



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DEL NITRITO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX, SANG APU Y HEAVY ANFO UTILIZADAS EN LA VOLADURA EN MINERÍA SUPERFICIAL”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA DE MINAS

Autoras:

Danna Chriss Briones Cueva  
Lucero Dhemily Vásquez Huaripata

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León  
Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

A mis padres Charles Briones Cortez y Norma Cueva Ruiz, por haber creído en mí, por brindarme su apoyo incondicional y ser mi ejemplo de superación, humildad y perseverancia.

A mi hermana Itzel Sahian Briones Cueva, por ser la luz que ilumina mi vida, por brindarme su cariño, gran amor y ser mi motivo de lucha.

A mis abuelitos Julio Briones Quiroz y Flaviana Cortez Cabrera, por su amor, ejemplo de humildad, generosidad y por todas sus enseñanzas las que me ayudaron a formarme como persona.

Danna Chriss

A mis padres Gladys Socorro Huaripata Cortez y José Mauro Vásquez Vilela, por haberme forjado su confianza, por los consejos brindados, por su comprensión y perseverancia han sido de gran ayuda en mi carrera profesional, gracias por inculcar en mí su ejemplo y cumplir una meta más en mi vida. Asimismo, a mi hermano José Anthony Vásquez Huaripata, por haberme acompañado durante todo el periodo de estudio ha sido un soporte muy fuerte y alentador, para lograr este proyecto y ser la motivación para los futuros logros de él con la perseverancia y constancia.

Lucero Vásquez

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su gran amor y las fuerzas que me da para seguir luchando, por darme una familia maravillosa a quienes amo con todo mi corazón y quienes son mi motor y motivo.

Danna Chriss

En primer lugar, agradecer a Dios, por darme la vida, la salud y múltiples bendiciones.

A mis padres por brindarme a lo largo de mi vida su amor, apoyo, y por velar siempre por mis necesidades y creer en mí, a mi hermano por apoyarme y darme fuerzas, ser parte fundamental en mi vida.

Al tutor de tesis por brindarnos los conocimientos necesarios, así como también el asesoramiento y guiarnos constantemente para la realización de esta investigación.

Lucero Vásquez

## Tabla de contenidos

<b><i>DEDICATORIA</i></b>	<b>2</b>
<b><i>AGRADECIMIENTO</i></b>	<b>3</b>
<b><i>ÍNDICE DE TABLAS</i></b>	<b>7</b>
<b><i>ÍNDICE DE FIGURAS</i></b>	<b>10</b>
<b><i>RESUMEN</i></b>	<b>12</b>
<b><i>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</i></b>	<b>13</b>
1.2. Formulación del problema.....	30
1.3. Objetivos .....	30
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	30
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	30
1.4. Hipótesis.....	31
1.4.1. <i>Hipótesis general</i> .....	31
1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i> .....	31
<b><i>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</i></b>	<b>32</b>
2.1. Tipo de investigación.....	32
2.2. Población y muestra.....	33
2.2.1 <i>Población</i> .....	33
2.2.2 <i>Muestra</i> .....	33
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos. ....	33

2.3.1	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
2.3.2	Técnicas e instrumentos de análisis de datos.....	34
2.4	Procedimiento .....	34
2.4.1	Etapa de Gabinete.....	34
2.4.2	Etapa de Campo.....	35
2.4.3	Etapa de análisis de datos.....	37
2.5	Aspectos Éticos.....	38
 <b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b>		<b>39</b>
3.1.	Variación de la densidad de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO al incrementar el porcentaje de Nitrito de Sodio.....	39
3.2.	Esponjamiento y kilos de explosivo por metro de taladro con el nitrito de sodio. ..	54
3.3.	Estimación de costos al utilizar las mezclas explosivas QUANTEX SANG APU y HEAVY ANFO.....	57
 <b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>		<b>60</b>
4.1	Discusión.....	60
4.2.	Conclusiones.....	65
 <b>REFERENCIAS.....</b>		<b>67</b>
 <b>ANEXOS .....</b>		<b>72</b>
	Anexo N°1 .....	72
	Anexo N°2.....	72
	Anexo N° 3 .....	73
	Anexo N°4.....	73
	Anexo N° 5.....	74

Anexo N°6.....	74
Anexo N°7.....	75
Anexo N°8.....	75
Anexo N°9.....	76
Anexo N° 10 .....	76
Anexo N° 11 .....	77
Anexo N°13 .....	78
Anexo N°14 .....	78
Anexo N°15 .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

<b><i>Tabla 1</i></b>	<b>19</b>
Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura mezclas explosivas a base de emulsión a granel.	<b>19</b>
<b><i>Tabla 2</i></b>	<b>39</b>
Resultados de la densidad del QUANTEX.	<b>39</b>
<b><i>Tabla 3</i></b>	<b>40</b>
Resultados de la densidad del SANG - APU.	<b>40</b>
<b><i>Tabla 4</i></b>	<b>41</b>
Resultados de la densidad del H.A	<b>41</b>
<b><i>Tabla 5</i></b>	<b>42</b>
Densidad final de 1.1g/cm, este explosivo es versátil trabaja en taladros con agua, húmedos y seos donde la roca sea muy competente (dura).	<b>42</b>
<b><i>Tabla 6</i></b>	<b>43</b>
Densidad final 1.0 g/cm, explosivo para taladros húmedos secos, roca competente.	<b>43</b>
<b><i>Tabla 7</i></b>	<b>44</b>

Densidad final 0.80, explosivo para taladros secos y terreno suave, mayor esponjamiento.	44
<b>Tabla 8</b>	45
Densidad final 1.1g/cm, explosivo para taladros húmedos y secos.	45
<b>Tabla 9</b>	46
Densidad final 1.0 g/cm, explosivo para taladros secos de roca media.	46
<b>Tabla 10</b>	47
Densidad final 1.229 g/cm	47
<b>Tabla 11</b>	48
Densidad final 1.182 g/cm	48
<b>Tabla 12</b>	49
Densidad final 1.141 g/cm	49
<b>Tabla 13</b>	50
Densidad 1.114 g/cm	50
<b>Tabla 14</b>	51
Densidad final 1.15 g/cm, explosivo para taladros secos y terreno suave, menor esponjamiento.	51
<b>Tabla 15</b>	52



Densidad final 1.1g/cm, explosivo para taladros secos y húmedos de roca dura	52
<b>Tabla 16</b>	53
Densidad final 1.0g/cm, explosivo para taladros secos. HEAVY ANFO	53
<b>Tabla 17</b>	54
Esponjamiento y Ahorro del explosivo en el QUANTEX .	54
<b>Tabla 18</b>	55
Esponjamiento y Ahorro del explosivo en el SANG APU	55
<b>Tabla 19</b>	56
Esponjamiento y Ahorro del explosivo en el HEAVY ANFO	56
<b>Tabla 20</b>	57
<i>Costos por Metro de Carga Real en el QUANTEX .</i>	57
<b>Tabla 21</b>	58
Costos por Metro de Carga Real en el SANG APU.	58
<b>Tabla 22</b>	58
<i>Costos por Metro de Carga Real en el HEAVY ANFO</i>	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Gráfico 1</b>	<b>40</b>
Variación de la densidad con respecto al porcentaje de inyección de Nitrito y el Tiempo en el QUANTEX.	<b>40</b>
<b>Gráfico 2</b>	<b>41</b>
Variación de la densidad con respecto al porcentaje de inyección de Nitrito y el Tiempo en el SANG APU	<b>41</b>
<b>Gráfico 3</b>	<b>42</b>
Variación de la densidad con respecto al porcentaje de inyección de Nitrito y el Tiempo en el HEAVY ANFO	<b>42</b>
<b>Gráfico 4</b>	<b>54</b>
<b>Esponjamiento según el porcentaje de inyección de Nitrito en el QUANTEX.</b>	<b>54</b>
<b>Gráfico 5</b>	<b>55</b>
<b>Esponjamiento según el porcentaje de inyección de Nitrito en el SANG APU.</b>	<b>55</b>
<b>Gráfico 6</b>	<b>56</b>
<b>Esponjamiento según el porcentaje de inyección de Nitrito en el HEAVY ANFO</b>	<b>56</b>
<b>Grafico 8</b>	<b>58</b>

Costo del Metro por carga real según el porcentaje de Nitrito en el SANG APU. **58**

*Gráfico 9* **59**

Costo del Metro por carga real según el porcentaje de Nitrito en el HEAVY ANFO.

