsión SANG -APU son:

- a. La Alta velocidad de detonación, del orden de 5,600 m/s.
- b. Amplio rango de densidad, desde 0.80 hasta 1.20 gr/cm³.
- c. Inherente resistencia al agua.
- d. Homogeneidad de la sustancia dentro del taladro.
- e. La no producción de gases nitrosos después de la detonación.

Los objetivos de realizar este trabajo de investigación son:

- Mejorar la fragmentación de roca tanto en mineral y desmonte de acuerdo al KPI establecido por la Mina.
- Minimizar y/o eliminar la generación de gases nitrosos (humos naranjas) productos del proceso de voladura en todas las fases de minado.
- Mantener y/o mejorar el VOD actual para asegurar una alta presión de detonación de la mezcla explosiva

Resultados actuales usando APU

Tabla N° 6: Resultados actuales usando APU

Parámetros	4073-30 FASE 8 HA 73G	4373-10 FASE 8 HA 73G	4373-15 FASE 8 SANG PAU	4373-19 FASE 8 SANG APU	4373-23 FASE 8 SANG APU	4373-23 FASE 8 SANG APU
Generación de humos naranjas (0%)	2%	5%	0%	0%	0%	0%
P80 < 30 cm en desmonte (Tipo A, B y C)	32.0(A)	44.4 (C)	20.7 (A)	23.4 (A)	24.6 (C)	21.0 (C)
P80 < 10 cm en desmonte (Tipo M1 y M2)	13 (M1)	12(M1)	7.3(M1)	6(M1)	5.4(M1)	5.7(M2)
P80 < 15 cm en desmonte (Tipo M4, M5 y M6)	17 (M4)	21(M5)	10(M4)	9.6(M5)	11.2(M4)	10.4(M5)
Incremento del 4% del VOD en la mezcla usada actualmente (m/s)	4900	4980	5,750.2	5760	5689	5750

Fuente. El tesista

Características Físicas Emulsión APU

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

(*) Medido en el viscosímetro BROOKFIELD HA DVII a 50 RPM.

(**) Confinado en tubo de PVC de 6 pulgadas de diámetro.

(***) Potencias relativas referidas al ANFO, con potencia convencional de 100.

Tabla N° 7: Parámetros de perforación y voladura para la fase 8

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Burden x espaciamiento	Metros	9.5 x 11
Altura de perforación	Metros	15
Sobre perforación	Metros	2
Diámetro de taladro	pulgadas	12 ¼
Altura de carga	Metros	10
Altura de taco	Metros	7
Densidad del material	Kg/m ³	2.7
Accesorios	-	Booster de 2 lb, detonador

Fuente: Área de perforación y voladura

Línea base – ANFO Pesado 73 Gasificado.

Con la información histórica de los resultados obtenidos de la utilización del ANFO pesado 73 gasificado, se elaboró la línea base. Esta mezcla explosiva tiene una densidad inicial en campo promedio de 1.29 g/cc y una densidad final controlada de 1.10 g/cc después de 20 minutos donde el explosivo tiene su mejor performance en términos de energía y VOD.

Tabla N° 8: Curva de gasificación del ANFO pesado 73 gasificado

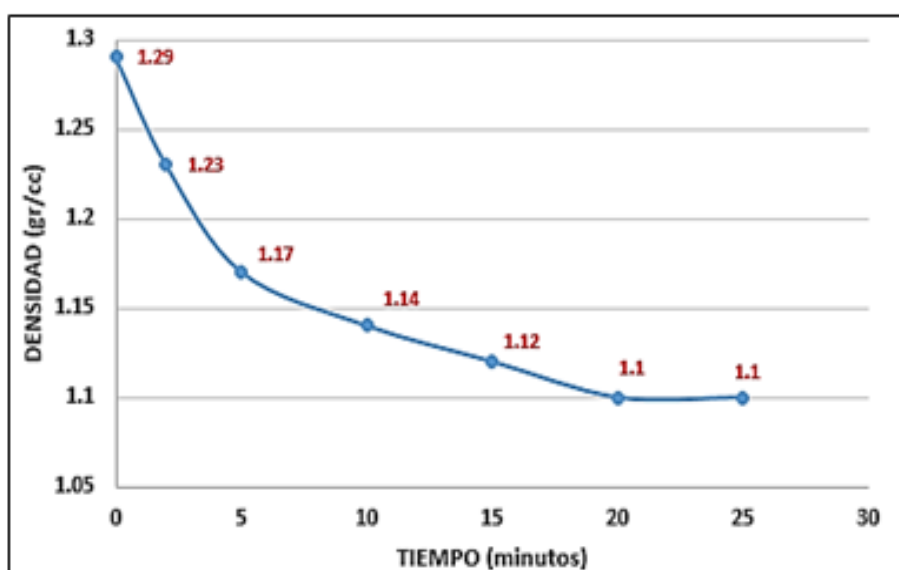


Figura N° 28: Curva de gasificación del ANFO pesado 73 gasificado
Fuente: Asistencia Técnica – Famesa

4.1.2. Pruebas de voladura en Antamina con mezclas explosivas gasificadas usando

Emulsión SAN-G APU

La emulsión SANG APU trabaja eficientemente con el gasificante N30, el cual optimiza el tiempo de gasificación de la mezcla para llegar a la densidad de copa planeada.

Tabla N° 9: Densidad copa planeada

SANG APU- N30	
CAMION	FAM 521
°T MUESTRA	17 °C
% N-30	0.95%
Tiempo (min)	(1) δ (g/cm³)
0	1.312
2	1.252
5	1.198
10	1.138
15	1.112
20	1.109
30	1.107

Fuente:AsistenciaTécnica–Famesa

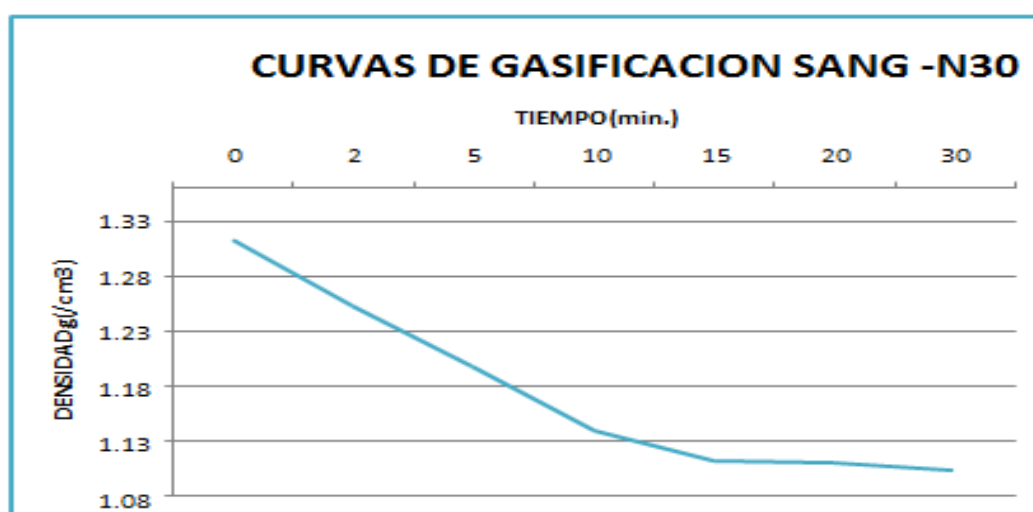


Figura N° 29: Curva de gasificación del SANG APU gasificado

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Prueba 01:

