



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

INFLUENCIA DE LA EMULSION INHIBIDA TCG  
EN LA REACTIVIDAD DE TERRENOS  
SULFUROSOS EN LA OPERACIÓN DE  
VOLADURA, MINERA YANACOCHA 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. ABEL GUTIERREZ ÑONTOL

Bach. ARMANDO ROBINSON SAMAME VASQUEZ

Asesor:

Ing. ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE

Cajamarca - Perú

2018

## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Elmer Ovidio Luque Luque, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA DE MINAS, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los Bachilleres:

- ABEL GUTIERREZ ÑONTOL
- ARMANDO ROBINSON SAMAME VASQUEZ

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: **INFLUENCIA DE LA EMULSIÓN INHIBIDA TCG EN LA REACTIVIDAD DE TERRENOS SULFUROSOS EN LA OPERACIÓN DE VOLADURA, MINERA YANACOCHA 2018** para aspirar al título profesional de: Ingeniero de Minas por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** a los interesados para su presentación.

---

Ing. ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE  
Asesor

## ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Abel Gutiérrez Ñontol y Armando Robinson Samame Vásquez para aspirar al título profesional con la tesis denominada: **Influencia de la Emulsión Inhibida TCG en la Reactividad de Terrenos Sulfurosos en la Operación de Voladura, Minería Yanacocha 2018**

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

---

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León  
Presidente

---

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán  
Secretario

---

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñon  
Vocal

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien me dio la vida y me acompaña en cada paso que doy, mis padres, a mis hermanos y todas las personas que de forma directa e indirecta aportaron en la realización de la presente tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Privada del Norte que nos formó con el objetivo  
de convertirnos en dignos profesionales y a los Docentes  
de la facultad de Ingeniería de Minas.

## TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS .....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	33
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	40
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	52
RECOMENDACIONES .....	56
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del uso de emulsión inhibidora en la reacción de terrenos...36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Taladros PV.....	33
Figura 2. Disparo voladura en cámara de alta velocidad.....	34
Figura 3. Disparo voladura.....	34
Figura 4. Condiciones de terreno.....	35
Figura 5. Imagen de temperatura de taladros.....	38
Figura 6. Relleno de agua a los taladros (cisterna) y evidencia que el fluido se disipa por las grietas del terreno.....	38
Figura 7. Temperatura vs tiempo de la prueba 1.....	39
Figura 8. Temperatura vs tiempo de la prueba 2.....	39
Figura 9. Monitoreo de reacción (color y gases) temperatura.....	40
Figura 10. Monitoreo de reacción (color y gases) temperatura.....	41
Figura 11. Monitoreo de reacción (color y gases) temperatura al día siguiente (9.a.m.). La apariencia se mantuvo y la T° fue la del ambiente.....	41
Figura 12. Mezcla cutting con emulsión y observación cada hora.....	42
Figura 13. Mezcla cutting con emulsión y observación cada hora.....	42
Figura 14. Mezcla cutting con emulsión y observación cada hora.....	43
Figura 15. Mezcla cutting con emulsión al día siguiente (9.00 a.m.), su apariencia y T° del ambiente.....	43
Figura 16. Resultado de las mezclas.....	44
Figura 17. Mezcla inicial.....	44
Figura 18. Mezcla final.....	45
Figura 19. Temperatura final.....	45



## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo ayudar en el uso seguro de los explosivos en situaciones en las que puede existir un peligro específico adicional debido a la posible reacción no deseada entre un explosivo y la roca que se desea fragmentar. Bajo ciertas situaciones las reacciones no deseadas puedan dar lugar a detonaciones prematuras con resultados fatales, estas reacciones pueden ser por la química de la roca, la temperatura o combinación de ambos. Asimismo, describir sus características de la tecnología Inhibida y determinar que las voladuras realizadas con emulsión inhibida nos den resultados satisfactorios, una buena velocidad de detonación, buena fragmentación y la eliminación de gases nitrosos. La investigación desarrollada es experimental aplicada de tipo correlacional con diseño transversal. En nuestra hipótesis nuestra variable independiente es Influencia de la Emulsión Inhibida y la dependiente es Reactividad en Terrenos Sulfurosos, aplicando la Emulsión Inhibida en una malla mayor a los 150 taladros se presentaron gases nitrosos en 1% de color anaranjado. Con la Emulsión Inhibida realizamos una mezcla explosiva 80/20 es decir 80% de emulsión y 20% de nitrato de amonio la longitud de carga es de 6m obteniendo un factor de potencia de 1332 y su factor de carga es de 0.236 esto es en una malla con un burden de 8m por un espaciamiento de 9m con una altura de banco de 10m, con una densidad de roca de 1.85.

**Palabras clave:** Terrenos sulfurosos, temperatura, mezcla, emulsión inhibida.

## ABSTRACT

The objective of this thesis has as purpose help in the safe use of explosives In situations where they may exist an additional specific danger due to possible un wanted Reaction bet ween an explosive and the rock that you want to fragment under certain situations the un wanted reactions can lead to premature detonations with fatal result these reactions can be by the chemistry of the rock, the temperature or combinations of both like wise describ its characteristics of inhibited technology and determinations that the voladure made with inhibited emulsion gives us results satisfactory a good detonation speed good fragmentation and elimination of nitrous gases the research the veloped is experimental aplicac correlation type with transversal design in out this thesis our independent variable is influence of the inhibited emulsion and the dependent is reactive in land Sulphur's by applying the inhibited emulsion in a larger mesh a hundred and fifty drills' nitrous gases were present in one percent orange . With the inhibited emulsion we perform an explosive mixture eighty twenty is the eighty percent emulsion and twenty percent of ammonium nitrate the loading length is six meters obtaining a power factor zero point to hundred thirty-six this is in a mesh with a burden of eight meters by a spacing of mine meters with a height bank of then meters with bank of then meters with a density of rock one point eighty-five.

Keywords: Sulfurous lands, temperature, mixture, emulsion inhibited.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática:

La voladura de rocas es la parte fundamental en las operaciones mineras su propósito es fragmentar el macizo rocoso. Uno de los factores que afectan en la minería hoy en día es la reactividad de terrenos debido a las altas temperaturas que presentan, El fenómeno ocurre por reacción del nitrato de amonio presente en el explosivo y el sulfato ferroso hidratado generado como producto del desgaste natural de la roca. Minera Yanacocha no es ajena a los inconvenientes por la presencia de sulfuros en la operación. Por tal motivo en busca de la mejora continua Exsa S.A como empresa especializada en la fabricación de explosivos innova y propone un nuevo producto (mezcla explosiva emulsión inhibida) con una mayor energía, mayor sensibilidad para lograr una buena fragmentación, eliminando gases nitrosos y reducir la temperatura en los terrenos sulfurosos para poder realizar el proceso con mayor seguridad evitando una detonación prematura. En Minera Yanacocha se trabaja con varios tipos de mezclas, ya sea por VOD o por sus características de resistencia al agua (EXSA, 2016).

Minera Yanacocha es la productora de oro más grande de América del Sur, situada a gran altura sobre la Cordillera de los Andes Peruanos, a 48 kilómetros (30 millas) al norte de la ciudad de Cajamarca. La misma está compuesta por cinco tajos a cielo abierto, cuatro plataformas de lixiviación y tres plantas de recuperación de oro. Minera Yanacocha (MYSRL), es una mina de extracción de oro a Tajo abierto por

lixiviación de cianuro y a partir del año 2008 cuenta con la Planta de tratamiento para minerales de alta ley, denominada Gold Mill. Actualmente está compuesta por cinco tajos a cielo abierto en operación: Chaquicocha, Yanacocha, El Tapado y Carachugo,

Huamachuco. Así como Maqui Maqui que se encuentra en proceso de cierre y el Tajo San Jose que se convirtió en un activo ambiental transformando el tajo en un reservorio de agua (Ingemmet, 1995).

El Distrito de Yanacocha está centrado en unidades volcánicas intermedias a ácidas del Eoceno al Mioceno conocidas como Complejo del Domo de Flujo Yanacocha. La geología refleja los procesos activos tectónicos y volcánicos de los Andes. En el distrito minero, hubo erupciones de magma con sílice o ácido a lo largo de fallas estructurales, produciendo estructuras de domo en el flujo. Estas composiciones de sílice fueron mineralizadas por soluciones hidrotérmicas ricas en oro y, dado que estas composiciones contienen oro, son el objetivo principal de la extracción. Las rocas contienen predominantemente cuarzo, alunita  $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ , además de arcillas. La mineralización aurífera estuvo acompañada de pirita, enargita  $Cu_3(As,Sb)S_4$ , y otros minerales sulfúricos de cobre (covelita, digenita y chalcocita). El mineral contiene niveles elevados de arsénico, 130 mg/kg, y plomo, 630 mg/kg, además de bajos niveles de cobre, 41 mg/kg, mercurio, 8.6 mg/kg, zinc, 25 mg/kg, y molibdeno, 25 mg/kg. (Turner, 1997). En el Distrito Minero de Yanacocha, las formas de sílice están casi totalmente oxidadas. Alrededor de estas formas hay zonas argílicas avanzadas, y alteración argílica, que no contienen oro, sino que contienen minerales de sulfuro sin oxidar, teniendo potencial de generar ácido (Ingemmet, 1995).

En el mundo de la minería se encuentra muchos obstáculos para el desarrollo de la explotación: Uno de ellos son los terrenos sulfurosos en particular los que contienen pirritas con un grado de concentración mayor al 4% o en proceso de desgaste los

cuales pueden reaccionar con los explosivos bajo determinadas circunstancias, generando una reacción química exotérmica. Esto puede causar desde emanaciones de gases tóxicos incluso detonaciones prematuras de la carga explosiva. El

fenómeno ocurre al mezclarse el nitrato de amonio presente en el explosivo con el sulfato ferroso hidratado generado como producto del desgaste natural de las pirritas. Por lo tanto aplicamos la tecnología emulsión inhibida para retardar la reacción del explosivo reduciendo la temperatura en terrenos calientes o sulfurosos. La emulsión inhibida en la actualidad es el explosivo idóneo para estos tipos de terrenos debido a que el compuesto inhibidor está presente en la emulsión, una mezcla explosiva con mayor % de este agente tendrá mayor margen de seguridad. El inhibidor minimiza la reacción del explosivo con el sulfuro (pero no la previene) y además un agente orgánico estabilizante de naturaleza polimérica que permite la estabilidad de la emulsión a temperaturas de hasta 80°C por un tiempo no mayor de 12 hrs. Pasado este rango la carga interior puede estar expuesta a detonación espontánea; los componentes internos pueden alterarse ocasionando problemas de inicio.

La profundidad de oxidación (la profundidad donde predominan los minerales de sulfuro) varía en todo el distrito, fluctuando entre más de 200 m en Yanacocha Sur, hasta 150 m en el centro de Maqui Maqui, hasta la exposición superficial de

minerales de sulfuro en márgenes de Yanacocha Norte. No se empieza a ceder y se mezclan los óxidos con sulfuros, conformando la zona transicional de 50 a 60 m de espesor. Debajo de la zona transicional, las formas minerales de oro continúan contenidas en sulfuros primarios (Ingemmet, 1995).

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye la emulsión inhibida TCG en la reactividad de terrenos sulfurosos en la operación de voladura, Minera Yanacocha 2018?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la emulsión inhibida TCG en la reactividad de terrenos sulfurosos en Minera Yanacocha 2018.

### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Disminuir la temperatura en terreno sulfuroso con la utilización de diferentes densidades de emulsión inhibida en minera Yanacocha.
- Determinar la variación de las características de las mezclas con diferentes densidades de emulsión inhibidora en los terrenos sulfurosos de minera Yanacocha.

## **1.4. Hipótesis:**

### **1.4.1. Hipótesis general:**

Con el uso de la emulsión inhibida TCG se reducirá la reactividad de los terrenos sulfurosos en la operación de voladura de Minera Yanacocha.

### **1.4.2. Hipótesis específica:**

Con la utilización de emulsión inhibida TCG en terrenos sulfurosos en la operación de voladura, se reducen los accidentes e incidentes, por una detonación prematura.

#### **1.4.3. Justificación:**

Debido a que en el proceso de voladura de rocas suceden detonaciones prematuras y por ende una mala fragmentación de roca el presente trabajo de investigación en Minera Yanacocha tiene como fin determinar la influencia de la emulsión inhibida en la reactividad de terrenos sulfurosos ya que realizar una segunda fragmentación demanda de un costo adicional y perjudica la economía de la empresa. Desde el punto de vista práctico, con los resultados de investigación, las empresas dispondrán de información para evaluar la fabricación de mezclas explosivas y de esta manera obtener mejoras en el proceso de voladura tanto en el cuidado del medio ambiente como el de la seguridad y salud.

#### **1.4.4. Limitaciones:**

El presente trabajo de investigación no tiene limitaciones en el proceso de su ejecución, se tiene el apoyo de la empresa minera para realizar las actividades de muestreo y pruebas.





## CAPITULO II. MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes:

En Venezuela, Choqueña, (2017) presentó su tesis para obtener el título de ingeniería de minas titulada "Optimización de la fragmentación de roca mediante las características geo mecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos". La investigación fue no experimental, utilizó como población los diferentes proyectos de voladura en la unidad Minera Apumayo, SAC. El objetivo de esta investigación fue optimizar la fragmentación de roca, debido a que encontró bloques con medidas de 80 cm. Tales bloques, después del proceso de voladura, dificultan el proceso de carguío y acarreo por lo que era necesario optimizar la fragmentación rocosa. Por lo que propone la aplicación del sistema P80 con apoyo del software wip frag, 2010 basado en las características geo mecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos. Los resultados de evaluación geo mecánicas indicaron que se trata de una andesita alterada, su RQD fue de 92 %, esta roca es sílice alunita chay, propi lítico sílice granular y sílice masiva con RCU de 23 MPA. Según Bieniewski, 1989, el RMR básico es 52 de calidad regular. Para optimizar la fragmentación de roca consideró los siguientes parámetros: prueba de fragmentación con wip frag, 2010 el P80 es 4,03 pulgadas 3,58 pulgadas y 5,38 pulgadas en macizo rocoso con RMR de 52 en 13 pruebas el promedio de P80 fue de 3,40 pulgadas un tamaño óptimo para el proceso de minado. La conclusión de la investigación indica que en la parte operativa mejoró el dig-rate de los equipos de acarreo en un rango del 5% por lo que la empresa aceptó el uso de doble iniciación en el proceso de voladura de rocas.

En Guatemala, Chávez, 2010 presentó su tesis para obtener el título de ingeniería de minas titulada "Uso y control de explosivos aplicados en explotación de bancos". El objetivo de esta investigación fue evitar los accidentes en el proceso de voladura debido a la negligencia del personal involucrado. Para el desarrollo de esta investigación el proyectista utilizó una investigación no experimental de tipo cuantitativa. Propuso una buena selección de iniciadores, dispositivos de retardo y cebos

reforzados. Con el uso de estos dispositivos obtuvo una voladura eficiente, segura y con niveles de vibración

medios. En conclusión, el uso de estos accesorios permite cuidar mejor la vida de los trabajadores encargados de voladuras rocosas.

En Perú, en la ciudad de Trujillo, Caona, (2015) presentó su tesis para obtener el título de ingeniería de minas titulada "Optimización de la voladura mina la virgen de la compañía minera San Simón". El objetivo de esta investigación fue reducir los costos en el proceso de transporte y tratado de mineral causados por una mala fragmentación de roca en el proceso de voladura. Para el desarrollo de dicha investigación el autor realizó una investigación no experimental de tipo cuantitativo, su población fue el área de perforación y voladura de la mina San Simón. Propuso unos nuevos diseños de carga, explosivos y accesorios para el desarrollo del proceso de voladura de rocas. Encontró una mejora de un 10 % en la fragmentación, lo cual contribuyó a todo el proceso de minado.

En Perú en la ciudad de Lima Vilela, (2014) presentó su tesis para obtener el título de ingeniería de minas titulada "Análisis de factibilidad para el uso de anfo pesado a base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha". El objetivo de esta investigación fue analizar la viabilidad técnica, económica y operativa de un tipo de emulsión componente principal del Anfo pesado que se usa en voladura de rocas en Minera Yanacocha. Para ello desarrollo una investigación experimental teniendo como población el área de perforación y voladura de Minera Yanacocha. Las conclusiones indican que en la parte operativa hubo un incremento del rendimiento de los equipos de minado en un 3,23% en seis de las nueve pruebas realizadas con el uso de Anfo pesado 73 gasificado. Sobre todo, se redujo la generación de gases nitrosos los cuales significaban un riesgo para la salud de los trabajadores. En la parte económica se demostró un ahorro de ocho dólares por taladro en comparación del Anfo pesado 46 a base de emulsión matriz aplicada para material duro y un promedio de catorce dólares por taladro en comparación del Anfo pesado sesenta y cuatro a base de emulsión matriz. La investigación generó la aceptación del uso de emulsión gasificable

en la operación y se abrió un panorama para el aprovechamiento de sus ventajas explosivas y energéticas.

En Perú, Hinostriza, (2014) presentó su tesis para obtener el título de ingeniería de minas titulada "Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto". El objetivo de esta tesis fue analizar el corte del sistema de iniciación en el proceso de voladura, reducir los costos y a la vez optimizar la fragmentación. Debido a que encontró bloques grandes en el proceso de minado los cuales causaban costos altos para el desarrollo del traslado del mineral, para ello el proyectista desarrollo una investigación no experimental de tipo cuantitativo con una población de 26 disparos de voladura. El investigador concluye que con la utilización de la doble iniciación electrónica en el proceso de voladura rocosa logró optimizar la fragmentación de roca, sin presencia de fly rock, a la vez dejó constancia que se incrementó el costo en el proceso de voladura debido al incremento de accesorios.

## **2.2. Bases Teóricas:**

### **2.2.1. TEORÍAS DE FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA**

#### **Teoría de la reflexión:**

Sostiene que las ondas de compresión producidas por la detonación del explosivo se propagan mediante la roca y al alcanzar una cara libre, se reflejan como ondas de tracción. Las ondas de compresión agrietan mínimamente a la roca, mientras las ondas de tracción son las mayores responsables de la fragmentación y el desplazamiento del material. (Aguilera & Campos, 2008).

#### **Teoría de la expansión de los gases**

Son dos puntos que destaca esta teoría producidos por la presión de los gases en expansión. Primero, las grietas se inician a una distancia de 2 taladros radiales fuera del taladro y estas grietas se extienden hacia el

centro del taladro y hacia la cara libre. Segundo, el desplazamiento del material fragmentado, por la acción de los gases en gran volumen, se da una vez que las grietas llegan a la cara libre. INGEMMET, 1995.

### **2.2.2. Explosivos:**

Es un compuesto químico o una mezcla de compuestos químicos a los cuales cuando se les da un estímulo correcto o incorrecto ellos sufren una reacción química violenta exotérmica (Ames, 2012). El explosivo es un conjunto de compuestos químicos o mezclas susceptibles a descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos.

De acuerdo con los criterios de la mecánica de rotura, la voladura de roca 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.

#### **2.2.2.1. Etapa de la voladura rocosa**

- **Detonación:**

La detonación es el comienzo del proceso de fragmentación, los ingredientes de un explosivo (oxidantes y combustibles) bajo una detonación son convertidos en gases a alta presión y alta temperatura. En el frente de detonación pueden existir presiones del orden de 9 k bar a 275 k bar y temperaturas entre 3000 °F a 7000 °F. La presión de detonación se puede expresar en función de la densidad del explosivo y la

velocidad de detonación, según la fórmula presentada en la primera parte. (Konya, 1990)

- **Combustión:**

Es una reacción química de oxidación en la que generalmente se desprende una gran cantidad de energía. La velocidad de

reacción es menor de 1m/s y se puede observar a simple vista en forma de llama (Chuga, 2017).

- **Deflagración:**

Es una combustión con baja velocidad de propagación sin explosión. Se suele asociar erróneamente con las explosiones. (Chuga, 2017).

- **Propagación de ondas de choque:**

La segunda etapa, seguida a la detonación o en conjunto con la detonación, corresponde a la propagación de ondas de choque a través del macizo rocoso. La geometría o forma de estas ondas depende de muchos factores. Además, existe una pulverización alrededor del pozo que puede alcanzar rangos de 1 a 3 veces el diámetro, dependiendo de la roca y el explosivo utilizado y también la creación de fracturas alrededor del pozo dependiendo de las características de la roca y el nivel de vibraciones inducido. Es importante destacar que las ondas cuando viajan y atraviesan discontinuidades, parte de la onda se refleja y otra parte se refracta hasta alcanzar la cara libre (onda de choque reflejada).

- **Expansión de gases:**

Durante y/o después de que la onda de choque ha pasado, la expansión de gases abre las fracturas preexistentes con una dirección predominante hacia la cara libre. La onda de choque reflejada (onda de tracción) empieza a fragmentar la roca, que en conjunto con la acción de los gases comienzan a proyectar la roca fragmentada.

- **Detonación como reacción físico- químico:**

La detonación es una reacción físico-químico exotérmica caracterizado por la velocidad de reacción del explosivo y la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva que se traduce en presión sobre el área circundante. Entonces, podemos identificar dos energías producto de la reacción del explosivo, la energía de choque y la energía de gas. La energía traducida en onda de choque, se propaga a través de la columna explosiva con suficiente energía. (Mackenzie, 2008).

Según Konya (1998) señaló que "la presión de choque es una presión transitoria, que viaja a la velocidad de detonación del explosivo. Se estima que esta presión sólo representa del 10% al 15 % de toda la energía de trabajo disponible en un explosivo. La presión de gas equivale del 85% al 90% de la energía útil del explosivo".

#### **2.2.2.2. Componentes fisicoquímicos de un explosivo**

- **Anfo:**

Mezcla de Nitrato de Amonio (94%) y combustible Diesel D2 (6%). El ANFO no tiene resistencia al agua, tiene baja densidad (0.78 – 0.81g/cc), baja potencia, baja velocidad de detonación.

- **La Humedad**

El NA es muy higroscópico y soluble en agua, entonces la cantidad de humedad contenida en el ANFO tiene marcada influencia sobre sus propiedades explosivas. Si el contenido en humedad es mayor a un 4%, la velocidad cae muy rápidamente y cuando alcanza el 8-9% ya no detona. Lo que se debe al consumo de energía para evaporar el agua y para calentar el vapor hasta la temperatura de detonación. Asimismo, la humedad afecta a en contra de otras características del ANFO, como la potencia, que disminuye con el contenido en agua,

de forma parecida a la velocidad, así como el contenido en gases nocivos, especialmente los óxidos de nitrógeno, que aumentan con la cantidad en agua.