**59**

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo general, determinar la influencia del nitrito de sodio en las propiedades de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO utilizada en la voladura en minería superficial, para así demostrar que, al adicionar porcentajes de Nitrito de Sodio en la emulsión gasificada, se incrementa el esponjamiento y la densidad, permitiendo así tener un ahorro económico significativo en el explosivo y así minimizar los costos de voladura. El tipo de investigación es de tipo no experimental aplicada con diseño descriptivo. La muestra utilizada consistió en los porcentajes adicionados, en las emulsiones; Quantex al 3 %, 4 %, 5 % y 9 %, Sang Apu al 2.60%, 2.80% y 3% y Heavy Anfo al 3% ,4% y 4.5% de nitrito de sodio en las tres mezclas explosivas estudiadas. Las técnicas de recolección de datos utilizados, fueron la observación y el análisis documental. Los reportes diarios de pre voladura nos permitieron obtener información de los porcentajes del nitrito de sodio utilizados, las densidades y esponjamiento de la mezcla explosiva, los kilos de explosivo por metro con nitrito de sodio, y el ahorro del explosivo por metro. Se concluye que los beneficios económicos son significativos con la utilización de la emulsión gasificada Sang Apu; ya que se ven reflejados en una importante disminución en el costo por metro de carga real, donde se realizó la comparación con el Quantex y Heavy Anfo. De estas tres emulsiones investigadas, el que presente menor costo por metro de carga real, es el SANG APU con una dosificación al 3% de Nitrito de sodio, con un costo de 40.84\$, por el contrario la mezcla explosiva que tiene mayor costo es el Quantex con una dosificación de 3% de nitrito que alcanza un valor 59.25\$.

**Palabras Claves:** Emulsión gasificable, voladura, explosivo, Nitrito de Sodio.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la minería se encuentran muchos obstáculos para el desarrollo de la explotación, siendo uno de ellos los terrenos no fracturados, los cuales generan presiones dinámicas debido a la mayor cantidad de kilos de explosivo que ingresan a los taladros. Por lo tanto, se aplica la adición de nitrito de potasio en las mezclas explosivas, reemplazando a los Heavy Anfo para reducir los tiros quedados, emisión de gases nitrosos y obtener una buena fragmentación de roca. La emulsión gasificable en la actualidad es el explosivo idóneo para estos tipos de terrenos debido a que el nitrito de potasio está presente en la mezcla explosiva (Ingemmet, 1995).

La empresa minera en estudio no es ajena a estos inconvenientes por lo que aplica la mejora continua y satisface las necesidades del área de carguío y acarreo, está investigando la emulsión gasificable con la adición de nitrito de potasio. Se trabaja con una variedad de mezclas explosivas, ya sea por la litología de la roca, VOD o por sus características de resistencia al agua.

El macizo rocoso de la mina en estudio, está conformada por rocas que contienen predominantemente cuarzo, alunita  $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ , además de arcillas. La mineralización aurífera está acompañada de pirita, enargita  $Cu_3(As,Sb)S_4$ , y otros minerales sulfurados de cobre, como covelita, digenita y chalcocita.

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 el desarrollo de dicha evaluación, se presentarán antecedentes Internacionales y Nacionales, que enmarcan nuestro contexto:

En Quito (Ecuador), Chugá y Jácome (2017), presentó su trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero de Minas “Análisis comparativo entre el método convencional HA y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú”. El objetivo de su investigación era realizar un análisis comparativo entre los métodos de voladura convencional y gasificada, con el fin de seleccionar el mejor método con la mejor fragmentación al menor costo. Se utilizaron datos recopilados en campo por el autor, además de la información proporcionada por parte del departamento de Geología y Voladura de la empresa minera. Una vez recopilada la información, se realiza diseños de voladura convencional en sus diferentes mezclas de anfo pesado HA55, HA46, HA37, HA28, de igual manera para la voladura gasificada QUANTEX 73. Se obtiene resultados de fragmentación para cada uno de los métodos, por medio de una evaluación post-voladura y un análisis de costos. Al final se elige el mejor método de voladura con el menor costo bajo la mejor fragmentación. Concluyendo que, para la Roca Andesita Basáltica con alteración Potásica, BA-PTK y Roca Latita

Porfirítica con alteración Potásica, LP-PTK; la opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva convencional con anfo pesado HA28 y para la Roca Aglomerado Gris, AG y la Roca Riolita Porfirítica con alteración Fílica-propílica, RP-FIL-PRO; la opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva gasificada MEQ73.

En Manaus (Brasil), Accinelli (2013), presentó un estudio técnico realizado para la empresa BRITANITE en la minera PITINGA sobre las características del esponjamiento de la emulsión gasificada y su densidad de copa. En el desarrollo del estudio se observa, el primer comportamiento de la densidad a los 40 minutos, cercana a 1.20 g/cc, para una temperatura de la emulsión de 16°C, considerando 1.4% de nitrito y en el segundo comportamiento la densidad a los 40 minutos, en 1.15 g/cc, para una temperatura de la emulsión de 26°C, considerando 1.0% de nitrito, en este caso se optó REDUCIR EL AGENTE SENSIBILIZADOR por el aumento de temperatura para un adecuado proceso de gasificación y formación de burbujas de nitrógeno, obteniendo de esta manera la densidad de 1.15g/cc. Así mismo al reducir el porcentaje de nitrito la bomba de inyección disminuyó la presión de 110 PSI, que tenía al trabajar con un porcentaje de nitrito del 1,4% siendo este motivo por el cual no se pudo lograr reducir la densidad a 1.14 g/cc, estando la emulsión fría, por ende es necesario que se verifique la bomba de inyección a porcentajes de nitrito entre 1.2% a 1.4% llegando a la conclusión que es necesario realizar un control de calidad en el desarrollo de la velocidad de régimen constante , puesto que esta puede estar muy baja debido que se acerca a una densidad crítica en el cual la emulsión gasificada tiende a perder la transferencia de energía tensional hacia el medio rocoso, siendo importante manejar

densidades de copa en el rango de 1.0 a 1.05 para permitir que la densidad al fondo del pozo y al medio se encuentre en lo requerido de 1.12 g/cc.

En Lima (Perú), Alcocer (2013), presentó su trabajo de investigación para optar el Título de Ingeniero Químico “Estudio experimental para la elaboración de emulsión gasificada para la industria minera”. Teniendo como objetivo el uso de la emulsión gasificada frente a la problemática que con lleva el fallo de la detonación ya que la emulsión gasificada es un explosivo que brinda una solución a la generación de humos naranjas. Esta emulsión gasificada, se sensibiliza al añadirle una solución gasificante (nitrito de sodio), al combinarse ambos componentes se genera dentro de la emulsión espacios (esferas) que contienen gas nitrógeno (N<sub>2</sub>); siendo este gas presente en el interior de la emulsión el que ocasiona la variación de densidad, haciendo más sensible a este explosivo. La emulsión gasificada, es una emulsión que presenta una química compleja dentro de la generación del N<sub>2</sub>, y son los componentes de esta, los que determinan la performance de la emulsión. Esta emulsión representa ser una buena alternativa, ante otros explosivos, por sus características. Aumentando una alternativa al mercado de explosivos para el uso en la minería. Y su uso depende del análisis de costo-beneficio de la minera.