- Fecha de Disparo: 24/12/2018
- Mezcla usada = HA73G
- Kg Promedio = 930
- Esponjamiento = 50 cm
- Tiempo esponjamiento = 30 minutos
- Densidad copa = 1.10 g/cc

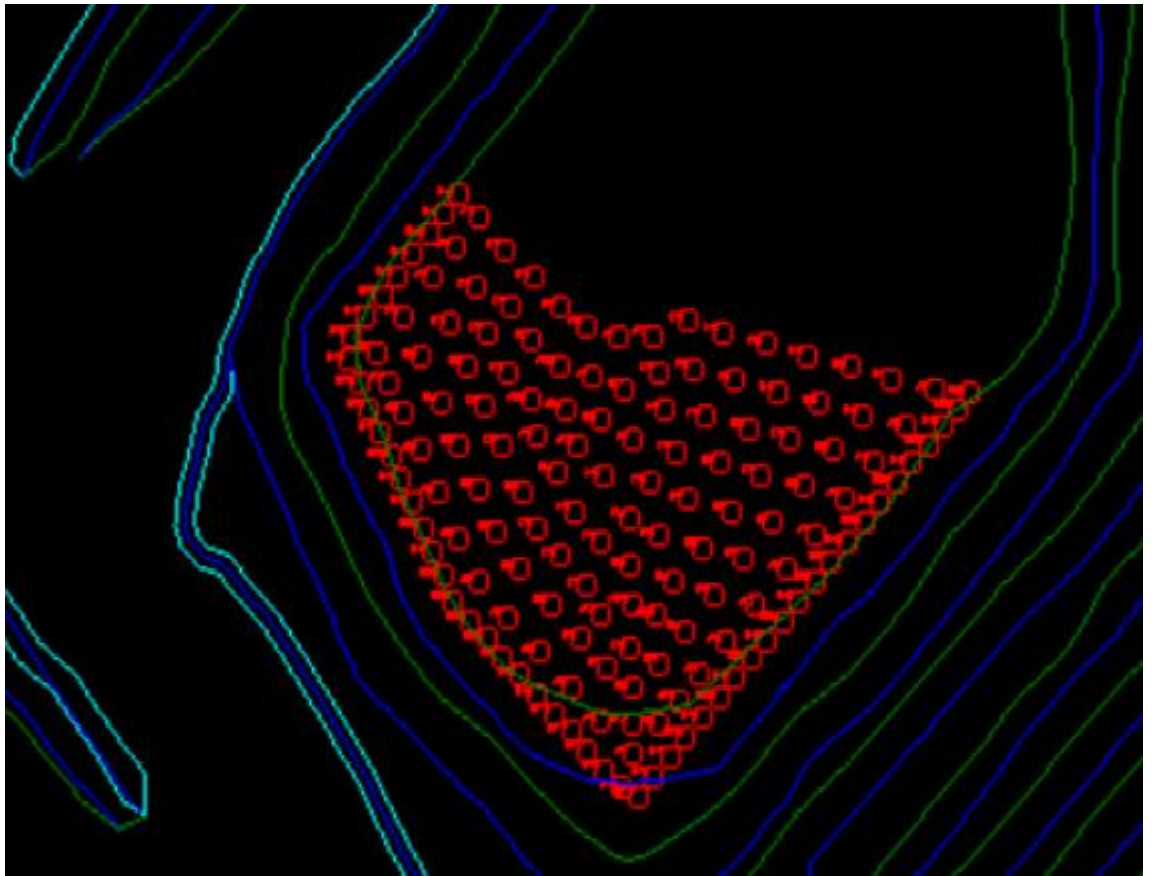


Figura N° 30: Distribución de taladros – malla de perforación.
Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

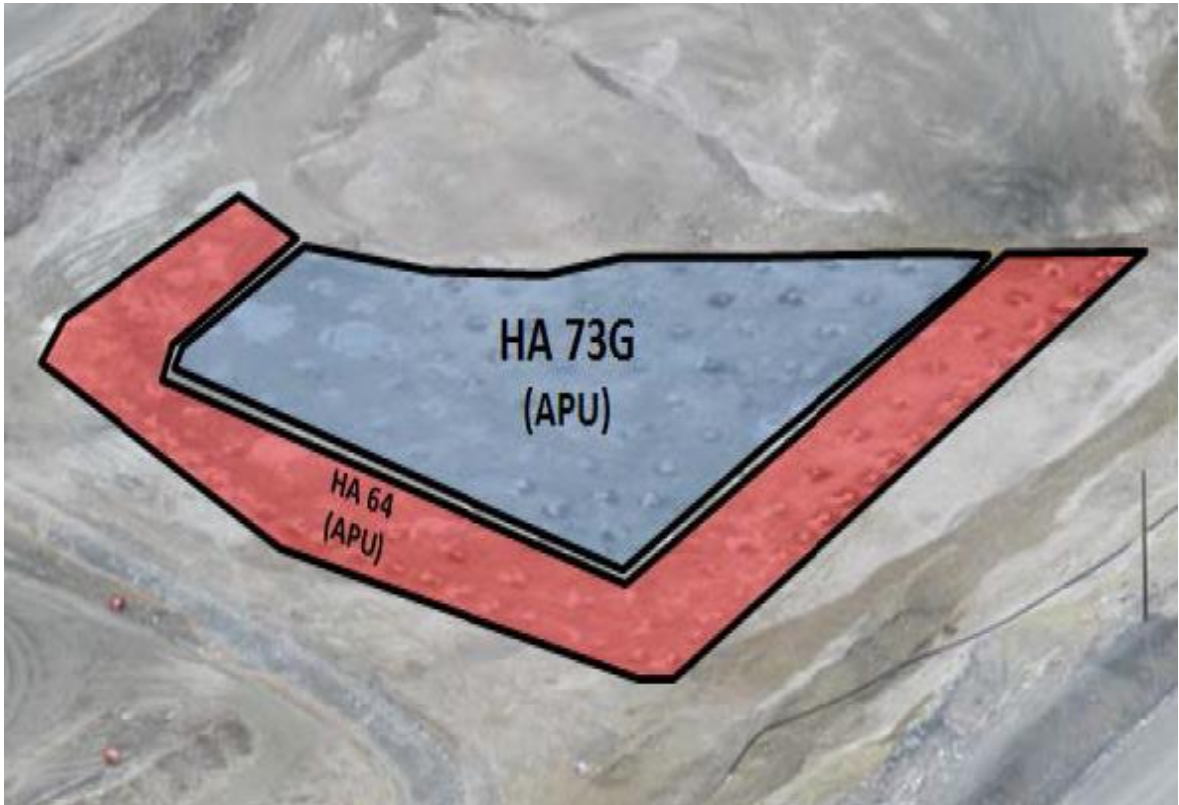


Figura N° 31: Esquema de distribución del explosivo.

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA



Figura N° 32: Secuencia de la voladura de rocas.

Fuente: Asistencia Técnica – FAMES

Prueba 02:

Fecha de Disparo: 01/01/2019

Mezcla usada = SANG APU

Kg Promedio = 930

Esponjamiento = 70 cm

Tiempo esponjamiento = 20 minutos

Densidad copa = 1.10 g/cc.