- **El Diámetro**

La influencia del diámetro de los barrenos en la velocidad de detonación es importante, aumenta con el diámetro hasta un cierto valor, que es característico del tipo de nitrato amónico, por arriba del cual se mantiene constante. Para valores al diámetro crítico, característico del tipo de nitrato amónico, la detonación no se puede mantener. En el caso del nitrato de amonio poroso el diámetro crítico es de 40 ó 50 mm.

### **2.2.2.3. Propiedades Adicionales**

La velocidad de detonación es de 2000 a 3000 m/s, en función del diámetro y el confinamiento, tiene una densidad de 0,8 a 1,0 g/cm<sup>3</sup>, en función del tipo de NA utilizado. El ANFO tiene un diámetro crítico, que varía en función del tipo de NA utilizado en su fabricación que es superior a 45 mm de diámetro. Este explosivo es insensible al detonador # 8, mala resistencia al agua y muy insensibles a los estímulos accidentales.

#### **Hidrogeles**

- **Análisis de las características y propiedades**

El anfo con su baja densidad y velocidad de detonación, y su mala resistencia al agua, hacen que sea un explosivo inadecuado para muchas labores. Todo esto motivó la investigación de otros productos, de éstas investigaciones se descubrieron los hidrogeles por el Dr. Melvin Cook (llamado slurries, en inglés lodo). Por primera vez Cook preparó una mezcla explosiva con nitrato amónico, aluminio, agua y goma guar (agente gelificante y entrecruzante), logrando un producto resistente al agua, de elevada densidad y con una velocidad de detonación muy alta. Estos explosivos llamados hidrogeles se

caracterizan principalmente por tener una importante cantidad de agua en su composición, lo que constituye un hecho insólito en las formulaciones utilizadas hasta su aparición. Se forman dispersiones en las que la fase continua está formada por una solución acuosa saturada de nitrato amónico, con o sin otros oxidantes inorgánicos como nitrato sódico, perclorato sódico, etc. La fase dispersa está formada por combustibles sólidos y el resto de los oxidantes sólidos que no han podido disolverse en la solución de oxidantes, además, pueden contener sustancias explosivas como sensibilizantes.

Los hidrogeles tienen características muy variadas, que van desde elevada potencia y densidad, sensibilidad al detonar y buena velocidad de detonación, etc. de esta forma se pueden obtener productos cuyas potencias relativas varían del 40% al 85% de la goma pura y velocidades de detonación que van de 2000 m/s a 6000 m/s. La sensibilidad de los hidrogeles puede variar desde los que pueden ser iniciados con un detonador # 8 hasta otros muy insensibles, que al agua contraria a lo que ocurre con el anfo requieren el uso de un multiplicador para que su iniciación sea apropiada. Además, tienen una buena resistencia.

- **Clases de hidrogeles**



Se tiene tres tipos de hidrogeles:

- a) Sensibilizados con una sustancia explosiva.
- b) Sensibilizados con aluminio.
- c) Sensibilizados con nitrato de amina.

- **Hidrogeles sensibilizados con explosivo**

Constituyen los preparados por Cook y se caracterizan por estar sensibilizados por una sustancia básicamente explosiva, normalmente TNT, PETN o una mezcla de ambos, o también se ha utilizado pólvoras de nitrocelulosa. Lo que ocurre en las

mezclas explosivas convencionales es diferente a la sensibilidad de estas composiciones que aumenta con el tamaño de las partículas de TNT. Esto puede explicarse por el efecto insensibilizador del agua sobre la superficie de las partículas de TNT.

**a) Hidrogeles sensibilizados con aluminio**

Son hidrogeles, también desarrollados por Cook en las primeras experiencias con slurries, pero, por ser este elemento muy electronegativo, reaccionaba con el agua a temperatura ambiente desprendiendo hidrógeno, con elevación de la temperatura. Lo que ocasionaba un riesgo, razón por la cual fue preciso sensibilizar los hidrogeles con otras sustancias explosivas. Luego se descubrió que esta reacción podía inhibirse recubriendo las partículas de aluminio con productos hidrófugos, se lo utilizó como sensibilizador.

**b) Hidrogeles sensibilizados con nitrato de amina**

Este tipo de hidrogeles sensibiliza con combustibles constituidos por sales orgánicas solubles en agua, sin que contengan, al igual que los de la segunda generación, ningún otro componente explosivo. Con la finalidad de mejorar su sensibilidad y poder ser usado en pequeños diámetros, estos

hidrogeles también necesitan micro esferas de vidrio bien de burbujas de gas. Los hidrogeles sin explosivos en su composición se caracterizan por la elevada seguridad en su fabricación y utilización, buena propagación de la detonación, incluso en pequeños calibres, posibilidad de modificar su densidad, potencia y velocidad de detonación, buenos humos de voladura y excelente resistencia al agua.

## **Emulsiones**

- **Análisis de las características y propiedades**

La emulsión se define como una dispersión estable de dos fases líquidas inmiscibles entre sí, en la que una de ellas se dispersa en forma de pequeñas gotas en la otra, una de las fases en la mayoría de los casos es agua. La formación de emulsiones con líquidos inmiscibles puros se requiere la presencia de un agente emulsificante o emulgente y de una gran agitación mecánica. Un agente emulsificante es un producto que se posicionan frecuentemente en la interface de los dos líquidos inmiscibles disminuyendo su tensión interracial y permitiendo que se forme la emulsión cuando se da un buen grado de agitación.

- **Emulsión Matriz:**

Mezcla compuesta básicamente por una solución oxidante de Nitrato de Amonio y agua, por un combustible insoluble en agua, un agente emulsificante y por elementos sensibilizadores y potenciadores (Manual de voladura EXSA, 2014)

### **ANFO Pesado:**

Son mezclas de emulsión matriz y ANFO en diferentes proporciones, que permiten mejorar la potencia y aumentar la energía del explosivo, En nuestra operación se trabaja con varios

tipos de mezcla ya sea por su VOD o por sus características de resistencia al agua.

Los más comunes son:

- HA 30/70 (30% emulsión y 70% de ANFO),
- HA 40/60 (40% emulsión y 60% de ANFO),
- HA 50/50 (50% emulsión y 50% de ANFO) y
  - HA 65/35 (65% emulsión y 35% de ANFO), para taladros con agua (Manual de voladura EXSA, 2014)

#### 2.2.2.4. Características de los explosivos

- **Poder rompedor**

El poder rompedor es una característica del explosivo que nos indica la capacidad de fragmentar un material, creando nuevas fisuras debida a la onda de detonación, y no al conjunto de la onda de detonación.

- **Dureza:**

Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.

- **Densidad:**

Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1,0 a 4,5 g/cm<sup>3</sup> en promedio. Rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse (López, 2011)

- **Porosidad:**

Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua. (López, 2011)

- **Velocidad de detonación**

El poder rompedor está relacionado con la velocidad de detonación, ya que al aumentar la densidad de un explosivo también lo hace la velocidad de detonación y a su vez la presión de detonación. Al

detonar una fila de cartuchos de explosivo colocados en contacto, se provoca la transformación del explosivo en un gran volumen de gases a elevada temperatura y gran presión de gases. Todo esto se desarrolla a una velocidad que se denomina velocidad de detonación, ésta se puede medir en metros por segundo.

- **Resistencia al agua**

La resistencia al agua es una característica por la cual un explosivo mantiene sus propiedades inalteradas durante un periodo de tiempo en contacto con la misma, esto debe ser sin necesidad de protección por algún material que lo cubra. Tenemos explosivo que resisten bien el agua como son los explosivos gelatinosos, hidrogeles y emulsiones, lo que hace necesario su empleo en barrenos que

contienen agua. La resistencia al agua de un determinado explosivo debe demostrarse al no disolverse y mantener sus características de encendido, sensibilidad y propagación de la detonación. Todo esto nos debe asegurar una buena voladura, para lo que se emplearán explosivos que cumplan todas estas exigencias.

- **Humos**

El conjunto de productos gaseosos resultantes de la reacción de detonación del explosivo se denomina humos, podemos citar algunos de ellos: vapores nitrosos (NO<sub>x</sub>), vapor de agua, monóxido de carbono (CO), anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y otros gases producto de reacciones de detonación. Sin embargo, la práctica se aleja mucho de lo teórico, ya que la producción de ciertos gases nocivos como (CO, NO<sub>x</sub>...) producidos en voladuras es grande lo que puede ocasionar malestar a las personas que se encuentren cerca de una explotación minera.

- **Sensibilidad**

Un explosivo desde su fabricación y carga en el barreno está sometido a golpes que pueden estimular su detonación. La

sensibilidad de un explosivo es la mayor o menor grado de energía que hay que comunicarle para que se produzca la explosión.

- **Diámetro crítico**

La detonación se propaga de forma sostenida y estable si la tendencia entre la liberación de energía en la reacción, y la llegada de las ondas de relajación desde los bordes de la carga se hace en la liberación de energía. En las aplicaciones de los explosivos, la carga es de forma cilíndrica en las que se presentan los explosivos (cartuchos o columna de explosivo a granel en un barreno).

- **Detonadores eléctricos**

Son detonadores que se activan por medio de energía eléctrica. Se utilizan en la actualidad, ya que permiten un correcto diseño de la voladura, obteniendo buenos resultados, seguridad en la

manipulación y control de los efectos derivados de la utilización de explosivos en voladura. Este detonador se compone de tres partes, que van colocadas dentro de un casquillo de aluminio o cobre.

El casquillo de cobre se emplea en las minas de carbón. Las tres partes de que está compuesto el detonador son: la eléctrica, la retardadora y la explosiva.

- **Procedimientos de Voladura**

Al iniciar el manejo de explosivos, es muy importante tener en cuenta los aspectos de seguridad; debido a eso se debe de cumplir estrictamente todos los procedimientos correspondientes a la operación de carguío de taladros y la ejecución de la voladura. (Mackenzie ,1984 y el ISEE, 1998)

- **Identificación de taladros y distribución de accesorios**

Cada taladro va estar con su número de taladro, profundidad de diseño y profundidad real luego se procede a distribuir los detonadores electrónicos, no eléctricos (Nonel) y el iniciador (Booster) en forma ordenada y separada en cada taladro. (Vanbrabant ,2006)

- **Procedimiento para carguío de taladros**

Se iniciará Instalando la conexión del Iniciador (booster) con el detonador pirotécnico y/o electrónico en los espacios del iniciador provistas para ello, luego se guía al camión mezclador para abastecer la mezcla explosiva al taladro, siempre en constante medición con la huincha métrica para obtener la altura de taco solicitado (Manual de voladura EXSA,2011).

- **Amarre de malla**

Se procederá con la distribución de retardos de superficie en la parte superior del taladro tapado siempre en una parte visible. Se revisará la orientación de cada uno de los retardos en todas las filas a disparar. Se conectará primeramente los retardos entre filas (Líneas Troncales, las cuales deberán conformarse por 2 unidades por

periodo), para después proceder a conectar los retardos entre taladro y taladro.

- **Fin de voladura**

Luego de transcurridos 5 minutos después de la voladura y que se haya disipado los gases (visibles) se ingresará al área volada para verificar la conformidad de la voladura; asimismo los asistentes de campo (Voladura) realizarán una inspección rápida en el área volada, donde verificara la detonación de todos los retardos de superficie y reportarán por radio al Supervisor de Voladura la detonación de todos los taladros. Para dar por concluido el proceso.