En Puno (Perú), Paricahua (2019), En este trabajo de investigación para optar el Título de Ingeniero de Minas “Uso de Emulsión Gasificante SAN – G para reducir el costo de Voladura en la unidad Minera ANDRÉS – JESSICA – ARUNTANI S.A.C” Teniendo como objetivo Evaluar la aplicación de la emulsión gasificable en la columna explosiva para reducir los costos de voladura en la Unidad Minera Andrés – Jessica, empresa ARUNTANI S.A.C. Concluyendo El costo de voladura con los Heavy Anfos de los meses de enero a marzo está en 0.193 \$/ton y los costos de voladura con la SAN



- G están en 0.185 \$/ton con el diseño de carga estándar y 0.168 \$/ton con el diseño de carga modificado este último representa un ahorro de 12.9 %.

En Cajamarca (Perú), López (2021), presentó su trabajo de investigación para optar el Título de Ingeniero de Minas “Empleo de la Emulsión Gasificante SANG APU para minimizar costos de voladura en Minera la Zanja S.R.L”. Teniendo como objetivo principal determinar los beneficios económicos obtenidos con la emulsión gasificante SANG APU. Llegando a la conclusión que el SANG APU nos muestra una importante disminución en el costo por taladro comparados con el Pyronsang y el Anfo. La emulsión gasificable Sang APU, por taladro tiene un costo de 68.43 \$/Tal, mientras que el Pyrosang tiene un costo de 74.72 \$/Tal y el Anfo tiene un costo de 78.72 \$/Tal.

Voladura es la acción de fracturar o fragmentar la roca, el suelo duro, el hormigón o desprender algún elemento metálico mediante el empleo de explosivos. La mismas que se realizan para lograr un objetivo predeterminado pueden ser controladas o no, puede ser a cielo abierto o en galerías, túneles o bajo el agua (Exsa, 2016).

Proceso de Voladura es un conjunto de tareas que comprende: el traslado del explosivo y accesorios de los polvorines al lugar del disparo, las disposiciones preventivas antes del carguío, el carguío de los explosivos, la conexión de los taladros cargados, la verificación de las medidas de seguridad, la autorización y el encendido del disparo (Decreto Supremo 024, 2016).

El diseño de voladura se basa en la aplicación de técnicas de cálculo en un medio heterogéneo en el cual los resultados obtenidos pueden influir en gran medida en el desarrollo de la explotación. El objetivo de una voladura de acuerdo a lo planificado es buscar resultados en fragmentación y desplazamiento además de no afectar a elementos ajenos a la voladura. Para lograr este objetivo y evaluar el correcto rendimiento de una voladura se deben tener en cuenta tres factores fundamentales que son claves en un correcto diseño y control que son una correcta cantidad de energía, correcta distribución de energía y un correcto confinamiento de energía (Llacma, 2017).

La 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).

La teoría de la expansión de los gases se destaca 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).

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)

La 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).

La Deflagración es una combustión súbita con llama a baja de velocidad de propagación sin explosión se suele asociar erróneamente con las explosiones usándose a menudo como sinónimo. (Chuga, 2017)

La velocidad de detonación es la velocidad que viaja la onda de detonación a través del explosivo y por lo tanto es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía en forma de sonido, calor, y gases en un instante de tiempo es la que se aprovecha para la fragmentación de roca. (Vilela, 2014)

**Tabla 1**

*Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura mezclas explosivas a base de emulsión a granel.*

<b>Producto</b>	<b>Densidad (gr/cc)</b>	<b>VOD (m/s)</b>	<b>Resistencia al agua.</b>
Anfo	0.80	3800- 4500	Nula
HA -37	1.00	4800- 5100	Nula

---

HA- 46	1.15	5000- 5200	Nula
HA- 64	1.29	4500- 4800	Excelente
HA- 73	1.30	4300- 4500	Excelente

---

*Fuente: Vilela, 2014.*

Los 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 compuesto químicos o mezclas susceptibles a descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos.

Existen dos tipos principales de materias explosivas: las sustancias y las mezclas explosivas. Las sustancias explosivas son sustancias químicas susceptibles de reaccionar violentamente al disociarse sus moléculas y reagruparse luego en forma más estable. Sus moléculas se descomponen luego de activadas en gases como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, etc., con la liberación de energía que lleva este proceso (Manual Exsa, 2017).

En cambio, las mezclas explosivas se componen de sustancias combustibles y otras oxidantes, por tanto, son aptas para reaccionar entre sí. Las sustancias que la constituyen pueden ser explosivas o no y gran parte de los explosivos industriales pertenecen a ésta clases como anfo, emulsiones, dinamitas, gomas, etc.

Los explosivos Gelatinosos están constituidos por nitroglicerina (NG) gelatinizada con nitrocelulosa (NC). A la “gelatina explosiva”, llamada en España “goma pura”, y es una mezcla del 93% de NG y 7% de NC. La preparó por primera vez por Nobel en el año 1875, al descubrir que la NG disolvía a la NC y cuando la NC de alta viscosidad era añadida a la NG en la proporción ya indicada se obtenía una sustancia gelatinosa que es la nitroglicerina. De esa manera, además de inmovilizarse la NG líquida, se adquiere un balance de oxígeno de la mezcla nulo, por lo que la energía desarrollada es aún superior a la de la NG pura. Este producto obtenido es una sustancia gelatinosa de consistencia plástica, muy apropiada para su uso en labores de voladura por adaptares bien al barreno, debido precisamente a consistencia plástica que adquiere.

El tipo de explosivos gelatinosos que llevan en su composición nitrato amónico como oxidante se llama gelatinas especiales actualmente, casi todos los explosivos gelatinosos se fabrican con NA, debido a su mayor potencia a igualdad en contenido de NG en comparación con otros oxidantes. Los inconvenientes de su menor resistencia al agua (el NA es muy higroscópico), con respecto a las gelatinas con nitrato sódico, pueden ser superadas con la ayuda de productos especiales, tales como jabones metálicos, goma etc., que al agregarse en su composición mejoran mucho su resistencia al agua (Llacma,2017).

Una característica de los explosivos gelatinosos es su potencia elevada, también tienen una alta densidad, esto les hace adecuados para su aplicación en rocas duras y como carga de fondo de barrenos. Asimismo, su buena resistencia al agua los ha hecho, hasta hace poco, útiles en trabajos con agua.

Los hidrogeles y 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 (Manual de voladura Orica, 2014).

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.

Se tiene tres tipos de hidrogeles:

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

Los 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 (Manual Exsa, 2017).

Los hidrogeles sensibilizados con aluminio, 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.

Los hidrogeles sensibilizados con nitrato de amina sensibilizan 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.

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 interfacial y permitiendo que se forme la emulsión cuando se da un buen grado de agitación (Manual Exsa, 2017).

La Emulsión Matriz es una 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).

El ANFO Pesado son mezclas de emulsión matriz y ANFO en diferentes proporciones, 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).

Anfo pesado gasificado indica que el proceso de gasificación del ANFO Pesado consiste en formar pequeñas burbujas en la matriz, las cuales actúan en forma de hot spots. Ello permite variar su densidad y sus demás características, según la cantidad del agente gasificante que se dosifique.



Esta investigación se enfoca en un ANFO Pesado 73 Gasificable (70% Emulsión, 30% ANFO), llevado a diferentes densidades con tal de conseguir (tanto en costos como fragmentación) resultados similares o mejores a los obtenidos con las mezclas explosivas utilizadas hasta la fecha: ANFO Pesados a base de emulsión matriz.  
(Espinoza 2016)

El detonador es cualquier dispositivo que contenga una carga detonadora usada para iniciar un explosivo (Manual de voladura Orica 2012). Entre estos dispositivos se incluyen los fulminantes eléctricos y no eléctricos instantáneos o los fulminantes de retardo, y también los conectores de retardo. El término “detonador” no incluye al cordón detonante. Comúnmente, los detonadores consisten en un pequeño tubo metálico o plástico que contiene explosivos, tales como ácido de plomo, PETN o combinaciones de explosivos. Están diseñados para iniciar un tren de voladura. Pueden construirse para detonar inmediatamente o pueden contener un elemento de retardo. Pueden contener no más de 10g de peso total de explosivos, sin incluir las cargas de ignición y retardo, por unidad (Manual de voladura Enaex 2015).