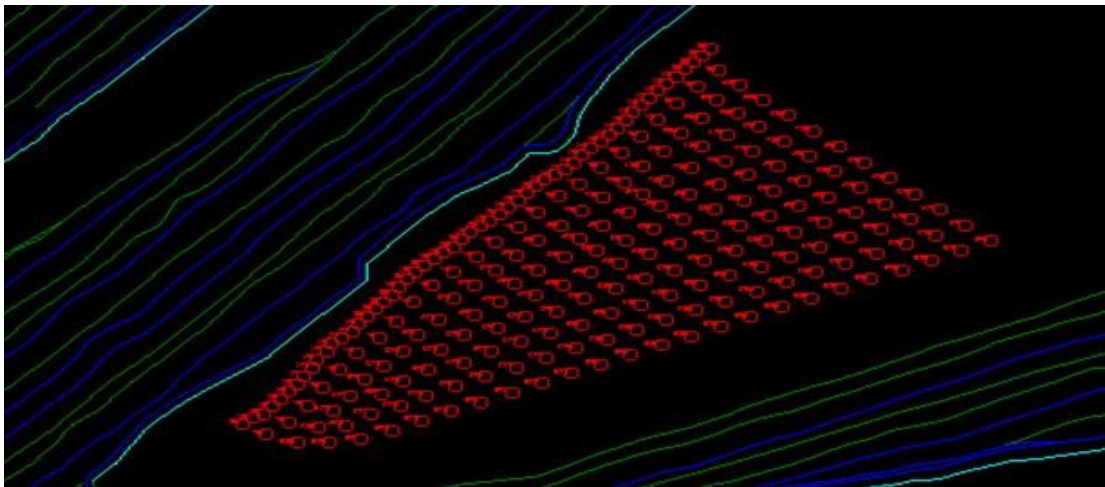


Figura N° 33: Distribución de taladros – malla de perforación.
Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

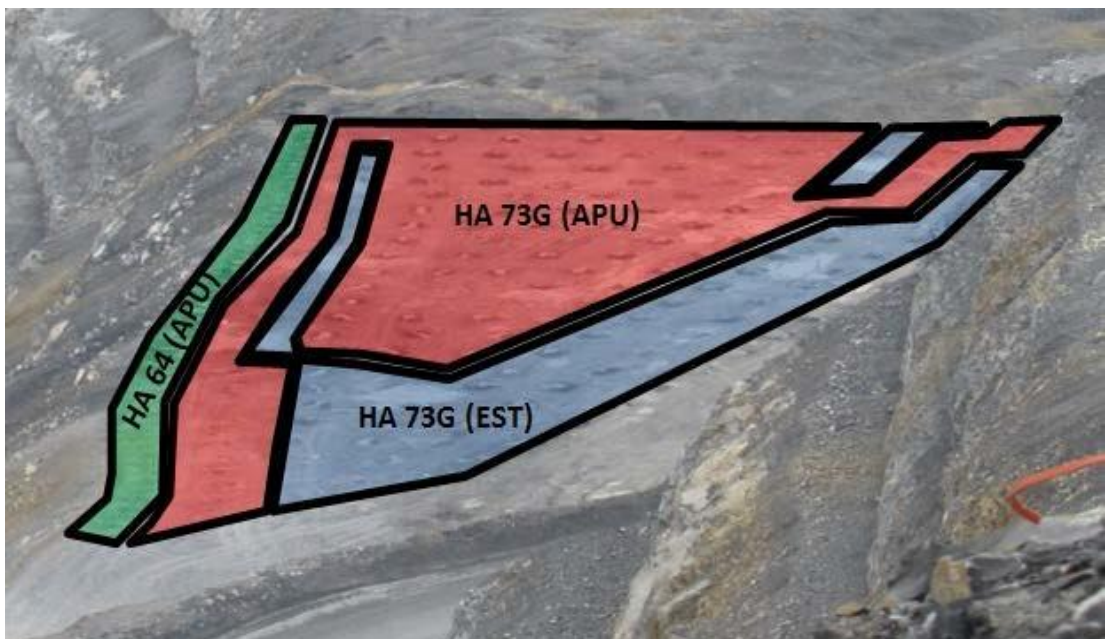


Figura N° 34: Esquema de distribución del explosivo.
Fuente: Asistencia Técnica – Famesa

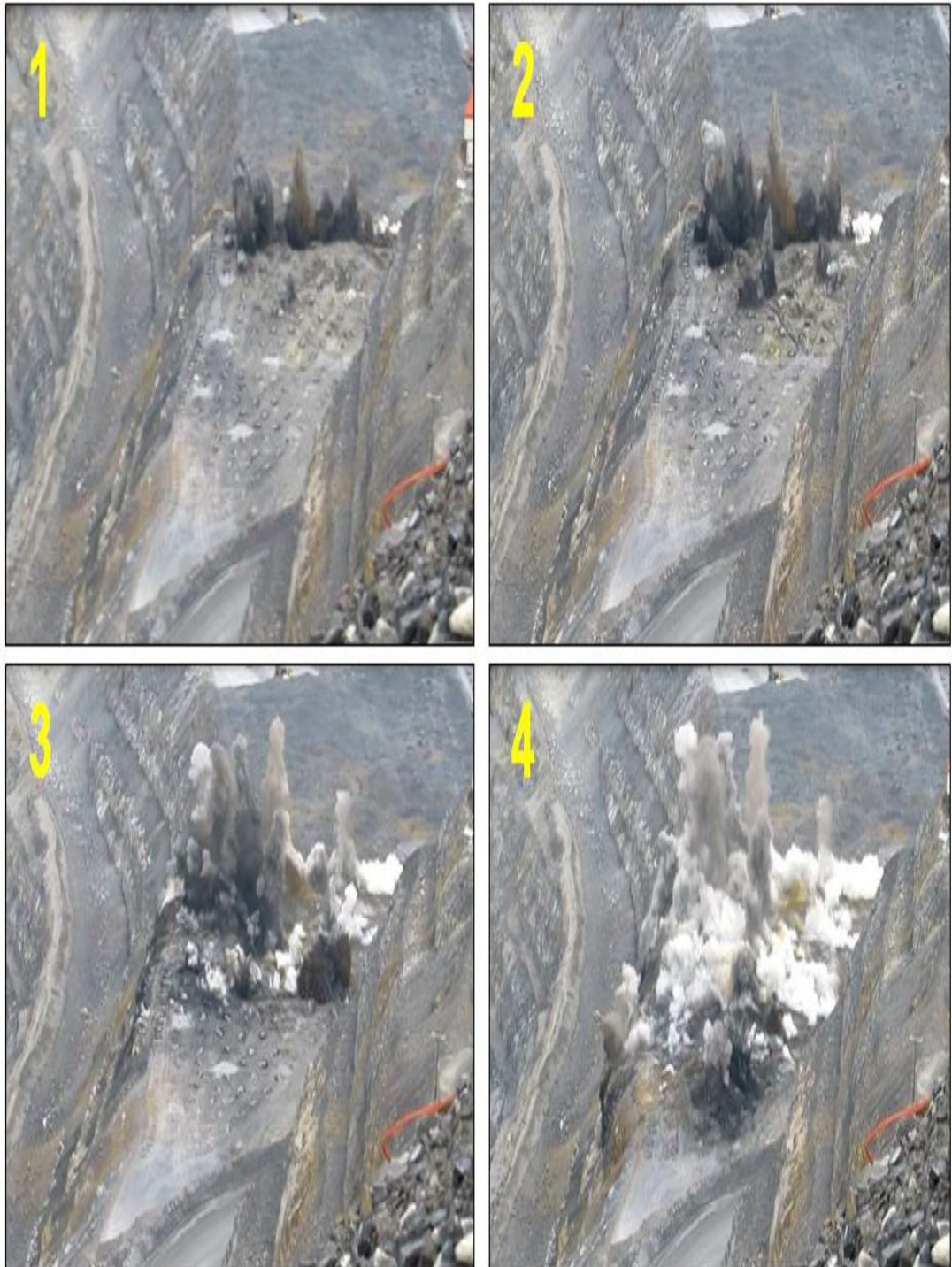


Figura N° 35: Secuencia de la voladura de rocas.
Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