### 2.3. Definición de términos básicos:

#### **Emulsión inhibida:**

Es el agente mas reciente y denominado de seguridad reforzada o de intercambio Ionico consiguen rebajar la temperatura de explosion mediante diversos ingredientes que al reaccionar en el momento de la detonacion forman el inhibidor en ese mismo instante. Estos explosivos suelen estar

constituidos por un pequeño porcentaje de  $\text{Ng}$ , un combustible y el salino nitrato sodico\_ cloruro amonico. El nitrato amonico actua despues como oxidante y el cloruro sodico en estado naciente es el que tiene un gran poder refrigerante, mucho mayor que en los explosivos de seguridad clasicos .(Manual del geoinstituto minero de españa, 2011)

#### **Mezcla:**

Una mezcla es un material formado por dos o más componentes unidos, pero no combinados químicamente. En una mezcla no ocurre una reacción química y cada uno de sus componentes mantiene su identidad y propiedades químicas. No obstante, algunas mezclas pueden ser reactivas, es decir, que sus componentes pueden reaccionar entre sí en determinadas condiciones ambientales, como una mezcla aire-combustible en un motor de combustión interna. (EXSA, 2016).

#### **Temperatura:**

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. (EXSA,2016)

#### **Terrenos sulfurosos:**

Suelo de la corteza terrestre con presencia de azufre. (EXSA,2016)

#### **Reactividad:**

Es la capacidad que tiene una sustancia para sufrir una reaccion quimica, ya sea con ella misma o con otras sustancias transformandose en uno o varios productos y liberando energia (EXSA,2016)

## **2.4. Hipótesis**

### **Formulación de la hipótesis**

Con el uso de la emulsión inhibida TCG se logrará reducir la reactividad en terrenos sulfurosos

### **Variables**

**Independiente:** Emulsión inhibida TCG en la voladura

**Dependiente:** Reactividad de terrenos sulfurosos

### **Operacionalización de variables**



Emulsión Inhibida TCG en la voladura	Independiente	Es un agente que consigue reducir la temperatura de explosión mediante diversos ingredientes en el momento de la detonación se forma el inhibidor en ese momento.	Alto VOD	5500 m/s
			Fragmentación del macizo rocoso	P 80- a 3.2 pulg
Reactividad de Terrenos Sulfurosos	Dependiente	Es la capacidad que tiene el terreno para sufrir una reacción química, con el mismo o con otras sustancias liberando energía.	Energía del explosivo	2695.8Kj/Kg
			Amplio rango de densidades	1.10 gr/cc
			Diseño de carga	Factor de carga ----- Kilos explosivo x taladro
			Temperatura	° C
			Fragmentación del macizo rocoso	P 80 a 3.2 pulg

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación:

La presente investigación desarrollada es experimental básica de tipo cuantitativo.

## **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

### **Población:**

Proyectos de voladura en terrenos sulfurosos de Minera Yanacocha para los años de 2017 y 2018.

### **Muestra:**

5 proyectos de voladura en terrenos sulfurosos de Minera Yanacocha en 2018.

### **Unidad de estudio:**

1 proyectos de voladura en terreno sulfuroso de Minera Yanacocha en 2018.

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

### **Reportes diarios de trabajo**

Los reportes post voladura diariamente permitirá analizar la fragmentación, granulometría y lo más importante la disminución de temperatura en los diferentes tajos que presenten terrenos reactivos o sulfurosos.

### **Datos estadísticos:**

De acuerdo al diseño las muestras utilizaron la cantidad de emulsión inhibida requerida en cada proyecto de voladura en comparación con otros agentes en consideración al costo que representa cada uno de ellos.

### **Software Jk:**

Este programa nos permite realizar una simulación del inicio, secuencia y tiempo de duración del proceso de voladura.

### **Software Microtrap:**

Este programa mediante el uso de un sismógrafo en campo durante el proceso de voladura luego ingresando los datos a la computadora logramos medir la velocidad de detonación del explosivo y el grado de vibración que nos generó dicha voladura.

#### **2.4. Procedimiento del uso de la emulsión inhibida**

Una vez que el terreno ha sido identificado como reactivo (delimitación), los procedimientos en P&V tienen que ajustarse a la nueva condición con el fin de reducir al mínimo los riesgos antes mencionados. Los puntos principales a evaluar son: Entrenamiento: Se realiza una difusión de condiciones de riesgo y controles asociados a todo el personal operativo involucrado en el proceso. El tiempo en que el producto explosivo esté cargado en terreno reactivo (sleep time) debe ser el mínimo para reducir la exposición de productos en base a nitrato.

Además, se adiciono el Cordón Detonante (10P Reforzado) ya que tiene el beneficio adicional de brindar mayor resistencia física debido al revestimiento compacto y la simplicidad con la que funciona. Desde el punto de seguridad esto contribuye a minimizar la posibilidad de tener tiros fallados.

Al inicio del proyecto, se realizó pruebas del producto seleccionado en taladros no reactivos; de modo que se pueda registrar el comportamiento de densidades finales, VOD y resultados post voladura para las diferentes opciones de mezclas.

La secuencia de carguío se realiza desde el punto de inicio de disparo (taladro cero), esto permite que la malla pueda amarrarse y dispararse rápidamente ante cambios de temperatura repentinos (reacciones) o el tiempo recomendable de exposición se aproxime (sleep time). El tapado de taladro NO debe realizarse con el mismo detritus de perforación, puesto que este material fino entra en contacto rápidamente con el explosivo. Para este fin utilizamos material inerte o elementos generadores de cámaras de aire como taponex

Para analizar grado de riesgo de reactividad de terrenos sulfurosos o reactivos se debe tener en cuenta:

1. Todos los explosivos que contienen nitrato de amonio pueden reaccionar con minerales que contengan piritas en cantidad apreciable (superiores al 4%), los

cuales producen una reacción química cuando logramos alcanzar la temperatura de "autocatalización".

Ésta es usualmente del orden de 115 - 120 °C, pero bajo ciertas condiciones puede ser tan baja como 65 – 70 °C.

Durante el proceso de carguío de taladros en el stock Huamachuco nivel YA3922, Se identificaron 10 taladros cargados con explosivos en una malla de 120 taladros que presentaban una reacción química con el terreno, ya que en el collar del taladro se apreciaban humos de color café.

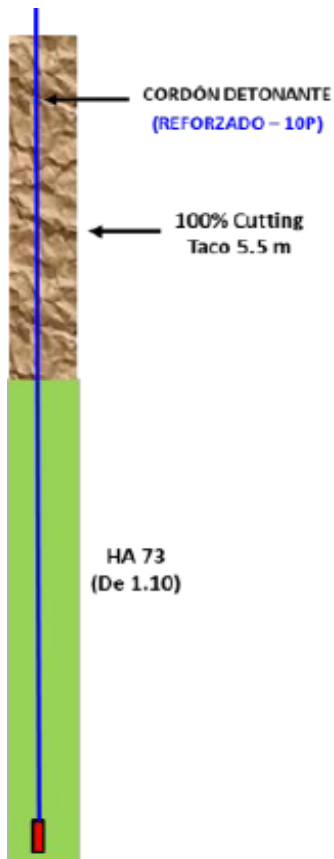
Se decidió acelerar el disparo programado con el fin de detonar los taladros lo antes posible.

Cabe mencionar que en el disparo se tuvieron 02 zonas de perforación, una de ellas realizada con perforadora PIT VIPER 271, para lo cual se utilizó agua constante en la perforación y la otra con perforadora Roc drill L8 sin uso de agua.

Los taladros identificados visualmente con reacción fueron aquellos perforados con agua.

Post voladura se pudo visualizar que la zona disparada no tuvo el esponjamiento deseado, por lo que se decidió contar con un vigía permanente en el proceso de minado en búsqueda de posibles tiros quedados, no encontrándose alguno por presencia de cortes en los iniciadores por lo que propone el uso de doble iniciación electrónica.

Aplicando la doble iniciación electrónica logro optimizar la fragmentación de roca, sin presencia de



MINA		Stock Huamanchumo	
Mailas 608	H (m)	10.0	
	J (m)	0.0	
	Taco (m)	5.5	
	Aire/Deck	0.0	
	Lc (m)	4.5	
	Diam (pulg)	10 5/8	
73 Quantex	$\delta_{expl}$ (g/cc)	1.10	
	SD	1.24	
	B (m)	S (m)	$\delta_{roca}$ (g/cc)
	7.0	8.0	2.00
	FC (kg/ton)	0.253	
Kilos por Taladro			283.32