El carguío es la colocación del material explosivo ya sea en un taladro o contra el material que se va hacer volar (Manual de voladura Exsa, 2014).

Llamamos balance de Oxígeno a los productos principales que se generan en una voladura bajo condiciones ideales son el nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. Un exceso de oxígeno en un explosivo puede originar la formación de óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>); mientras que un déficit de oxígeno puede ocasionar la

formación de monóxido de carbono (CO); ambos gases son extremadamente tóxicos (Instituto minero de España, 2012).

No existe ningún explosivo que no produzca gases. Los explosivos comerciales generalmente son mezclas de combustibles sólidos (combustibles) y proveedores de oxígeno (nitratos) activadas con un sensibilizador. Para asegurar la combustión completa, que producirá simultáneamente potencia (energía) máxima, y minimizar la producción de gases nocivos, es necesario que se controle la relación de proveedores de oxígeno a combustibles

La Emulsión SLURREX Q es una emulsión a granel especialmente diseñada para la reducción de gases nitrosos y para ser usada en taladros con agua, permitiendo esta forma la reducción de costos de operación dado que se puede controlar la densidad del explosivo, lo que brinda un gran poder energético y lo hace aplicable en taladros de grandes dimensiones (Exsa,2016).

La Solución gasificante (nitrito de potasio L-9) formulada para promover generación de burbujas de nitrógeno al estar en contacto con la emulsión gasificable generándose así el explosivo gasificado (Famesa,2016).

La mezcla explosiva Quantex 73 es la mezcla explosiva compuesta de un 70% de emulsión gasificable; Slurrex Q, potenciada con un 30% de nitrato de amonio Quantex o emulsión gasificable, a la que posteriormente se le agrega una solución

gasificante que le brinda la sensibilidad requerida y densidad deseada de acuerdo al diseño de tronadura. La mezcla explosiva QUANTEX 73 está especialmente diseñada para rocas duras.

Cuando se mezcla nitrito de Sodio con QUANTEX 73 (emulsión Q), se produce una reacción química que genera burbujas de Oxígeno, la generación de estas burbujas incrementa el volumen de la mezcla, produciéndose la gasificación o esponjamiento. Estas burbujas de oxígeno reemplazan la función del nitrato de amonio, que es quien aporta oxígeno en un anfo, Heavy anfo.

En nuestra operación se trabaja con varios tipos de mezclas, ya sea por VOD o por sus características de resistencia al agua. Controlando la inyección de nitrito cambiaremos la densidad final del explosivo y podremos reemplazar mezclas tradicionales, el tiempo que requiere el explosivo para gasificar es de 20 min.

De acuerdo a la cantidad de nitrito que se inyecte se genera la siguiente relación:

- A mayor inyección de nitrito, mayor esponjamiento y menor densidad final.
- A menor inyección de nitrito, menor esponjamiento y mayor densidad final.

“es importante saber que las mezclas gasificadas bien elaboradas no generan gases nitrosos contribuyendo con el medio ambiente”.

Dentro de las mezclas gasificables se consideran: Quantex 73, Heavy Anfo 70/30 Gasificable y Heavy anfo 70/30 ENAEX. El Heavy Anfo es una mezcla de emulsiones

y Anfo. según las proporciones varia sus características, con un porcentaje alto de emulsión es resistente al agua, bombeable y tiene alta velocidad de detonación (Yana,2012).

La emulsión matriz gasificable Sang Apu, es compuesta químicamente por una mezcla microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante.

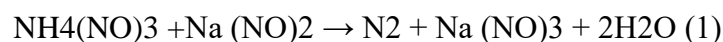
sensibilizada en lugar de trabajo, justo antes de su llenado en los taladros con la solución gasificante, generando un explosivo de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y con mayor velocidad de detonación que el Anfo, así mismo tiene la posibilidad de ser sensibilizado con Anfo en diferentes medidas y ser gasificada.

La emulsión Sang Apu debe ser despachada por camiones fábrica que en comparación de los camiones tradicionales que cargan Anfo, permanecen equipados de un sistema de gasificación de emulsión matriz, conformado por un equipo de programación lógica (PLC) que posibilita programar y planificar la proporción de emulsión, Anfo, solución gasificante y agua a distribuir; también controlar en tiempo real, la temperatura y la presión de bombeo. Cuenta con seguridad automatizada, ya que paraliza el despacho de bombeo y gasificación en el momento que supera 160 psi la presión de la bomba de trabajo.

La emulsión gasificable tiene la posibilidad de ser llenado por bombeo o por gravedad desde los camiones fábrica hasta dentro de los barrenos. Cuando se tiene cargado los barrenos, debe pasar 20 minutos para la poner el taco en el barreno. Las virtudes más importantes del uso de Sang Apu:

- Gran trabajo donde se encuentra, áreas húmedas, secas o inundadas y con diferentes tipos de rocas.
- Al llenar los taladros, las columnas explosivas se acoplan totalmente, generando con esa situación toda la energía que se encuentra en la misma.
- La utilización de la misma permite un trabajo seguro, ya que la emulsión matriz se sensibiliza al final de todo el proceso; cabe recalcar que es un producto químico no explosivo hasta entrar en los taladros.
- Se carga a distintas densidades y energías, y ello nos permite cumplir con lo planificado de generar una excelente granulometría y superar la eficiencia 23 desde mina hasta su molienda en la planta o su disposición en las canchas de lixiviación.
- Con su característica de gran poder rompedor se puede ampliar las mallas de perforación y de minimizar los costos asociados.
- Disminuye el tiempo del carguío de taladros, por su facilidad de manejo. (Manual de perforación y voladura FAMESA,2019)

Sensibilización de la emulsión indica que el estudio se enfoca en la sensibilización de la mezcla mediante la generación de burbujas de aire por la adición de un agente gasificante, siendo en este caso el nitrito de sodio ( $\text{Na NO}_2$ ). Esta sustancia química reacciona con el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ ), generando pequeñas burbujas de gas nitrógeno. A continuación, se muestra la reacción química que ocurre.



La reacción se lleva a cabo de manera muy lenta y con la finalidad de acelerar el proceso de gasificación se agrega ácido acético, el cual se encarga de romper algunas microgotas de emulsión y liberar al nitrato de amonio en su interior para que reaccione

con el nitrito de sodio. También es necesario agregar el catalizado, el cual se encarga de acelerar aún más el proceso de gasificación. (FAMESA EXPLOSIVOS SAC 2009).

la densidad es un parámetro crítico en los explosivos, debido a que de éste dependen muchas importantes características como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras. Además, los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base a su peso. Por tal motivo, la cantidad de explosivo que se diseña para cada taladro está basada en la densidad (López Jimeno, y otros 2003)

Espaciamiento. Es la longitud entre pozos de una misma fila que se serán volados con el mismo tiempo o con tiempos distintos y superiores en la misma fila. Se logra determinar relacionados con la longitud del Burden, a la sucesión de arranque y la diferencia de tiempos entre pozos (Exsa, 2019).

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye el nitrito de sodio en las propiedades de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO utilizada en la voladura en minería superficial?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del nitrito de sodio en las propiedades de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO utilizada en la voladura en minería superficial.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Evaluar la variación de la densidad de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO al incrementar el porcentaje de nitrito de sodio

Determinar el esponjamiento y los kilos de explosivo por metro de taladro con el nitrito de sodio.

Estimar el ahorro en costos al utilizar las mezclas explosivas QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El nitrito de sodio influye significativamente en las propiedades de la mezcla explosiva Quantex, SANG APU y HEAVY ANFO variando el porcentaje de nitrito en 20 minutos de mezclado, logrando densidades entre 0.8 y 1.229 gr/cm<sup>3</sup> y esponjamientos entre 23 a 40 cm.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

Al incrementar el porcentaje del nitrito de sodio se evaluará la variación de la densidad de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO.