EVALUACION DE LA FRAGMENTACION

Tabla N° 10: Evaluación de la fragmentación HAVEY ANFO 73 GASIFICADO (MINERAL M4B)

FECHA	FASE	MALLA	MATERIAL	B (m.)	S (m.)	D20 (cm.)	D50 (cm.)	D80 (cm.)	D90 (cm.)	Xmax. (cm.)	TIPO DE EXPLOSIVO	ZONA DE FOTOGRAFIA	EQUIPO
23-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	9.0	10.35	10.30	15.60	22.10	26.60	30.90	HA 73G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
24-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	9.0	10.35	9.80	15.60	24.80	30.40	44.40	HA 73G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
25-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	9.0	10.35	8.80	13.30	19.80	22.50	29.40	HA 73G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
26-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	9.0	10.35	8.30	12.80	18.80	23.50	33.70	HA 73G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
27-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	9.0	10.35	9.90	15.50	21.20	23.50	35.60	HA 73G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
PROMEDIO						9.42	14.56	21.34	25.30	34.80			

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Tabla N° 11: Evaluación de la fragmentación EMULSION GASIFICADA SAN-G APU (MINERAL M4B)

FECHA	FASE	MALLA	MATERIAL	B (m.)	S (m.)	D20 (cm.)	D50 (cm.)	D80 (cm.)	D90 (cm.)	Xmax. (cm.)	TIPO DE EXPLOSIVO	ZONA DE FOTOGRAFIA	EQUIPO
28-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	6.4	7.3	5.90	9.60	16.10	18.60	24.70	SAN G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
30-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	6.4	7.3	2.30	5.50	10.70	12.60	20.40	SAN G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
31-ene	8	8-NP-4358-07	M4B	6.4	7.3	1.50	3.70	8.00	11.70	21.30	SAN G (APU)	PRODUCCION	PALA 06
PROMEDIO						3.23	6.27	11.60	14.30	22.13			

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Prueba 1:

- FECHA DE ANÁLISIS : 22/01/2019
- PROYECTO: 8-NP-4073-16
- EQUIPO : PALA 08
- MATERIAL : M4B
- TIPO DE EXPLOSIVO : SAN-G APU



Figura N° 36: Granulometría en el banco.
Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

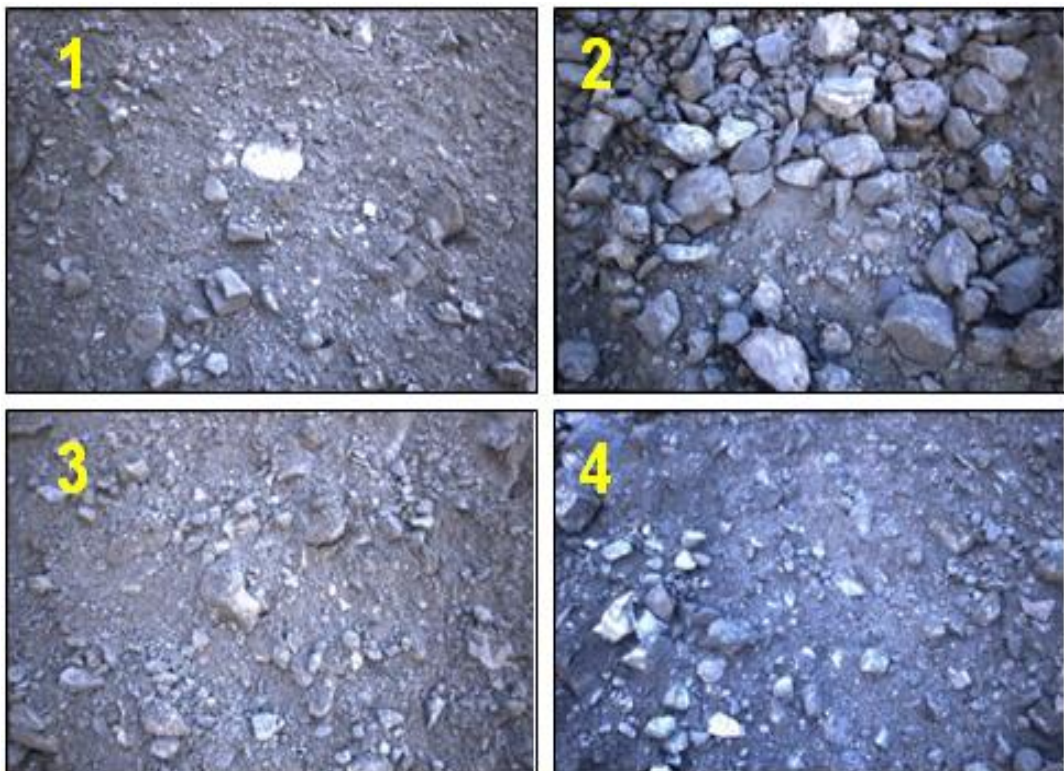


Figura N° 37: Tipos de granulometría.
Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

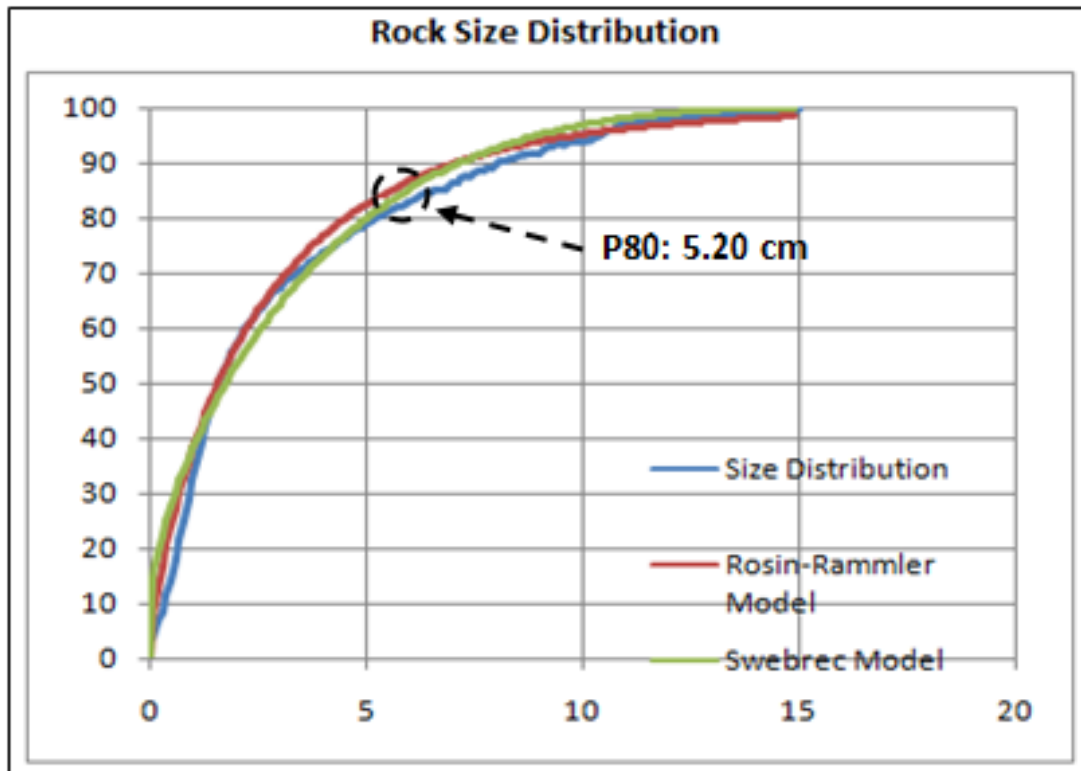


Figura N° 38: Distribución de acuerdo al tamaño..
 Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Tabla N° 12: Evaluación de la fragmentación 1