Figura 1. Taladros PV

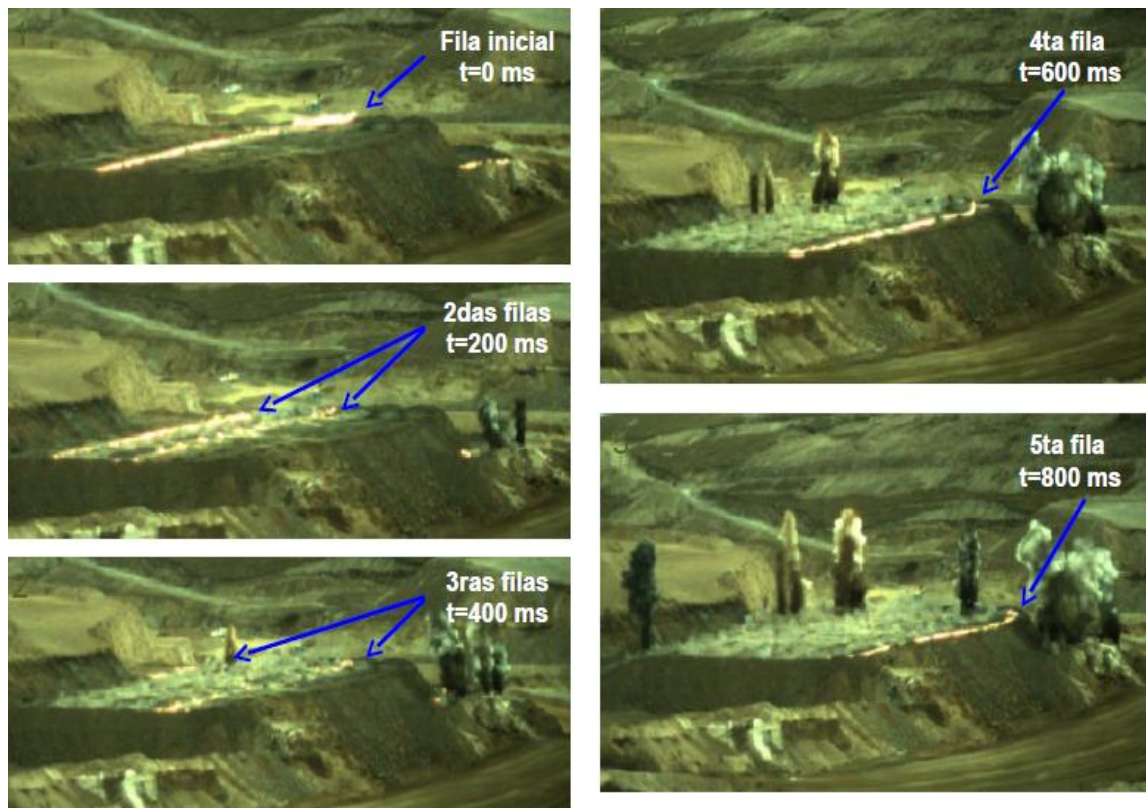


Figura 2. Disparo voladura en cámara de alta velocidad

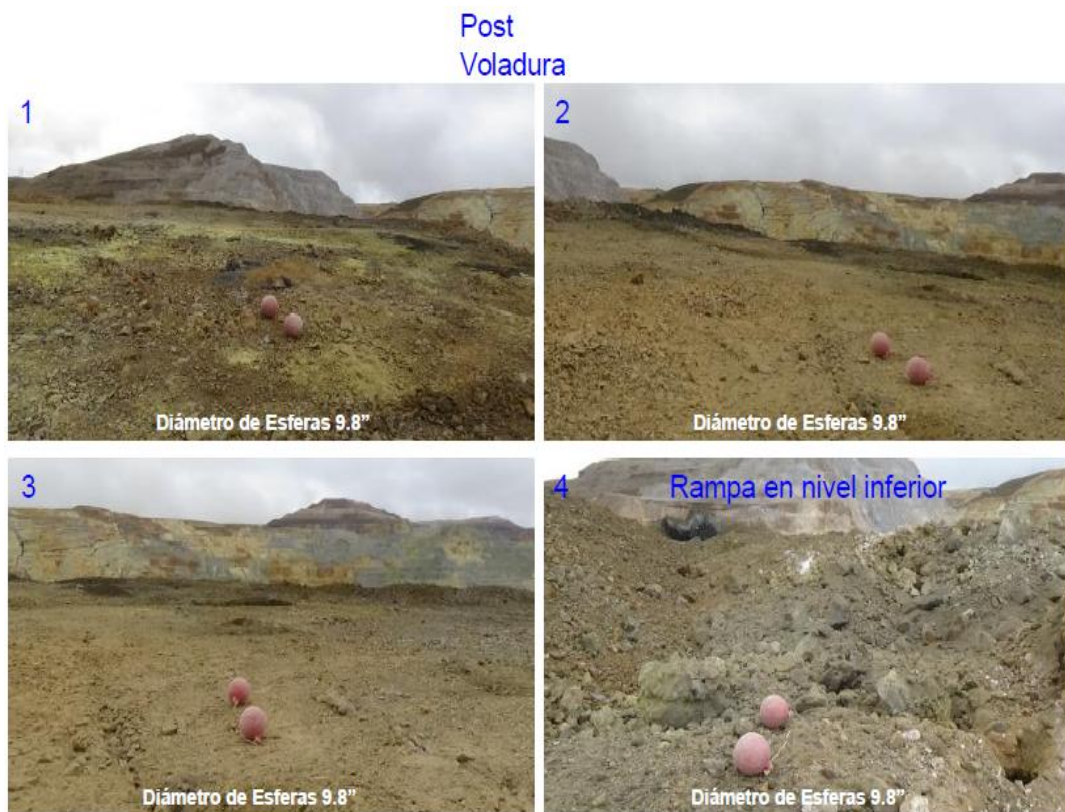


Figura 3. Disparo voladura

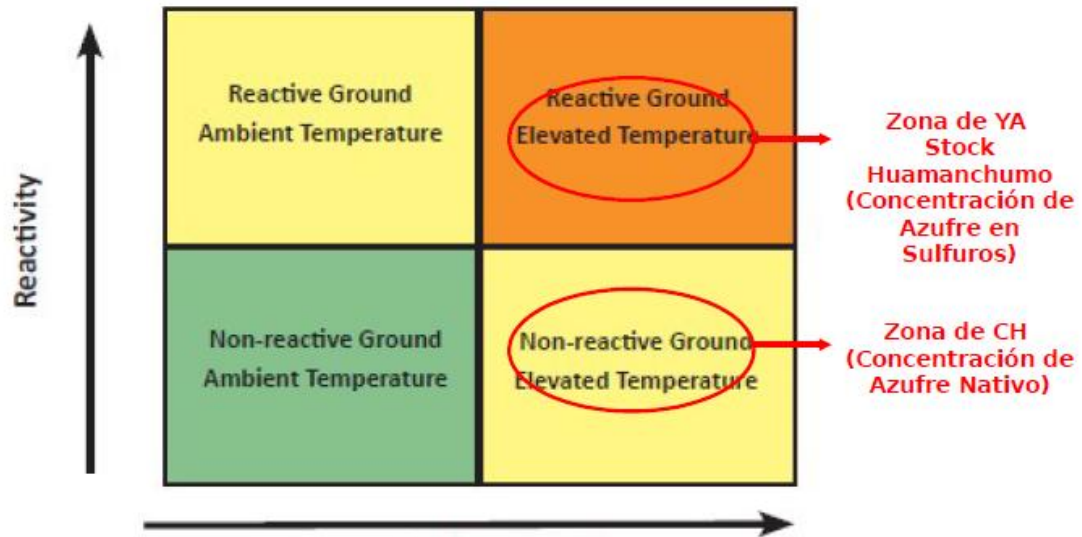


Figura 4. Condiciones de terreno

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Con respecto al primer objetivo determinar la influencia de la emulsión inhibida en la reactividad de terrenos sulfurosos en Minera Yanacocha 2018, los resultados indican la variación positiva que existe entre ambas variables conforme lo muestra la tabla 1.

Tabla 1

*Toma de tiempo de reacción del terreno al introducir el explosivo al barreno*

Muestras	Promedio				
Tiempo (min)	1	2	3	4	5
0	60°C	72°C	71°C	72°C	70°C
5	54°C	63°C	66°C	61°C	57°C
10	45°C	57°C	58°C	49°C	50°C
15	42°C	45°C	50°C	38°C	39°C
20	37°C	41°C	43°C	35°C	34°C

Fuente: Elaboración propia, 2018

Esta toma se realizó en tiempo real con el uso del pirómetro

En terrenos Calientes o Reactivos (YA – Stock Huamanchumo) por tener **concentraciones de Sulphide Sulphur (SS) están por encima del 4% nunca aplicar agua a los taladros** para este fin, pues el agua contribuye a la separación de Fe y esto incrementa la reacción exotérmica. Se puede aplicar lavado de taladros con soluciones inhibidas (Ej. 20% Urea o Soda en solución).

En terrenos No Reactivos pero de Temperatura Elevada (CH) se puede aplicar agua en el taladro como control.



En el caso puntual del tajo **Chaquicocha las concentraciones de Sulphide Sulphur (SS) hasta la fecha están por debajo de 4%; sin embargo, la concentración de Azufre Nativa es significativa.**

Por lo tanto, en esta zona los sulfuros de Fe/Cu están diseminados y el taladro sólo de comportará como 'Taladro Caliente' (por la presencia de Azufre); mas no será reactivo

La toma de muestras y pruebas de reactividad son actividades cruciales para la buena gestión de operación en condiciones anómalas. Se debe considerar:

- Realizar pruebas de compatibilidad química para determinar si los minerales que contienen sulfuros de hierro son reactivos. Se lleva a cabo en laboratorio.
- Realizar pruebas de compatibilidad directa entre nitrato de amonio y el terreno. Llevar a cabo en laboratorio y terreno (para simular las condiciones reales).
- En el caso de optar por productos inhibidos (emulsión), es fundamental primero realizar pruebas de laboratorio y campo para su fabricación y uso final en mina respectivamente.
- Cada terreno es una condición singular debido a la variación en concentración de sulfuros de hierro.
- Estas pruebas normalmente aplican con testigos y/o detritus de perforación.
- Las muestras de minerales para las pruebas deben ser seleccionados con el asesoramiento del geólogo de mina.

Cuando este indicador (% SS) es mayor a 4% los sulfuros de hierro están presentes en una concentración considerable y deben ser tratados como reactivos.

- Por debajo de estos valores implica que los sulfuros de hierro están diseminados, por lo que el blast-hole experimentará un cambio de temperatura pero no llegará a ser considerado como 'taladro caliente' ( $T < 50^{\circ}\text{C}$ ).

- Esta prueba se llevó a cabo in-situ y tenía por finalidad determinar si era seguro o no el uso de agua durante la perforación de taladros.
- Al inicio del proyecto se partió con la premisa de NO usar agua en el proceso de perforación, debido a que:
- De acuerdo a la revisión de la fuente, bajo ciertas condiciones de humedad (%) se puede contribuir a la reacción exotérmica (sobre todo si el agua permanece estática en la zona). Básicamente, se trató de un tema de seguridad.
- Sin embargo, el NO contar con agua durante el proceso de perforación traía fuertes desventajas operativas como: Taladros cortos por tema de 'armado', velocidad de penetración deficiente y desgaste prematuro de aceros.

Por tal motivo, se decide llevar a cabo la prueba la cual se detalla a continuación:



Figura 5. Imagen de temperatura de taladros



Figura 6. Relleno de agua a los taladros (cisterna) y evidencia que el fluido se disipa por las grietas del terreno.

Co respecto al objetivo específico: Identificar la temperatura en terreno sulfuroso con la utilización de diferentes cantidades de emulsión inhibida en minera Yanacocha, el estudio muestra las variaciones de temperatura según las diferentes pruebas realizadas.