Al incrementar el porcentaje en el Nitrito de Sodio se determinará el esponjamiento y los kilos de explosivo por metro de taladro.

Conociendo el precio del explosivo en dólares por tonelada, se podrá estimar el ahorro en costos al utilizar las mezclas explosivas QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuasi experimental aplicada con diseño descriptivo, puesto que nuestro objetivo principal es determinar la influencia del nitrito de sodio en las propiedades de las mezclas explosivas QUANTEX, SANG APU Y HEAVY ANFO utilizada en la voladura en minería superficial.

Roser Bono (2012). Los diseños cuasi-experimentales, son como experimentos de asignación aleatoria en todos los aspectos, excepto en que no se puede presumir que los diversos grupos de tratamiento sean inicialmente equivalentes dentro de los límites del error muestral. Los principales instrumentos de trabajo dentro del ámbito aplicado, son esquemas de investigación no aleatorios. Dado la no aleatorización, no es posible establecer de forma exacta la equivalencia inicial de los grupos, como ocurre en los diseños experimentales. Cook y Campbell (1986) consideran los cuasi-experimentos como una alternativa a los experimentos de asignación aleatoria, en aquellas situaciones sociales donde se carece de pleno control experimental.

Es una investigación que posee todos los elementos de un experimento, excepto que los sujetos no se asignan aleatoriamente a los grupos. En ausencia de aleatorización, el investigador se enfrenta con la tarea de identificar y separar los efectos de los tratamientos del resto de factores que afectan a la variable dependiente

Los diseños cuasi-experimentales tienen el mismo propósito que los estudios experimentales: probar la existencia de una relación causal entre dos o más variables.

Cuando la asignación aleatoria es imposible, los cuasi-experimentos (semejantes a



los experimentos) permiten estimar los impactos del tratamiento o programa, dependiendo de si llega a establecer una base de comparación apropiada.

## **2.2.Población y muestra**

### **2.2.1 Población**

Los porcentajes del nitrito de sodio en la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO utilizadas en la voladura en minería superficial.

### **2.2.2 Muestra**

Porcentajes para las emulsiones; Quantex al 3 %, 4%, 5% y 9%, Sang Apu al 2.60%,2.80% y 3% y Heavy Anfo al 3% ,4% y 4.5% de nitrito de sodio en las mezclas explosivas utilizadas en la voladura en minería superficial.

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

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

Las técnicas de recolección de datos utilizados fueron la observación y el análisis documental. Con la observación directa se pudo identificar en campo las mezclas explosivas y el nitrito de sodio, así mismo el esponjamiento. La técnica de análisis documental consistió en la recolección de información sobre la mezcla explosiva Quantex, San Apu y Heavy Anfo en catálogos de la empresa EXSA y de tesis en los repositorios de las universidades. También se recolectó información de los reportes diarios de trabajo de voladura.

Los reportes diarios de voladura nos permitieron obtener información de los porcentajes del nitrito de sodio utilizados, las densidades y esponjamiento de la mezcla explosiva, los kilos de explosivo por metro con nitrito de sodio, y el ahorro del explosivo por metro.

### **2.3.2 Técnicas e instrumentos de análisis de datos.**

Para realizar esta investigación se recolecto información de los reportes diarios de voladura, obteniendo resultados de las reportes de control densidades del nitrito sodio(laboratorio) y reporte del porcentaje del nitrito de sodio; posteriormente con los datos obtenidos se ingresaron a una base de datos para realizar su respectivo procesamiento de datos estadísticos, de acuerdo al diseño las muestras, utilizaron la cantidad de emulsión requerida en cada proyecto de voladura en comparación con otros agentes en consideración , concluyendo con el ahorro de emulsión Quantex 73, Sang Apu y Heavy Anfo 70/30 .

## **2.4 Procedimiento**

### **2.4.1 Etapa de Gabinete.**

En primer lugar, se procedió a la revisión de antecedentes, investigaciones previas, elaborados respecto al tema, en los diversos ámbitos, tanto local, nacional e internacional, para lo cual se requirió el ingreso a los repositorios virtuales para buscar la información utilizando palabras claves como, emulsión gasificada, nitrito de sodio, Quantex, Sang Apu y Heavy Anfo. Esta información fue tabulada en Excel y se incluyó la información comprendida desde el año 2010 para adelante.

## 2.4.2 Etapa de Campo.

Se realizó el reconocimiento en campo de los componentes de la emulsión gasificable: nitrato de amonio, emulsificante, petróleo, ácido acético y Nitrito de sodio; constituyentes de las mezclas Quantex 73, Quantex 82 y Quantex 91, Sang Apu y Heavy Anfo.

El día 24 de octubre del año 2021, se procedió con la descarga de una cisterna con los productos Quantex, Sang Apu y Heavy Anfo en 25000 kilos de cada mezcla explosiva. Se tomó muestras del contenido de las cisternas para realizar las pruebas de densidad y esponjamiento en función del tiempo de gasificado de dicha matriz, para lo cual se empleó los siguientes tiempos: Inicial, 5 min, 10 min, 15min y 20min.

Se realizó una primera prueba dosificando 3% de Nitrito de sodio, la segunda prueba fue con 4%, la tercera prueba 5% y la cuarta prueba fue 9 % para el Quantex. Para el Sang Apula primera prueba dosificando 2.6% de Nitrito de sodio, la segunda prueba fue con 2.8%, la tercera prueba 2.8% y la cuarta prueba fue 3 % y para el Heavy Anfo una primera prueba dosificando 3% de Nitrito de sodio, la segunda prueba fue con 4%, la tercera prueba 4.5%. Para cada prueba se midió su densidad inicial y las densidades con los tiempos ya indicados. Así mismo se midió su esponjamiento para cada prueba, los kilos de explosivo por metro de taladro, los kilos de explosivo por metro con nitrito de sodio y se determinó el ahorro de explosivo por metro utilizando el explosivo por prueba.

Para realizar estas pruebas se realizó el siguiente procedimiento

Procedimiento para determinar el cálculo de densidad en campo

1. Contar con todos los equipos de protección personal (EPP).
2. Kit de densidades

- Balanza metálica
  - Recipiente graduado de peso y volumen conocido.
  - Espátula
  - Cronómetro
  - Calculadora
  - Termómetro
  - Trapo industrial
3. Determinación de la densidad en campo
- a) Obtener una muestra del producto a analizar, con el recipiente graduado.
  - b) Llene el vaso graduado, seguidamente dando golpes al recipiente (aprox. 8 golpes ligeros de arriba hacia abajo) para poder así eliminar las burbujas creadas en el interior del recipiente.
  - c) Enrase el recipiente con el producto con la ayuda de la espátula.
  - d) Limpie la pared exterior del recipiente de cualquier adhesión del producto con el trapo industrial.
  - e) Determine el peso total con la balanza.
  - f) Verificar en el cuadro de referencias para obtener la densidad o mediante la ayuda de la siguiente formula halle la densidad:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso del recipiente vacío (gr)}}{\text{Volumen del recipiente (cm}^3\text{)}}$$

- g) Repetir los pasos desde el principio con dos a tres muestras más y luego sacar el promedio final.

Procedimiento para determinar la densidad y esponjamiento de la mezcla explosivas Quantex, Sang Apu y Heavy Anfo, es el siguiente:

- a) Llene el 70% del vaso y asiente 2 veces ligeramente fuerte para evitar que tenga espacios vacíos.
- b) Complete el vaso y enrase.
- c) El tiempo de gasificado se controla desde que se enraza el vaso.
- d) Coloque en la balanza.
- e) Observe que la densidad inicial sea correcta.
- f) Cuando transcurra 5 min.
- g) Vuelva a enrazar y pese.
- h) Controle la densidad si está dentro del rango (utilice la tabla de tiempos y densidades).
- i) Si la densidad varía en más de 0.03 puntos avise al operador para que aumente o disminuya la inyección de nitrito, fabrique 100 kg más y vuelva a sacar la densidad.