P-Values:

P10	0.40 cm
P20	0.70 cm
P30	1.00 cm
P40	1.30 cm
P50	1.70 cm
P60	2.30 cm
P70	3.40 cm
P80	5.20 cm
P90	8.10 cm
P100	15.00 cm

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Prueba 2:

- FECHA DE ANÁLISIS : 27/11/2018
- PROYECTO: 8-NP-4073-30
- EQUIPO : PALA 08
- MATERIAL : M1
- TIPO DE EXPLOSIVO : SANG APU



Figura N° 39: Granulometría en el banco.

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA



Figura N° 40: Tipos de granulometría.

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

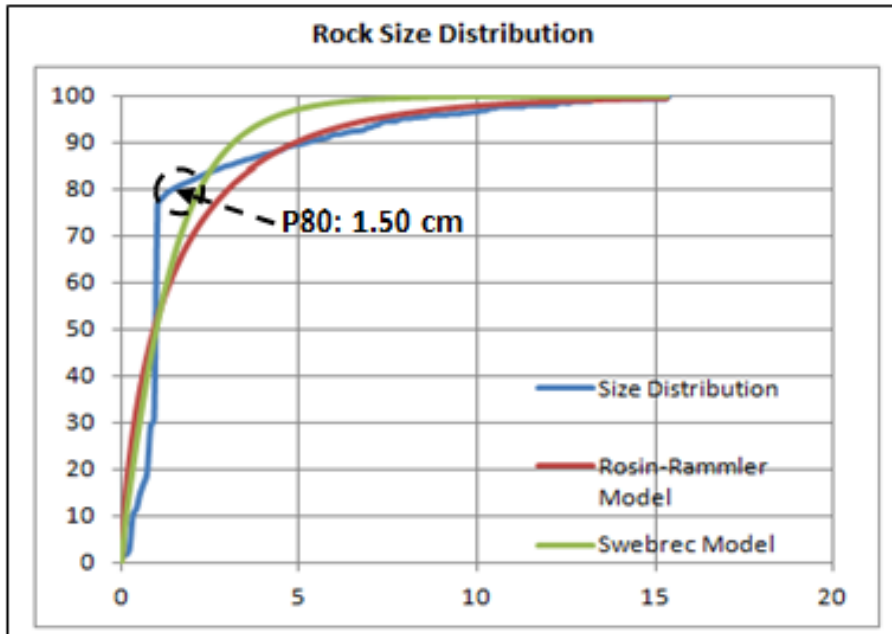


Figura N° 41: Distribución de acuerdo al tamaño.
Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Tabla N° 13: Evaluación de la fragmentación 2

P-Values:

P10	0.40 cm
P20	0.80 cm
P30	0.90 cm
P40	1.00 cm
P50	1.00 cm
P60	1.00 cm
P70	1.00 cm
P80	1.50 cm
P90	5.20 cm
P100	15.40 cm

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Tabla N° 14: Medición de VOD (SANG STD)

Descripción	Valores
Dens. Inicial	1.31 g/cc
Dens. Final	1.10 g/cc
Tiempo esponj.	20 min
Long. Carga Ini.	8.6 m
Long. Carga Fin.	8.1 m
Esponjamiento	0.5 m
Kg. Explosivo	900 Kg
Mezcla Explosivo	HA 73G
VOD	5,525 m/s

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

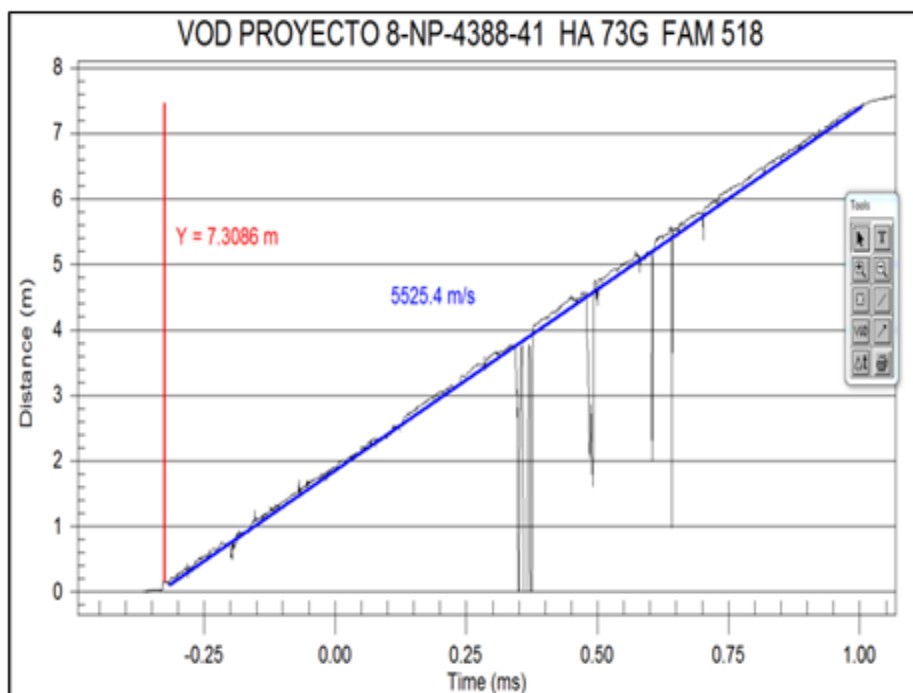


Figura N° 42: VOD.

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Tabla N° 15: Medición de VOD (SANG APU)

Descripción	Valores
Dens. Inicial	1.32 g/cc
Dens. Final	1.10 g/cc
Tiempo esponj.	20 min
Long. Carga Ini.	8.6 m
Long. Carga Fin.	8.1 m
Esponjamiento	0.5 m
Kg. Explosivo	850 Kg
Mezcla Explosivo	HA 73G
VOD	5,750 m/s