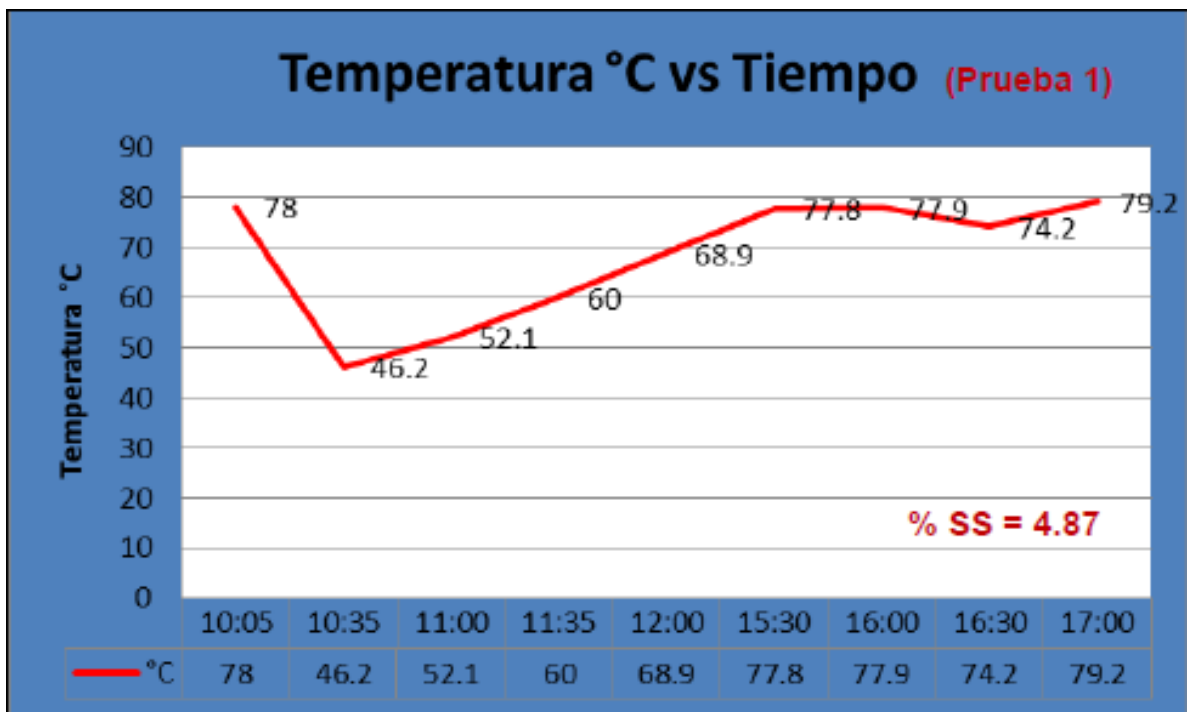


Figura 7. Temperatura vs tiempo de la prueba 1

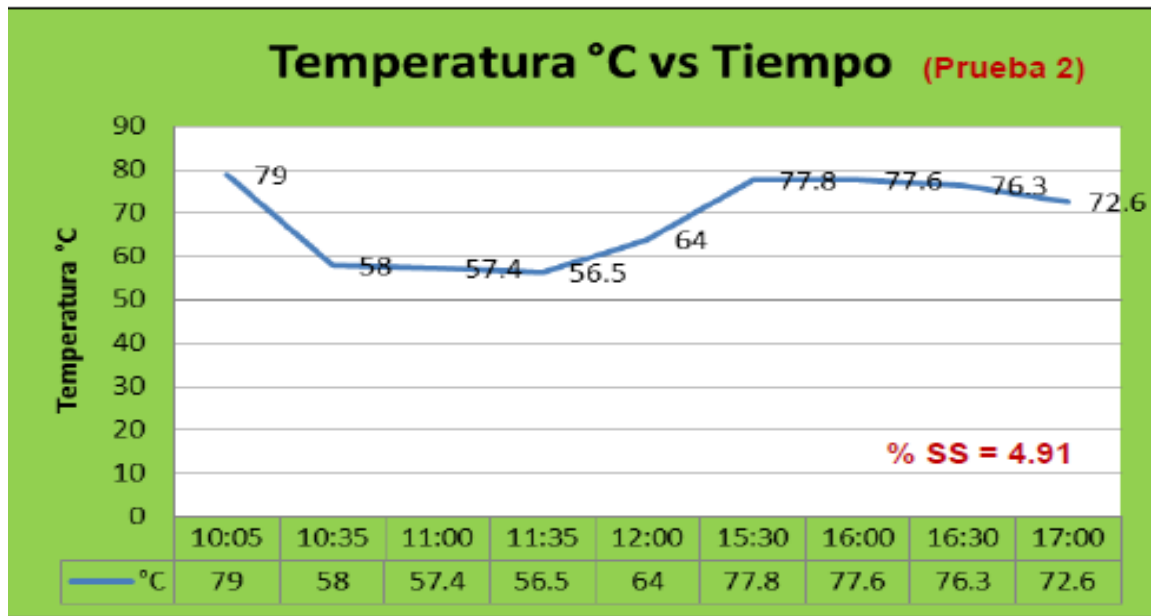


Figura 8. Temperatura vs tiempo de la prueba 2

En ambos casos se evidencia que el agua en un inicio deprime la  $T^\circ$  y con el paso del tiempo esta se incrementa llegando a un valor cercano del inicial.

Pasada las 5 horas de monitoreo la temperatura se mantiene constante (mínima fluctuación)

Al día siguiente (7 am) ambos taladros registraban valores de  $T^\circ$  similares al de inicio de la prueba.

En consecuencia, se autoriza la perforación con agua (normal).

### La Prueba del balde:

Esta prueba se llevó a cabo en in-situ y tuvo por finalidad:

- Determinar Grado de compatibilidad de la 'Mezcla Explosiva Estándar' con el terreno. Normalmente se aplica ME 73 ó 100% Emulsión, en ambos casos gasificado.
- Determinar Grado de compatibilidad de la 'Mezcla Explosiva Inhibida' con el terreno. Esto nos permitió determinar que ME seleccionar y si aún podíamos contar con el beneficio de gasificar.
- Determinar el 'Sleep time' promedio para nuestra singular condición.
- Se separó cutting de la zona identificada como reactiva y se registraron los datos:

T° del taladro: 46 °C

% SS: 5.26 %

T°Cutting fuera del taladro: 15.9 °C

En un balde de 5 L se procedió a verter primero 50% de cutting y luego 50% de emulsión, ambos materiales fueron mezclados para simular condiciones de taladro cargado. Se monitoreó la reacción y temperatura cada hora.



Figura 9. Monitoreo de reacción (color y gases) temperatura.



Figura 10. Monitoreo de reacción (color y gases) temperatura.



Figura 11. Monitoreo de reacción (color y gases) temperatura al día siguiente (9.a.m.). La apariencia se mantuvo y la T° fue la del ambiente.

Se separó cutting de la zona identificada como reactiva y se registraron los datos:

- T°del taladro: 55 °C
- % SS: 7.93 %
- T°Cutting fuera del taladro: 23.1 °C

Con respecto al objetivo específico 2: determinar la variación de las características de las mezclas con diferentes cantidades de emulsión inhibidora en los terrenos

sulfurosos de minera Yanacocha, los resultados muestran los cambios que presentan las mezclas a diferentes cantidades de emulsión inhibidora.

En un balde de 4 L se procedió a verter primero 50% de cutting y luego 50% de emulsión, ambos materiales fueron mezclados para simular condiciones de taladro cargado. Se monitoreó la reacción y temperatura cada hora.



Figura 12. Mezcla cutting con emulsión y observación cada hora



*Figura 13.* Mezcla cutting con emulsión y observación cada hora



*Figura 14.* Mezcla cutting con emulsión y observación cada hora



*Figura 15.* Mezcla cutting con emulsión al día siguiente (9.00 a.m.), su apariencia y T° del ambiente.



Ubicación	Número de malla	Número de talado	Longitud de taladro
YA_3912	601	68	10 m
Temperatura del taladro	% SS	Camión	Mezcla explosiva
43°C	6.778	Q -203	HA – 82 Emulsión TCG con nitrato Quantex (densidad 1.1)
Resultados			
<p>El taladro tenía una temperatura inicial de 43°C; el control de la mezcla se inició a las 11:13am y terminó a las 5.36pm antes de la voladura.</p> <p>Durante la prueba, se mostró un incremento de temperatura durante las 4 primeras horas, para luego descender.</p>			
Observaciones			
<p>El cutting obtenido tenía granulometría muy gruesa (una pulgada aproximadamente), lo cual dificultó la mezcla con el explosivo (el material de cutting era sumamente duro). La muestra no mostró diferencias significativas durante la prueba. Al día siguiente tuvo una temperatura de 30°C, con un líquido rojizo en medio, y al revolver la muestra tenía 23°C al fondo de la mezcla.</p>			

Figura 16. Resultado de las mezclas.



Figura 17. Mezcla inicial



Figura 18. Mezcla final

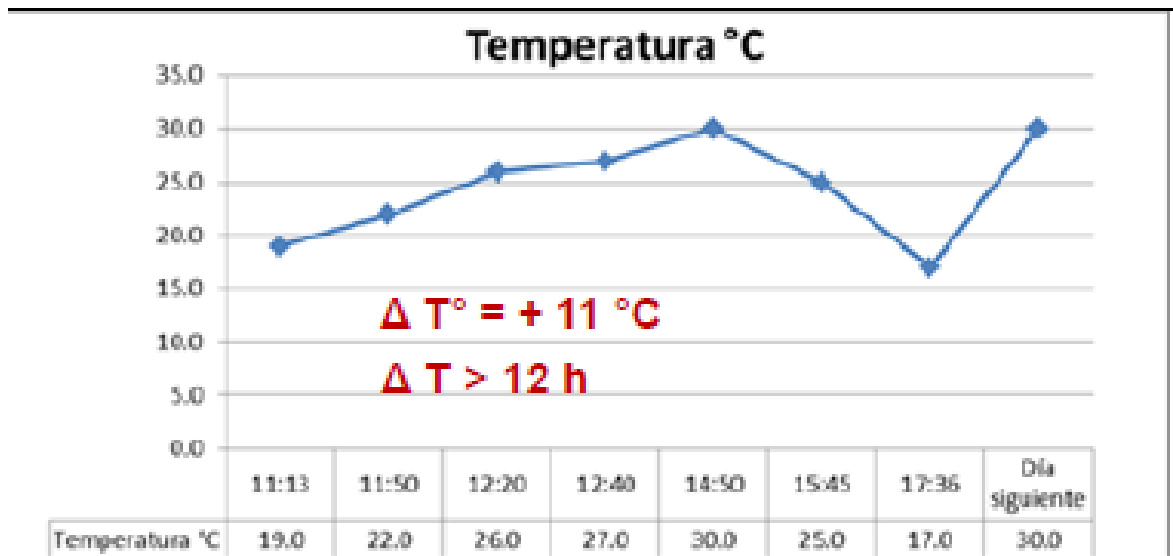


Figura 19. Temperatura final

De ser necesario controlar la temperatura del terreno hasta alcanzar valores adecuados para el uso explosivos, evaluar las siguientes alternativas:

- En terrenos 'Reactivos' aplicar lavado de taladros con soluciones inhibidoras.

Ejemplo: 20% Urea o Soda en solución.

- En terrenos 'No Reactivos' pero de 'Temperatura Elevada' se puede aplicar agua en el taladro como forma de control inmediata.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 5.1 Discusión:

Los resultados indican que con el uso de la emulsión inhibida afecta a la reactividad del terreno sulfurosos al retardar el tiempo de reacción y la reducción de la temperatura. La temperatura óptima de retardo es de 20 °C. Ello contrasta con la investigación realizada por Choqueña (2017) quien en su investigación pretendió optimizar la fragmentación de roca, debido a que encontró bloques con medidas de 80 cm. Tales bloques, después del proceso de voladura, dificultan el proceso de carguío y acarreo por lo que era necesario optimizar la fragmentación rocosa. Por lo que propone la aplicación del sistema P80 con apoyo del software wip frag, 2010 basado en las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos.

El resultado también contrasta con los hallazgos de Vilela (2014) quien en su investigación concluye que en la parte operativa hubo un incremento del rendimiento de los equipos de minado en un 3,23% en seis de las nueve pruebas realizadas con el uso de Anfo pesado 73 gasificado. Sobre todo, se redujo la generación de gases nitrosos los cuales significaban un riesgo para la salud de los trabajadores. Además contrasta con Chávez (2015) quien propuso una buena selección de iniciadores, dispositivos de retardo y cebos reforzados. Con el uso de estos dispositivos obtuvo una voladura eficiente, segura y con niveles de vibración medios. En conclusión, el uso de estos accesorios permite cuidar mejor la vida de los trabajadores encargados de voladuras rocosas. El resultado antes indicado también contrasta con los alcanzados por Hinostroza (2014) quien concluye que con la utilización de la doble iniciación electrónica en el proceso de voladura rocosa logró optimizar la fragmentación de roca, sin presencia de fly rock, la vez dejó constancia que se incrementó el costo en el proceso de voladura debido al incremento de accesorios. También coincide con Choqueña (2017) quien para optimizar la fragmentación de roca consideró los siguientes parámetros: prueba de fragmentación con wip frag, 2010 el P80 es 4,03 pulgadas 3,58 pulgadas y 5,38 pulgadas en macizo rocoso con RMR de 52 en 13 pruebas el promedio de P80 fue de 3,40 pulgadas un tamaño óptimo para el proceso de minado. La conclusión de la investigación indica que en la parte operativa mejoró el dig-rate de los equipos

de acarreo en un rango del 5% por lo que la empresa aceptó el uso de doble iniciación en el proceso de voladura de rocas.

La investigación realizó diferentes pruebas de balde, es así que en el balde de 4 L se procedió a verter primero 50% de cutting y luego 50% de emulsión, ambos materiales fueron mezclados para simular condiciones de taladro cargado. Se monitoreó la reacción y temperatura cada hora. Tal hallazgo contrasta con lo que señala Vilela (2014) el mismo que en la parte económica de las voladuras demostró un ahorro de ocho dólares por taladro en comparación del Anfo pesado 46 a base de emulsión matriz aplicada para material duro y un promedio de catorce dólares por taladro en comparación del Anfo pesado sesenta y cuatro a base de emulsión matriz.