### 2.4.3. Etapa de análisis de datos

Para procesar la información tuvieron que emplear las siguientes formulas:

Cálculo de Kg explosivo x metro = (diámetro del taladro)<sup>2</sup> X densidad del explosivo X factor (0.507)

Cálculo de Kg x m con nitrito = (kilogramo del explosivo x metro) /1 metro + esponjamiento en cm

Cálculo de Ahorro del explosivo/m = Kg explosivo x metro – kg x m con nitrito

Se procesaron en cuadros estadísticos y tablas dinámicas, de manera digital en el programa Excel los datos recolectados en campo.

Con los datos de esponjamiento, se calculó los kilos de explosivo por metro, para luego calcular los kilos por metro con nitrito; determinándose así el ahorro de explosivo por metro.

## 2.5 Aspectos Éticos

El presente trabajo de investigación se ejecutó de acuerdo con los protocolos de gestión de tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas, establecido por la Universidad Privada del Norte; por tal motivo en primer lugar se cumplió con la normatividad institucional que rigen una investigación con derechos de autor; en segundo lugar se nombró las fuentes bibliográficas y corroboró la información; en tercer lugar se propuso la accesibilidad a la información completa en beneficio de la comunidad científica; obteniendo resultados que serán publicados y compartidos para futuras investigaciones; en cuarto lugar, se presentó el informe de la tesis con un contenido entendible, recalcando metodología, análisis e interpretación de resultados. Finalmente se citó acorde a la norma APA, de manera correcta.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Variación de la densidad de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO al incrementar el porcentaje de Nitrito de Sodio.

Con respecto al primer objetivo los resultados indican que, al incrementarse el porcentaje de nitrito de sodio, la densidad del explosivo disminuye hasta los 20 minutos de la prueba final. Estos resultados se muestran en la tabla 2,3 y 4 con el explosivo QUANTEX 73, SANG APU Y HEAVY ANFO respectivamente.

**Tabla 2**

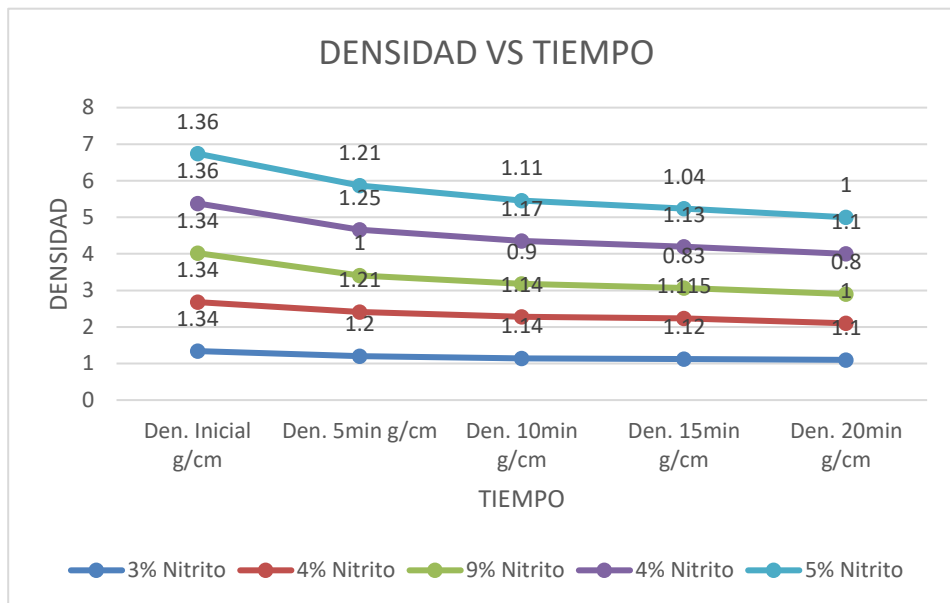
*Resultados de la densidad del QUANTEX al 73.*

<b>DENSIDADES DEL QUANTEX</b>					
%Nitrito	Den. Inicial	Den.5min	Den.10min	Den.15min	Den.20min Final
3%	1.34g/cm	1.20g/cm	1.14g/cm	1.12g/cm	1.1g/cm
4%	1.34g/cm	1.21g/cm	1.14g/cm	1.115g/cm	1.0g/cm
9%	1.34g/cm	1.0g/cm	0.90g/cm	0.83g/cm	0.80g/cm
4%	1.36g/cm	1.25g/cm	1.17g/cm	1.13g/cm	1.1g/cm
5%	1.36g/cm	1.21g/cm	1.11g/cm	1.04g/cm	1.0g/cm

**Nota:** Esta tabla nos ayudará a determinar las densidades de las mezclas gasificadas, cuyos resultados muestran 5 valores referenciales de las densidades respecto al tiempo después de cada 5 min hasta los 20 min como densidad final, en la emulsión QUANTEX 73. Los datos fueron tomados en campo.

### Gráfico 1

Variación de la densidad con respecto al porcentaje de inyección de Nitrito y el Tiempo en el QUANTEX.



Fuente : Mediciones en campo

### Tabla 3

Resultados de la densidad del SANG - APU.

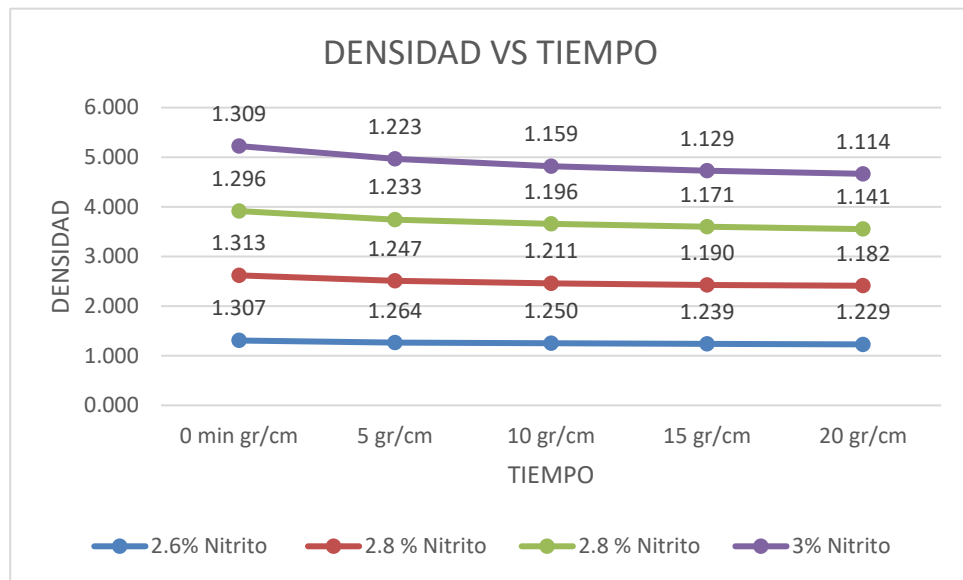
SAN APU					
%Nitrito	Den. Inicial	Den.5min	Den.10min	Den.15min	Den.20min Final
2.6%	1.307	1.264	1.250	1.239	1.229
2.8%	1.313	1.247	1.211	1.190	1.182
2.8%	1.296	1.233	1.196	1.171	1.141
3%	1.309	1.223	1.159	1.129	1.114

**Nota:** Esta tabla nos ayudará a determinar las densidades de las mezclas gasificadas, cuyos resultados muestran 5 valores referenciales de las densidades respecto al tiempo después de cada 5 min hasta los 20 min como densidad final.