Fuente: Asistencia técnica - Famesa

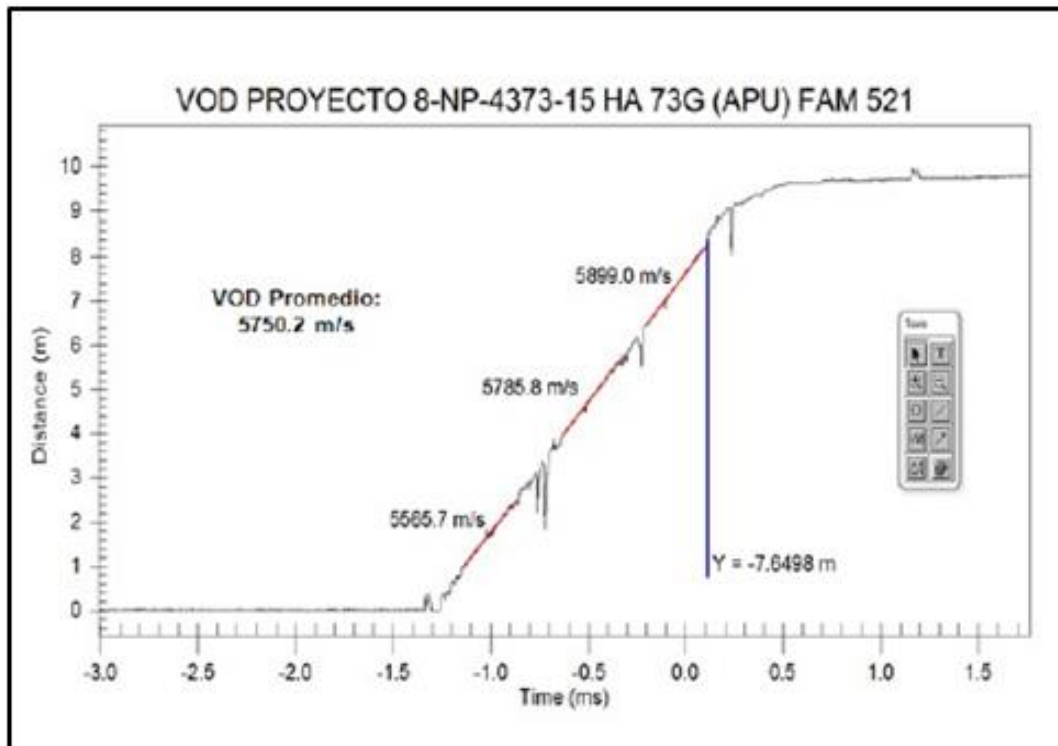


Figura N° 43: VOD.

Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

Beneficios de la SANG APU

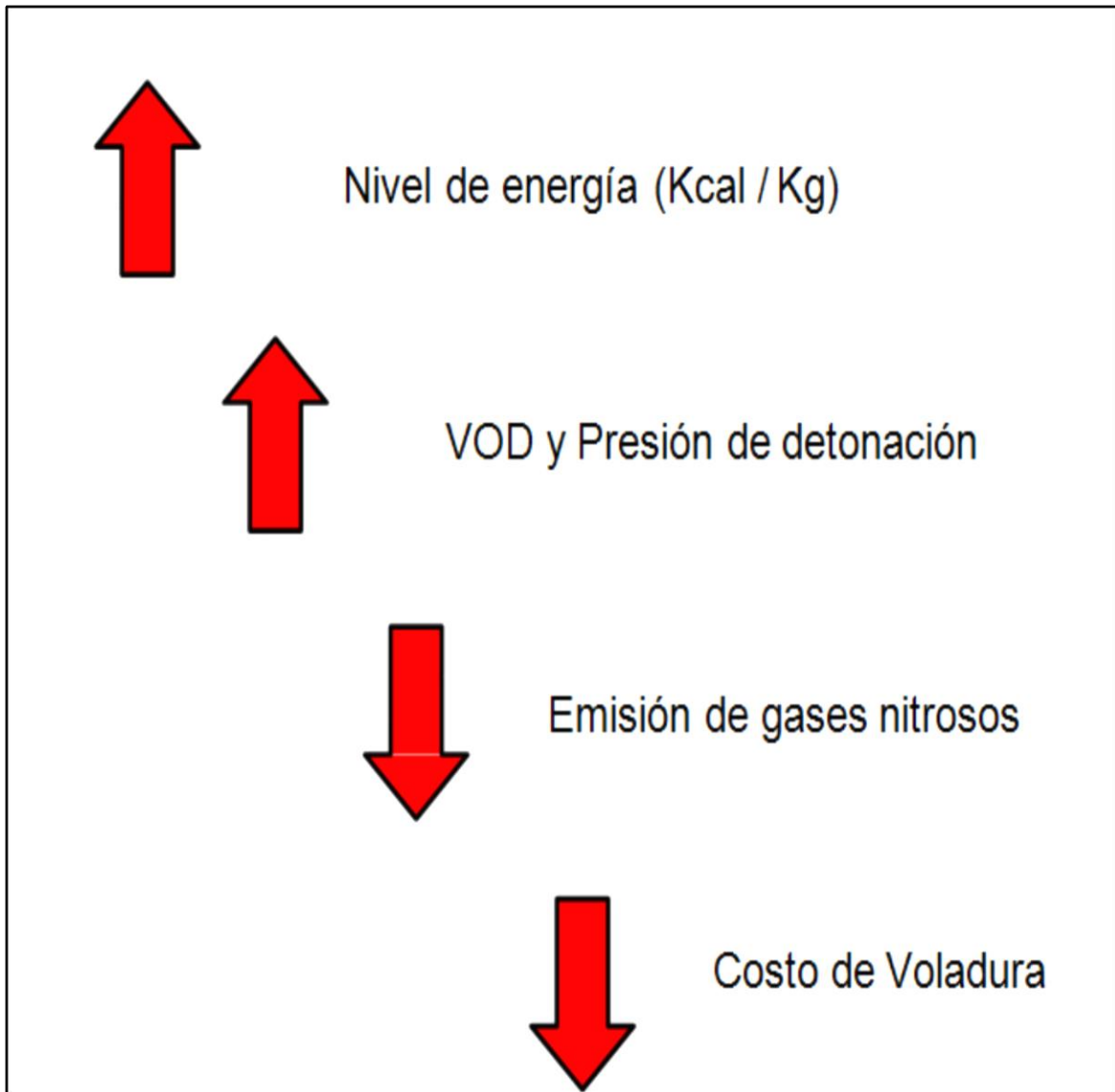


Figura N° 44: Beneficios de la SAN-G APU
Fuente: Asistencia Técnica – FAMESA

4.1.3. Aporte del tesista

- En cuanto a la fragmentación, usando SAN-G APU se tiene una mejor fragmentación que con el tradicional havey anfo 73 gasificado, en la mayoría de casos, el P80 se ha reducido.
- La SAN-G APU es un explosivo con alto VOD, gracias a ello mejoramos la fragmentación de rocas tanto en mineral y desmante.
- La SAN-G es una alternativa más segura. Por eliminar el nitrato de amonio y el combustible diesel, se eliminan también los riesgos de inflamabilidad en los almacenes. Y también al reducir la probabilidad de flyrock.
- Otros aspectos relacionados con el almacenamiento y transporte de una sola sustancia y su gasificante facilita la productividad de las operaciones de voladura.

CONCLUSIONES.

1. Se observó mejoría en la fragmentación post voladura en zonas de desmonte y mineral de un P80= 21.34 cm con el havey anfo 73 gasificado a un P80= 11.60 cm con el explosivo emulsión gasificada SAN-G APU.
2. Se obtuvo un incremento del 3.4% en el VOD, por lo cual se mejora la presión de detonación de la mezcla y se obtiene una mejora en la fragmentación.
3. Se obtuvo una reducción de 33% en el tiempo de esponjamiento usando el nuevo gasificante N-30 con la emulsión APU.
4. La SAN-G APU es un explosivo con alto VOD, gracias a ello mejoramos la fragmentación de rocas tanto en mineral y desmonte.