La emulsión inhibidora también está relacionada con el control de la temperatura del terreno. La investigación llevó a cabo dicho control con diferentes valores adecuados para el uso explosivos y evaluar alternativas. Es así que en terrenos 'Reactivos' aplicar lavado de taladros con soluciones inhibidoras. Ejemplo: 20% Urea o Soda en solución. En terrenos 'No Reactivos' pero de 'Temperatura Elevada' se puede aplicar agua en el taladro como forma de control inmediata. Tal resultado coincide con Caona (2015) quien propuso unos nuevos diseños de carga, explosivos y accesorios para el desarrollo del proceso de voladura de rocas. Encontró una mejora de un 10 % en la fragmentación, lo cual contribuyó a todo el proceso de minado. También coincide con Gaona (2015) quien afirma que todos los explosivos que contienen nitrato de amonio pueden reaccionar con minerales que contengan piritas en cantidad apreciable (superiores al 4%), los cuales producen una reacción química cuando logramos alcanzar la temperatura de "autocatalización". Ésta es usualmente del orden de 115 - 120 °C, pero bajo ciertas condiciones puede ser tan baja como 65 – 70 °C.

## 5.2 Conclusiones:

Los resultados de la investigación indican que existe una influencia directa entre el uso de la emulsión inhibida en la reactividad de terrenos. Ello se evidencia en el retardo la acción explosiva de las mezclas.

La investigación muestra un cambio de las características de las mezclas con las diferentes densidades de emulsión inhibidora en los terrenos sulfurosos de minera Yanacocha.

Las evidencias indican que la emisión inhibidora, en diferentes densidades, afecta a la temperatura en terreno sulfuroso de minera Yanacocha.

## **RECOMENDACIONES:**

Al utilizar la tecnología inhibida TCG se demostró un ahorro en comparación con el uso de las mezclas explosivas tradicionales; en el proyecto número 2 se demuestra un ahorro mínimo con la diferencia de 673 dólares. El ahorro máximo se presenta en el proyecto número 4 con una diferencia de 2437 dólares.

La tecnología inhibida TCG es más rentable que los heave Anfos pesados por lo tanto se optimizan recursos y a la vez protege el medio ambiente con la eliminación de gases nitrosos.

## REFERENCIAS

Aguilera & Campos, 2008. *Fragmentación: ¿Distribución de tamaños o distribución de distribuciones?*, VIII ASIEX. Pucón, Chile.

Ames, V., & León, G. (2007). *Tecnología de Explosivos* (Segunda ed.). Lima.

P Bellairs, "Explosive Ground Reactivity Indicators and Strategies to Overcome This Phenomena", International Society of Explosives Engineers (ISEE), 1997.

Code of Practice "Elevated Temperature and Reactive Ground Edition 3", Australian Explosives Industry and Safety Group Inc. (AEISG), June 2012

Choqueña ,2017.Venezuela. Optimización de la fragmentación de la roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos - U. M. APUMAYO S.A.C."

EXSA, *Manual Práctico de Voladura*. 4ta Edición.

ENAEX S.A (2010). Manual de tronadura; Perú.

Gaona Gonzales, A. 2015.Trujillo. Optimización de la voladura, Mina la Virgen - de la Compañía Minera San Simón s.a. - Huamachuco Trujillo".

**Hinostraza**, S.J, 2014. Lima. Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto.

INGEMMET, Boletín 55, 1995. *Geología del Perú*: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.

Instituto Tecnológico Geo minero de España, (1994). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. España

López Jimeno, C; López Jimeno, e; Pernia Ilera, J y Pla Ortiz de Urbina, f. Manual de Perforación y Voladura de Rocas; Edic. Instituto Geológico y Minero de España; Madrid; 2003.

McKenzie, 2008. Excelencia en Voladura – Limitaciones Actuales. VII Jornada de Tronadura, ASIEX 2008. Puerto Varas – Chile.

Vilela Sangay, W. 201. *Análisis de factibilidad para el uso de anfo pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha*. Lima



## ANEXOS ANEXO 1

### 5.1 Desarrollo de proyectos de voladura 5.1.1 Proyecto N° 1 TO\_ 3324

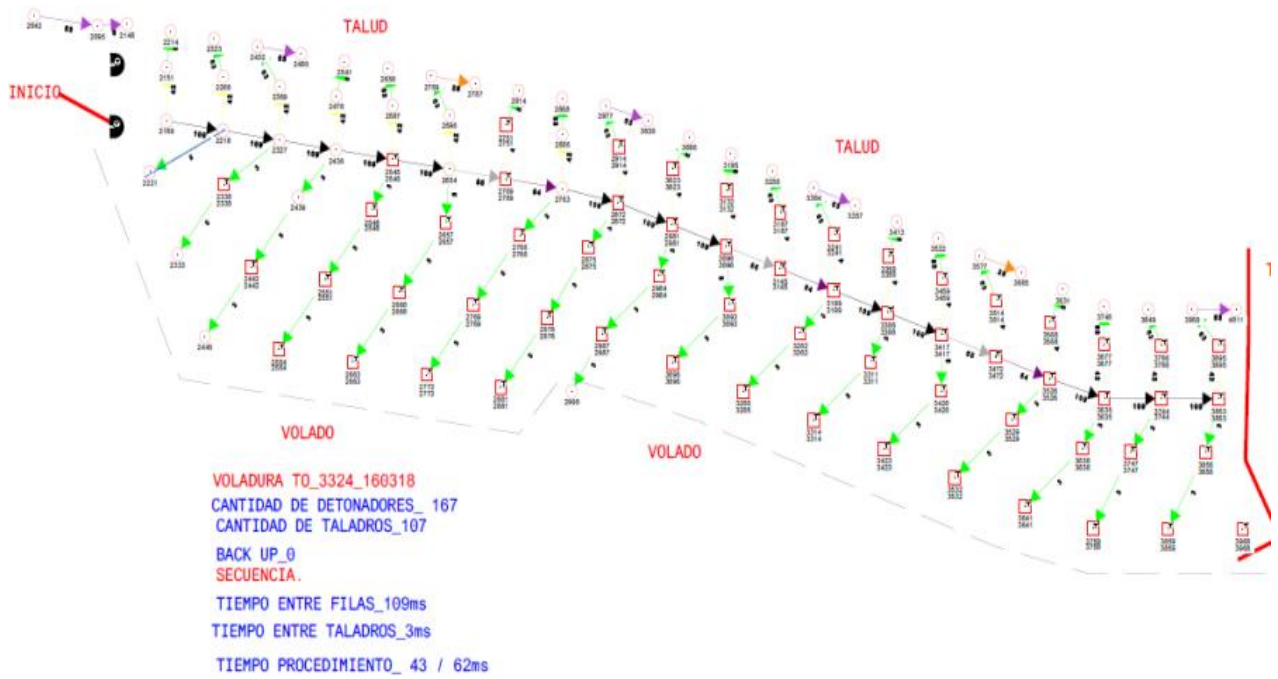


Figura 20. Proyecto de voladura



*Figura 21. Imagen pre voladura.*



*Figura 22. Iniciación del carguío de taladros.*



*Figura 23. Toma de densidades en campo 80/20*



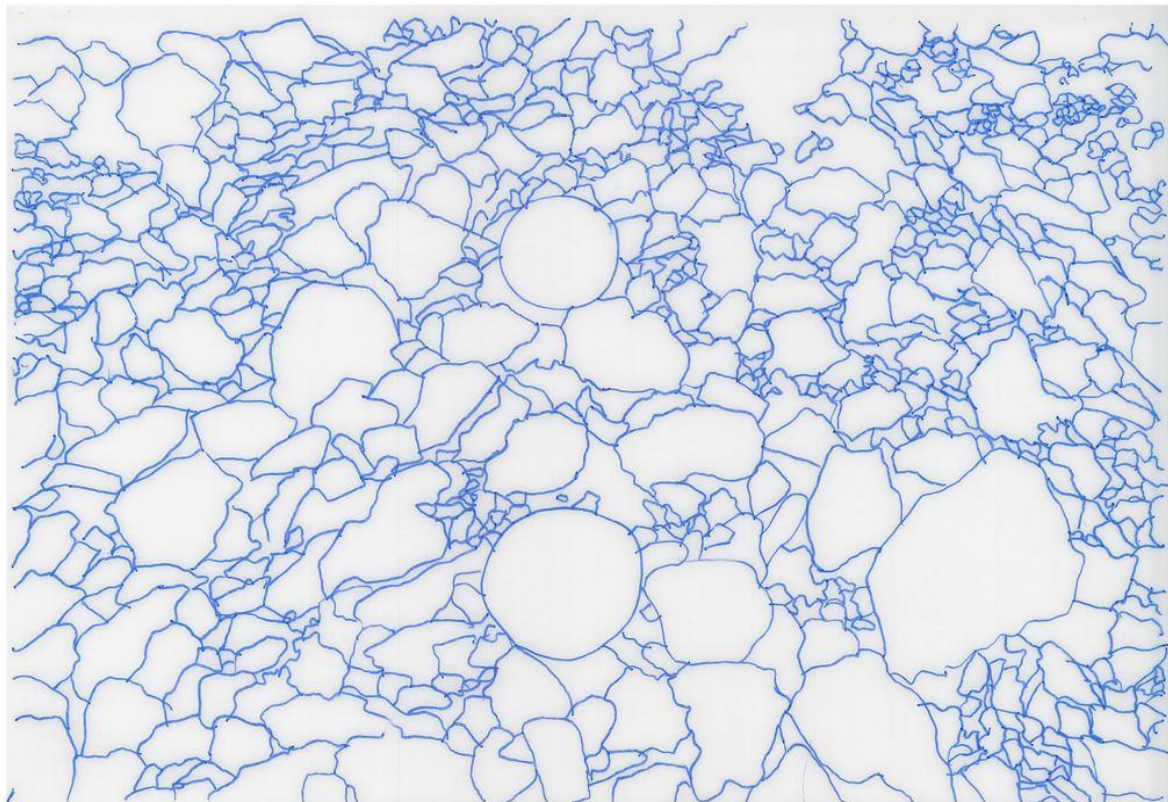
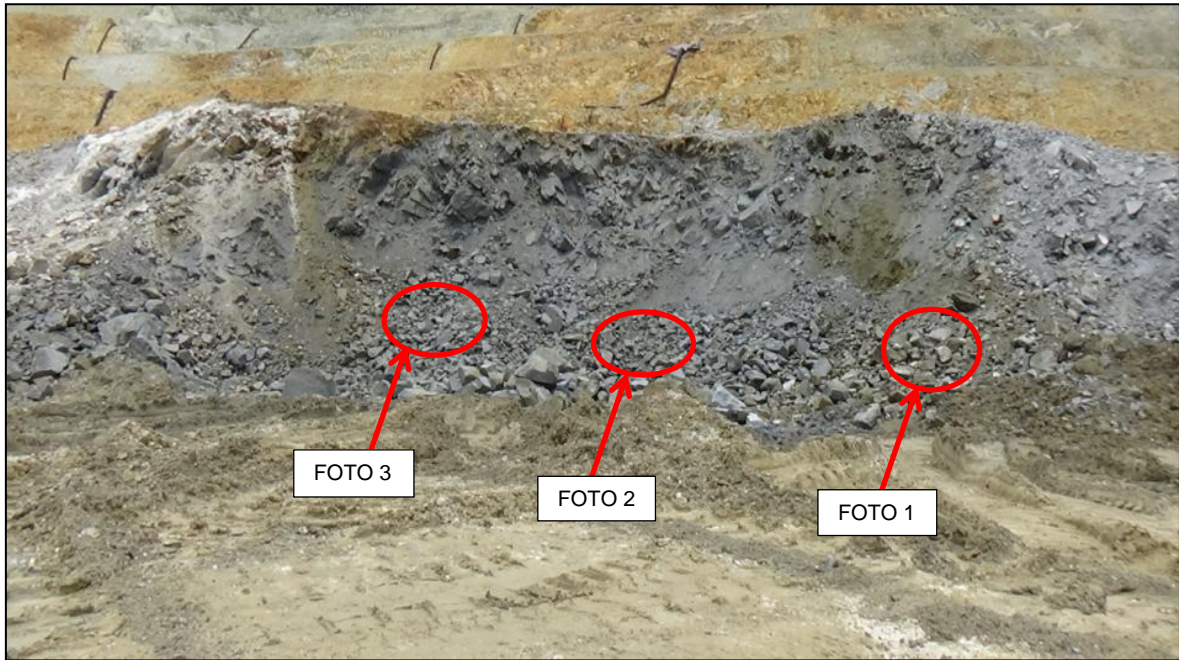
*Figura 24. Imagen termino de carguío*