## Gráfico 2

Variación de la densidad con respecto al porcentaje de inyección de Nitrito y el Tiempo en el SANG APU



Fuente : Mediciones en campo

## Tabla 4

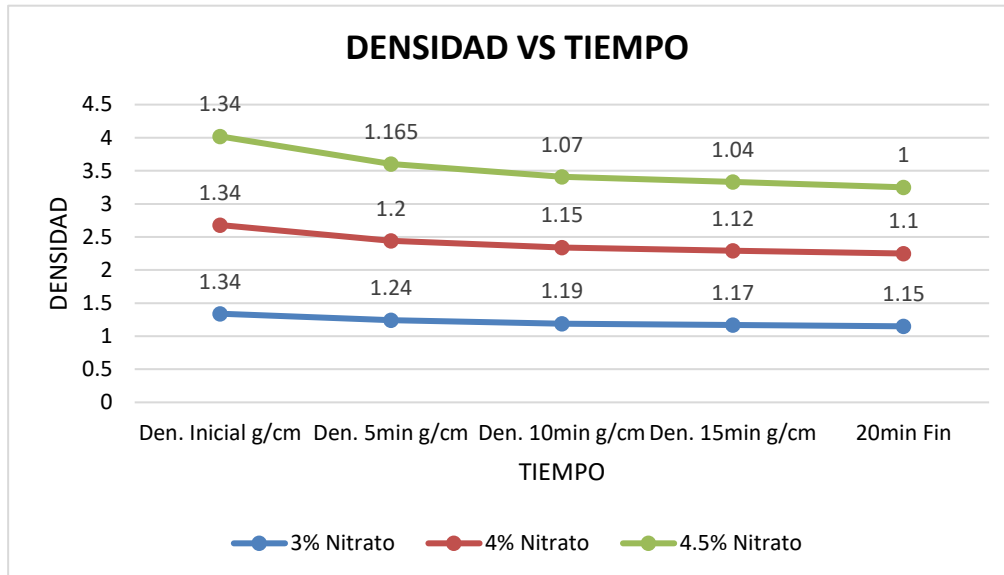
Resultados de la densidad del H.A

H.A					
% Nitrito	Den. Inicial	Den. 5min	Den. 10min	Den. 15min	Den. 20min Fin
3%	1.34g/cm	1.24g/cm	1.19g/cm	1.17g/cm	1.15g/cm
4%	1.34g/cm	1.2g/cm	1.15g/cm	1.12g/cm	1.1g/cm
4.5%	1.34g/cm	1.165 g/cm	1.07 g/cm	1.04 g/cm	1.0 g/cm

**Nota:** Esta tabla nos ayudará a determinar las densidades de las mezclas gasificadas, cuyos resultados muestran 5 valores referenciales de las densidades respecto al tiempo después de cada 5 min hasta los 20 min como densidad final, en la emulsión H. A 75/25. Los datos fueron tomados en campo, en la emulsión SAN APU. Los datos fueron tomados en campo.

### Gráfico 3

Variación de la densidad con respecto al porcentaje de inyección de Nitrito y el Tiempo en el HEAVY ANFO



Fuente : Mediciones en campo



### Resultados de las mediciones de la densidad del explosivo al variar el porcentaje de nitrito de sodio.

#### Emulsión Quantex

Tabla 5

Densidad final de 1.1g/cm, este explosivo es versátil trabaja en taladros con agua, húmedos y seos donde la roca sea muy competente (dura).


<b>Densidad Final 1.1</b>			
INYECCIÓN DE NITRITO			3% $\cong$ 0.03
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.34 – 1.35g/cm	1.1 g/cm	20 – 25 cm	7/3, 6/4
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
1.344 g/cm			


	
<p><b>Densidad Final</b></p>	
<p><b>1.099 g/cm</b></p>	

Fuente : *Mediciones en campo*

**Tabla 6**

*Densidad final 1.0 g/cm, explosivo para taladros húmedos secos, roca competente.*

<b>Densidad Final 1.0</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			4% $\cong$ 0.04
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.34 – 1.35g/cm	1.0 g/cm	30 – 35 cm	3/7, 4/6
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
<b>1.345 g/cm</b>			


<b>Densidad Final</b>	
<b>1.01 g/cm</b>	

Fuente : *Mediciones en campo*

**Tabla 7**

*Densidad final 0.80, explosivo para taladros secos y terreno suave, mayor esponjamiento.*

<b>Densidad Final 0.80</b>			
INYECCION DE NITRITO			9% $\cong$ 0.09
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.33 – 1.34g/cm	0.80 g/cm	40 cm	ANFO H.A 20/80 , 30/70
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
<b>1.33 – 1.34 g/cm</b>			

<b>Densidad Final</b>	
<b>0.80g/cm</b>	
<b>(Tiempo 20 min)</b>	

Fuente : *Mediciones en campo*

**Tabla 8**

*Densidad final 1.1g/cm, explosivo para taladros húmedos y secos.*


<b>Densidad Final 1.1 g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			3% $\cong$ 0.03
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
	1.1 g/cm	20 cm	4/6
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
<b>1.335 g/cm</b>			

<b>Densidad Final</b>	
<b>1.101 g/cm</b>	

Fuente: Mediciones en campo

**Tabla 9**

*Densidad final 1.0 g/cm, explosivo para taladros secos de roca media.*



<b>Densidad Final 1.0 g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			5% $\cong$ 0.05
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.36 – 1.37g/cm	1.0 g/cm	22 - 25 cm	3/7
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
<b>1.374 g/cm</b>			
<b>Densidad Final</b>			
<b>1.003 g/cm</b>			

Fuente: Mediciones en campo.

### Emulsión San Apu.

**Tabla 10**



*Densidad final 1.229 g/cm*

<b>Densidad Final 1.229 g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			2.6% $\cong$ 0.026
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.313	1.182	35 cm	6/4 , 7/3
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b> 1.307g/cm			
<b>Densidad Final</b> 1.229g/cm			

Fuente: *Mediciones en campo*

**Tabla 11**

*Densidad final 1.182 g/cm*



<b>Densidad Final 1.182 g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			2.8% $\cong$ 0.028
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.313	1.182	35cm	6/4 , 7/3
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
1.313g/cm			
<b>Densidad Final</b>			
1.182g/cm			

Fuente : *Mediciones en campo*



**Tabla 12**



*Densidad final 1.141 g/cm*

<b>Densidad Final 1.141 g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			2.8% $\cong$ 0.028
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.309	1.114	40 cm	6/4 , 7/3
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
1.296g/cm			
<b>Densidad Final</b>			
1.141g/cm			

Fuente : *Mediciones en campo*

**Tabla 13**

*Densidad 1.114 g/cm*

<b>Densidad Final 1.114 g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			3% $\cong$ 0.03
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.309	1.114	40 cm	6/4 , 7/3
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
1.309g/cm			
<b>Densidad Final</b>			
1.114g/cm			

Fuente: *Mediciones en campo*


### Emulsión Heavy Anfo con nitrito de sodio.

Este explosivo es un Heavy-anfo con Nitrito de Sodio, este nitrato de acuerdo a la cantidad de inyección varia su densidad del explosivo dependiendo el tipo de roca, solo debe ser utilizado para mezclas gasificables.

Controlando la inyección de nitrito obtendremos diferentes densidades para reemplazar explosivos tradicionales.

**Tabla 14**

*Densidad final 1.15 g/cm, explosivo para taladros secos y terreno suave, menor esponjamiento.*

<b>Densidad Final 1.15g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			3% $\cong$ 0.03
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.36 – 1.37g/cm	1.15 g/cm	15 cm	ANFO H.A 6/4, 7/3.
<b>RESULTADOS</b>			
<i>Densidad inicial</i>			
1.377 g/cm			
<i>Densidad Final</i>			

<b>1.149 g/cm</b>	
-------------------	--

**Tabla 15**



*Densidad final 1.1g/cm, explosivo para taladros secos y húmedos de roca dura*

<b>Densidad Final 1.1g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			4% $\cong$ 0.04
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.36 – 1.37g/cm	1.1 g/cm	17 - 22 cm	4/6
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
<b>1.373 g/cm</b>			
<b>Densidad Final</b>			
<b>1.097 g/cm</b>			

Fuente: *Mediciones en campo.*

**Tabla 16**

*Densidad final 1.0g/cm, explosivo para taladros secos. HEAVY ANFO 0.45*

<b>Densidad Final 1.0 g/cm</b>			
<i>INYECCION DE NITRITO</i>			4.5% $\cong$ 0.045
DENSIDAD INICIAL	DENSIDAD FINAL	ESPONJAMIENTO POR METRO DE CARGA	REEMPLAZO DE MEZCLAS
1.34	1.0 g/cm	25cm	3/7
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Densidad inicial</b>			
1.335 g/cm			
<b>Densidad Final</b>			
1.004 g/cm			

Fuente: Mediciones en campo.