RECOMENDACIONES

1. Para el uso de la emulsión SAN-G APU se deben realizar monitoreos constantemente como el control de densidad final, control de la inyección de nitrito de sodio, tiempo de esponjamiento y longitud de esponjamiento del explosivo.
2. Se debe realizar el control de calidad de los agentes de voladura cada vez que ingresan a los polvorines, para poder garantizar que estas vienen de acuerdo a las especificaciones técnicas del producto.
3. Establecer mecanismos de control y supervisión post implementación para lograr resultados exitosos constantemente y tener una mejora continua en cuanto a resultados de fragmentación, seguridad y medio ambiente. Uno de estos mecanismos es establecer calibraciones periódicas de camiones fábrica.
4. De acuerdo a los resultados obtenidos con la utilización de la emulsión SAN-G APU, se recomienda a la compañía minera implementar esta nueva mezcla explosiva en sus operaciones, tanto en material estéril como en mineral.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bibliografías citadas:

- Agreda C. (1993). "Curso de Modelización Matemático de la voladura". Lima – Perú.*
- Aguilera & CAMPOS. (2008). "Fragmentación ¿Distribución de tamaños o distribución de distribuciones?", VIII ASIEX. Pucón - Chile.*
- Aler & Du Mouza. (1996). "Measuring fragmentation efficiency of mine blasts", Fragblast 5. Montreal - Canada.*
- Calvin Konya y Enrique Albarrán N. (s.f.). "Manual de Voladura".*
- Castro M. J. y Rodríguez C. J. (2016). Tesis "Reducción de la sobrerotura en el crucero 3910 del nivel 2360 de la mina "PEC" de la CIA. Consorcio Minero Horizonte". Universidad Nacional de Trujillo Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Trujillo – Perú.*
- EXSA, 4th Edición. (s.f.). Manual Práctico de Voladura. 12. catalogo Exsa, Famesa y Explomin. Lima - Perú.*

Referencia web:

- http://www.geoestadistica.com/planeamiento_minado. (2015). Definición de Planeamiento de minado y Tipos. Lima.*
- http://www.revista_seguridad_minera.com. (s.f.). operaciones mineras / parámetros en la voladura de rocas.*
- <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream>. (2017). Metodos de diseño de voladuras*
- <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6367/15/6.METODOS%20DE%20DISE%20C3%91O%20DE%20voladura.pdf> Recuperado 15/12/2017.*

Bibliografías consultada:

Sampieri, H. (1997). Metodología de la investigación. Mexico: editorial Naucalpan de Juárez.

DAY, R. (2005). Cómo escribir y publicar trabajos científicos. Estados Unidos: Editorial NW-Washington.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Matriz de consistencias

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	POBLACION
<p>Problema General ¿La voladura con mezclas explosivas usando emulsión gasificada SAN-G APU, mejorara la fragmentación de rocas y minerales optima en la fase 8 compañía minera Antamina año 2018?</p>	<p>Objetivo General Realizar la voladura de rocas y minerales con mezclas explosivas usando emulsión gasificada SAN-G APU, para mejorar la fragmentación en la fase 8 en la compañía minera Antamina año 2018.</p>	<p>Hipótesis General El empleo de emulsión gasificada SAN-G APU mejorara la fragmentación en la fase 8 de la mina Antamina año 2018.</p>	<p>Tipo El tipo de estudio es descriptivo experimental donde se evaluó el grado de fragmentación que se obtiene después de la voladura es aceptable</p>	<p>Población y Muestra</p> <p>Población La población está constituida por todos bancos donde se realizarán la voladura de minerales y rocas en la fase 8 de la compañía minera Antamina año 2018</p> <p>Muestra Serán las pruebas 01 y 02 realizados en los bancos de producción de mineral en la fase 8 de la compañía minera Antamina año 2018.</p>
<p>Problemas específicos</p>	<p>Objetivos específicos</p>	<p>Hipótesis específicos</p>	<p>Método: Se empleará el método deductivo donde el proceso de los conocimientos se inicia por la observación de fenómenos de carácter general con el propósito de llegar a conclusiones particulares contenidos explícitamente en la situación general.</p>	
<p>¿Cómo mantener y/o mejorar la fragmentación de la roca y mineral de acuerdo al KPI establecido por la Minera?</p>	<p>Mantener y/o mejorar la fragmentación de la roca tanto y mineral de acuerdo al KPI establecido por la Minera.</p>	<p>Se mantendrá y/o mejorara la fragmentación de la roca y mineral de acuerdo al KPI establecido por la Minera..</p>		
<p>¿Cómo minimizar y/o eliminar la generación de gases nitrosos (humos naranjas) productos del proceso de voladura?</p>	<p>Minimizar y/o eliminar la generación de gases nitrosos (humos naranjas) productos del proceso de voladura.</p>	<p>Se minimizara y/o eliminara la generación de gases nitrosos (humos naranjas) productos del proceso de voladura.</p>		
<p>¿Cómo mantener y/o mejorar el VOD actual para asegurar una alta presión de detonación de la mezcla explosiva?</p>	<p>Mantener y/o mejorar el VOD actual para asegurar una alta presión de detonación de la mezcla explosiva.</p>	<p>Se mantendrá y/o mejorara el VOD actual para asegurar una alta presión de detonación de la mezcla explosiva.</p>		

Fuente: El tesista

ANEXO N° 02: Índice de símbolos y abreviaturas

Kuz-Ram	:	Kuznetsov y Rosin-Rammler.
RQD	:	Rock Quality Designation (Roca Calidad Designación).
VP	:	Velocidad de penetración (m/h).
Pt	:	Presión de taladro, en MPa.
ρ_E	:	Densidad del explosivo, en
g/cm^3. VOD	:	Velocidad de detonación.
m/s. E	:	Espaciamiento.
B	:	Burden.
UTM	:	Sistema Universal de coordenadas Transversal de
Mercato. Qbk	:	Concentración de carga de fondo (kg/m).
ANFO	:	Ammonium Nitrate - Fuel Oil (Nitrato de Amonio -
petróleo). Qb	:	Carga de fondo (kg).
Qp	:	Carga de columna (kg).
De	:	Diámetro del cartucho (mm).
SR	:	Radio de Rigidez.
Lc	:	Longitud lineal de carga (m).
Ld	:	Densidad de carga lineal (kg/m).
ρ_e	:	Densidad del explosivo.

- RMR** : Clasificación geomecánica (Rock Mas Rating).
- X50 (cm)** : La longitud de estimación de fragmentación **esperada**. **Q**
(kg)
- D** : Diámetro.
- S** : Separación entre barrenos.
- KPI** : key performance indicator

ANEXO N° 03: Flota de perforación

FLOTA DE PERFORACIÓN



P&H 320XPC
Rotary Drill
2 unidades



CAT MD6640
Rotary Drill
2 unidades



BE 49HR
Rotary Drill
2 unidades



BE 49R-III
Rotary Drill
4 unidades



D75 KS
Rotary Drill
2 unidades



ACL 830
DTH Drill
5 unidades



DPi1500
Top Hammer Drill
1 unidad



DP1500
Top Hammer Drill
1 unidad

ANEXO N° 04: MSDS y hoja técnica



SAN-G® EMULSIÓN MATRIZ

Descripción y composición

La SAN-G® es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante.

La SAN-G® es sensibilizada en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros, mediante la dosificación de una solución gasificante produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO pesado. Una vez cargado los taladros se deja transcurrir unos 20 minutos para la colocación del "tao" en el taladro.

Usos

Se ha diseñado especialmente para ser usado en minería superficial en macizos rocosos cuya temperatura esté comprendida entre 0 °C y 40 °C.