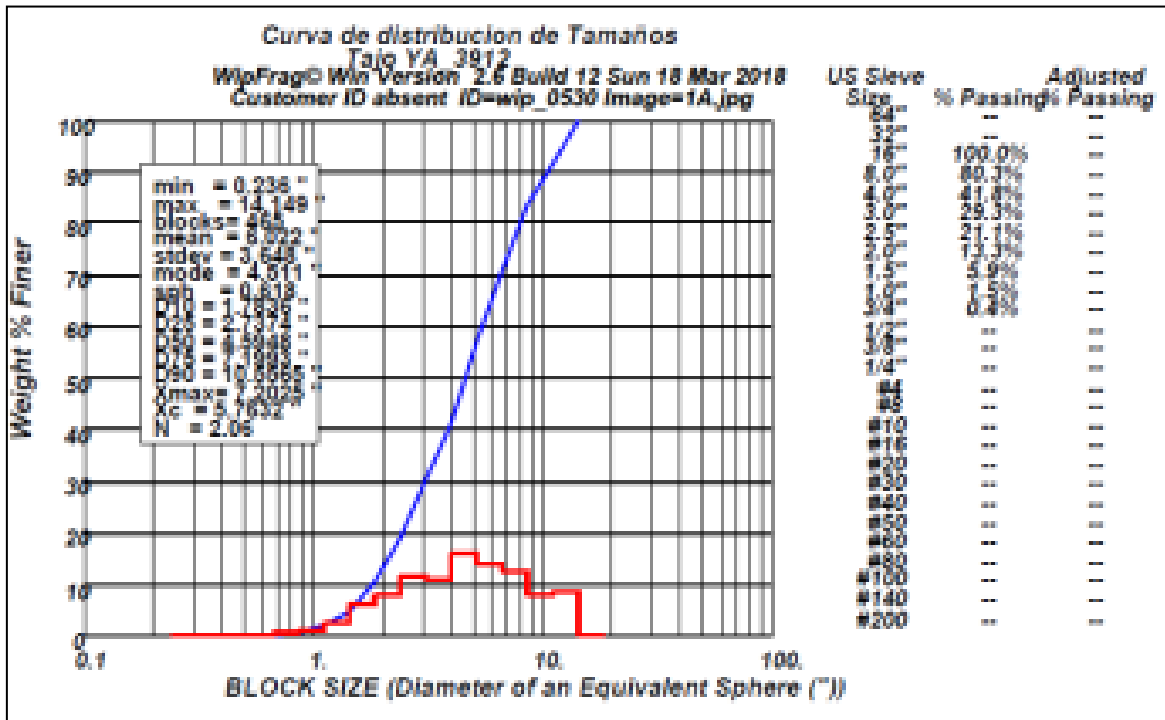
*Figura 25. Imagen post voladura*



*Figura 26. Imagen de fragmentación*



*Figura 27. Análisis de granulometría*





## ANEXO 2

Proyecto N° 2 T.O\_ 3252  
Imagen pre voladura



*Figura 28. Imagen pre voladura*



*Figura 29. Iniciación de carguío*



*Figura 30. Toma de densidades explosivo 80/20. Densidad 1.10*



*Figura 31. Imagen de inicio de amarre de malla.*



*Figura 32. Imagen post voladura.*



*Figura 33. Análisis de fragmentación*

## ANEXO 3

### Proyecto N°3 Tajo Huamanchumo- 3890



*Figura 34. Iniciación de carguío de malla*



*Figura 35. Imagen pre voladura*





*Figura 36. Imagen post voladura*



*Figura 37. Análisis de fragmentación*

ANEXO 4

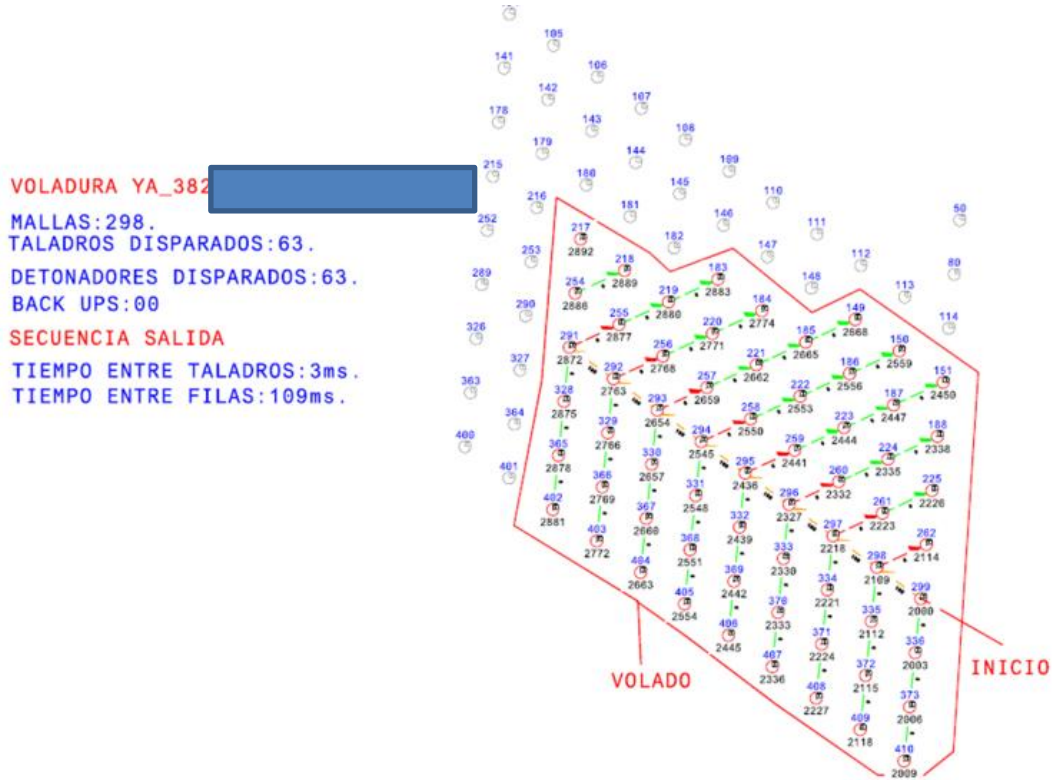


Figura 38. Proyecto No 4 YN-3822



*Figura 39. Iniciación de carguños de taladros.*



*Figura 40. Identificación de taladros cortos.*



*Figura 41. Imagen Pre voladura.*

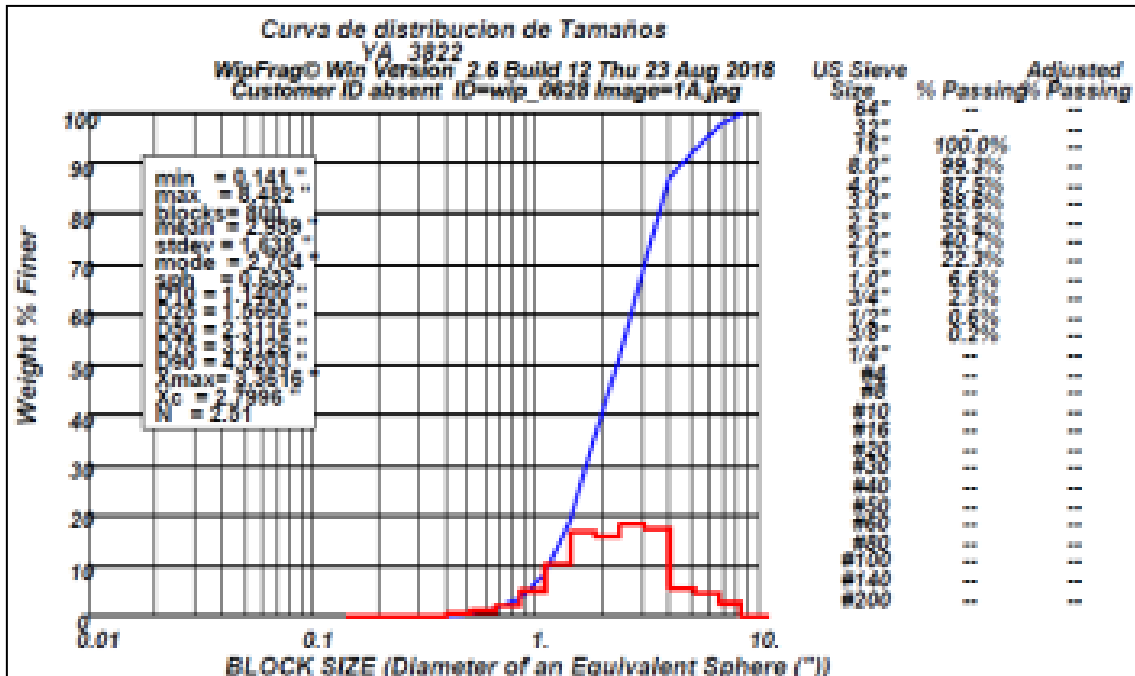


*Figura 42. Imagen post voladura*



*Figura 43. Análisis de fragmentación*





P20: 1.42"  
 P50: 2.32"  
 P80: 3.60"

Figura 44. Análisis de granulometría

## ANEXO 5

### Proyecto N°5 Huamanchumo- 3870



*Figura 45. Iniciación de carguío de malla*



*Figura 46. Imagen Pre voladura*



*Figura 47. Imagen post voladura*



Figura 48. Análisis de fragmentación

Figura 49. Análisis de costos

Datos de los proyectos de voladura

Fecha	Proyecto	Taladros	D. Roca	K. Inhibida	\$ Inhibida	\$ HV 4/6	Ahorro
15/05/2018	TO 3324	48	5	11500	6186	7150	965
07/06/2018	TO 3352	124	5	31571	17057	17730	673
22/06/2018	TH 3890	110	4 y 5	26255	7739	9895.9	2156
28/07/2018	YA 3822	90	5	20000	10761	13197	2437
30/07/2018	TH 3870	92	5	21100	11364	12918	1464
		464		110426	53107	60890	7695

Fuente: Elaboración propia