La SAN-G® debe ser cargada por camiones fabrica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. que a diferencia de las unidades convencionales que cargan ANFO pesado, están provistos de un sistema de gasificación de la emulsión matriz, constituido por una unidad de programación lógica (PLC) que permite programar la cantidad de emulsión matriz, solución gasificante y agua a dosificar; así como controlar en tiempo real la temperatura del agente y la presión de bombeo.

Posee un sistema de seguridad que detiene automáticamente el proceso de bombeo y gasificación cuando la presión de la bomba de trabajo alcanza 180 psi.

Entre las ventajas de usar la SAN-G® se tiene:

- Puede utilizarse en terrenos secos, húmedos o inundados y con rocas de diferente dureza.
- Al cargar los taladros, las columnas explosivas se acoplan por completo, desarrollando con dicha condición toda la energía que se deposita en ellas.
- Su uso representa un trabajo seguro, toda vez que la matriz oxidante se sensibiliza al final de la unidad mecanizada; vale decir que se trata de un producto no explosivo antes de ingresar en los taladros.
- Puede ser cargado a diferentes densidades y energías, para cumplir siempre con el objetivo de producir una buena fragmentación y mejorar la productividad desde la mina hasta su molienda en la planta o su disposición en las canchas de lixiviación.
- Por su alto poder rompedor es posible ampliar las plantillas de perforación y de reducir los costos involucrados.
- Permite reducir el tiempo del carguío por su practicidad.

La SAN-G® sensibilizado debe ser iniciado por una prima conformada por un Booster HDP, de un peso concordante con el peso de las columnas explosivas usadas y con un detonador FANEL®.

Características técnicas

	SAN-G®
Densidad relativa de la matriz (g/cm ³)	1,35 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (g/cm ³)	0,90 a 1,20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales * (cP)	13 000
Velocidad de detonación de la matriz sensibilizada ** (m/s)	4 600 a 5 500
Presión de detonación (kbar)	48 a 91
Energía (kcal/kg)	770
Volumen normal de gases (l/kg)	1 020
Potencia relativa en peso *** (%)	70
Potencia relativa en volumen *** (%)	118
Resistencia al agua	Excelente
Categorías de humos	Primera
Diámetro crítico (mm)	76 (3 pulgadas)
Tiempo de espera en el taladro (días)	7

* Medido con BROKFIELD HA DVII A 50 RPM

** Confinado en tubo de 4 pulgadas de diámetro.

*** Potencias relativas referidas al ANFO, con potencia convencional de 100.

Presentación

La SAN-G® es presentada a granel y transportada en forma segura en camiones sistemas.

Transporte

Clase: 5
División: 5.1
N° ONU: 3218



MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO

Los explosivos y accesorios de voladura de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos seguros, pero en todas las etapas se continúan en elementos peligrosos. El etiquetado o cualquier otro cargo con la información por las normas correspondientes, el momento de su transporte, almacenaje y uso, así como entrenar debidamente a todo el personal encargado de su manipuleo.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenaje y uso no indicado que pudiera darse a sus productos. El transporte, almacenamiento, manipuleo y uso debe hacerse en concordancia con las regulaciones y aplicaciones por la autoridad competente. Debe ser almacenado en pavimentos ubicados en zonas seguras, protegidos de la lluvia y el calor, y en concordancia con la lista de compatibilidades agente de la autoridad competente.

ATENCIÓN

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





AGENTES DE VOLADURA

SOLUCIÓN N-20

EMULSIÓN MATRIZ

Descripción y composición

La Solución N-20 es un agente sensibilizante constituido por una solución acuosa de sales oxidantes químicamente balanceada de naturaleza iónica, es inerte "no detonable", que se mezcla in situ en diferentes proporciones con la Emulsión matriz SAN-G® y EMULFRAG® antes de su carguío en los taladros produciendo una mezcla explosiva homogénea de menor densidad en el interior de los taladros para aplicaciones como agentes de voladura en Minería subterránea y a tajo abierto.

La Temperatura de trabajo de la Solución N-20 es de 0°C a 30°C. Si se requiere utilizar fuera de ese rango de temperatura contactarse con el Área de Asistencia técnica de Famesa Explosivos.

Características técnicas

SOLUCIÓN N-20

Aspecto Físico	Líquido acuoso
Color	Azul de tonalidad variable
Densidad a 20 °C (g/cm ³)	1,12
pH	5,2

Presentación

La SOLUCIÓN N-20 no presenta riesgos en su manipulación, se debe almacenar bajo techo, a la sombra y en empaque original por debajo de 30 °C.

	Material	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
Cilindro	Plástico	200,0	208,0	ø 58,5 x 90,8
Tote bin	Plástico	900,0	930,0	120,0 x 100,0 x 116,0

Transporte

Clase : 5
División : 5.1
N° ONU : 3139



MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO

Los explosivos y reactivos de voladura de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos seguros, pero en manos incorrectas se constituyen en elementos peligrosos. El adquirente o usuario debe cumplir con lo establecido por las normas correspondientes, el momento de su transporte, almacenaje y uso, así como entrenar debidamente a todo el personal encargado de su manejo.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenaje y/o uso inadecuado que pudiera darse a sus productos. El transporte, almacenamiento, manejo y uso debe hacerse en concordancia con las regulaciones y aprobaciones por la autoridad competente. Debe ser almacenado en polígonos ubicados en zonas seguras, protegidos de la lluvia y el calor, y en concordancia con la tabla de compatibilidad vigente de la autoridad competente.

ATENCIÓN

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



ANEXO N° 05: Panel fotográfico



Fotografía N° 1: Perforación en la mina Antamina fase 8



Fotografía N° 2 almacén de nitrato



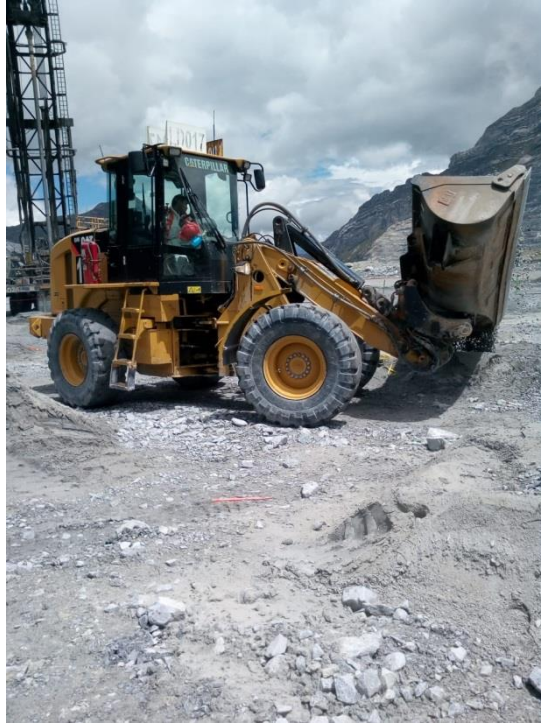
Fotografía N° 3 accesorios de voladura - mina Antamina fase 8



Fotografía N° 5 carguio de taladros - mina Antamina fase 8



Fotografía N° 8: Medición de la densidad en campo en la mina Antamina fase 8



Fotografía N° 6 Llenado del taco - mina Antamina fase 8



Fotografía N° 7 voladura - mina Antamina fase



Fotografía N° 8 Carguío con la pala - mina Antamina fase 8



Fotografía N° 9 chancadora y planta concentradora – mina Antamina