### 3.2. Esponjamiento y kilos de explosivo por metro de taladro con el nitrito de sodio.

**Tabla 17**

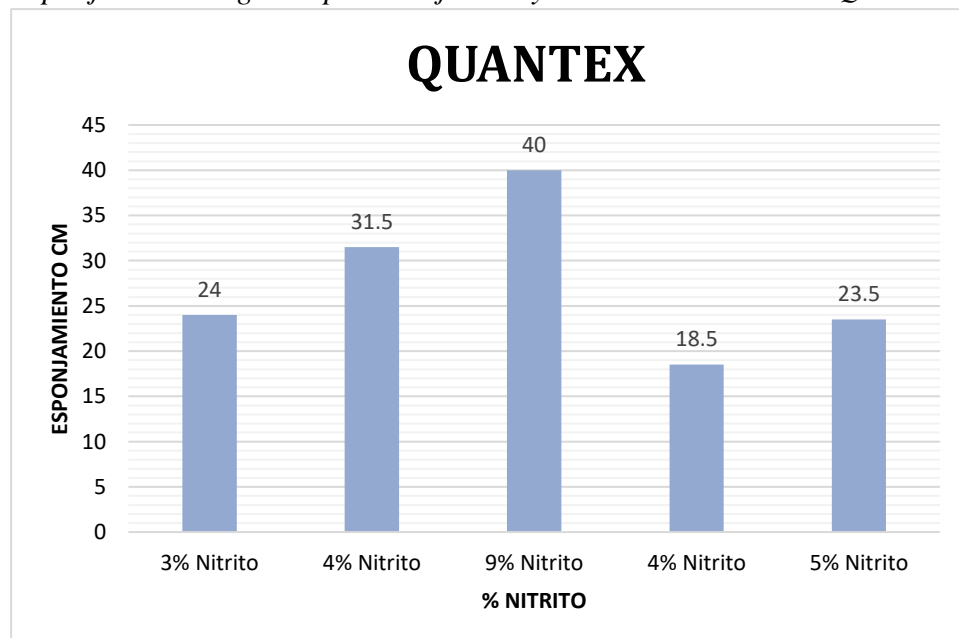
*Esponjamiento y Ahorro del explosivo en el QUANTEX .*

QUANTEX				
% Nitrito	Esponjado	Explosivo Kg/m	kg/m con Nitrito	Ahorro del explosivo (Kg/m)
3%	24	77	62	15
4%	31.5	77	58	18
9%	40	77	55	22
4%	18.5	78	66	12
5%	23.5	78	63	15

Fuente: Mediciones en campo.

**Gráfico 4**

*Esponjamiento según el porcentaje de inyección de Nitrito en el QUANTEX.*



Fuente: Mediciones en campo.

**Tabla 18**

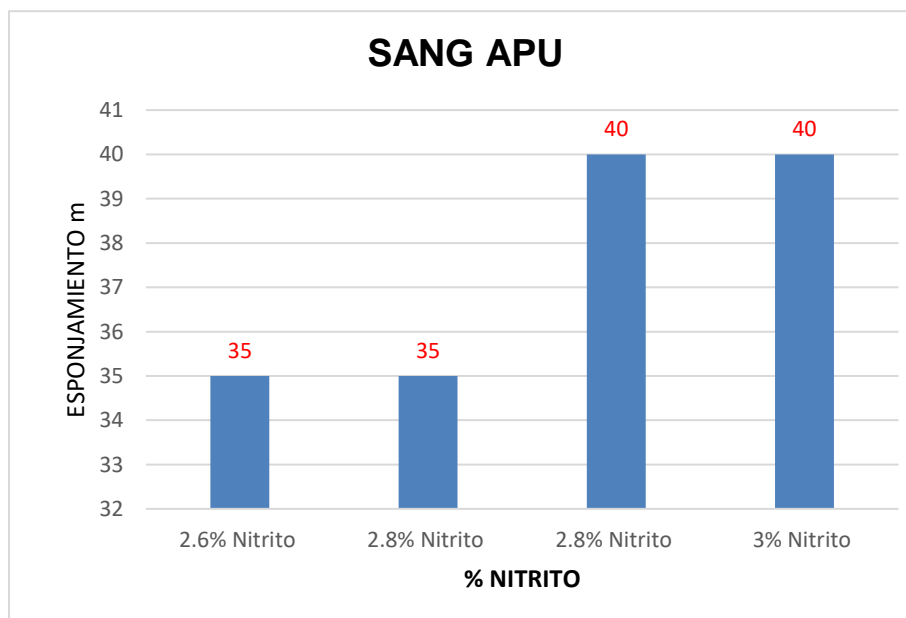
*Esponjamiento y Ahorro del explosivo en el SANG APU*

SANG APU				
% Nitrito	Esponjado cm	Explosivo Kg/m	kg/m con Nitrito	Ahorro del explosivo (Kg/m)
2.60%	35	75	55	19
2.80%	35	75	56	19
2.80%	40	74	53	21
3%	40	75	54	21

*Nota: Mediciones en campo.*

**Gráfico 5**

*Esponjamiento según el porcentaje de inyección de Nitrito en el SANG APU.*



*Fuente : Mediciones en campo.*

**Tabla 19**

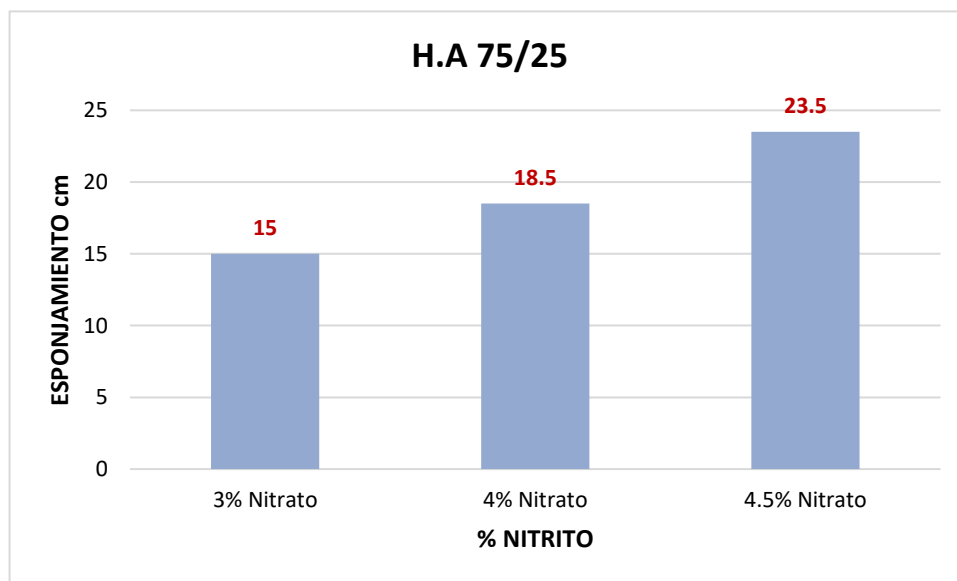
*Esponjamiento y Ahorro del explosivo en el HEAVY ANFO*

HEAVY ANFO				
% Nitrito	Esponjado cm	Explosivo Kg/m	kg/m con Nitrito	Ahorro del explosivo (Kg/m)
3%	15	77	67	10
4%	18.5	77	67	10
4.5%	23.5	77	67	10

Nota :

**Gráfico 6**

*Esponjamiento según el porcentaje de inyección de Nitrito en el HEAVY ANFO*



Fuente : *Mediciones en campo.*



### 3.3. Estimación de costos al utilizar las mezclas explosivas QUANTEX SANG APU y HEAVY ANFO.

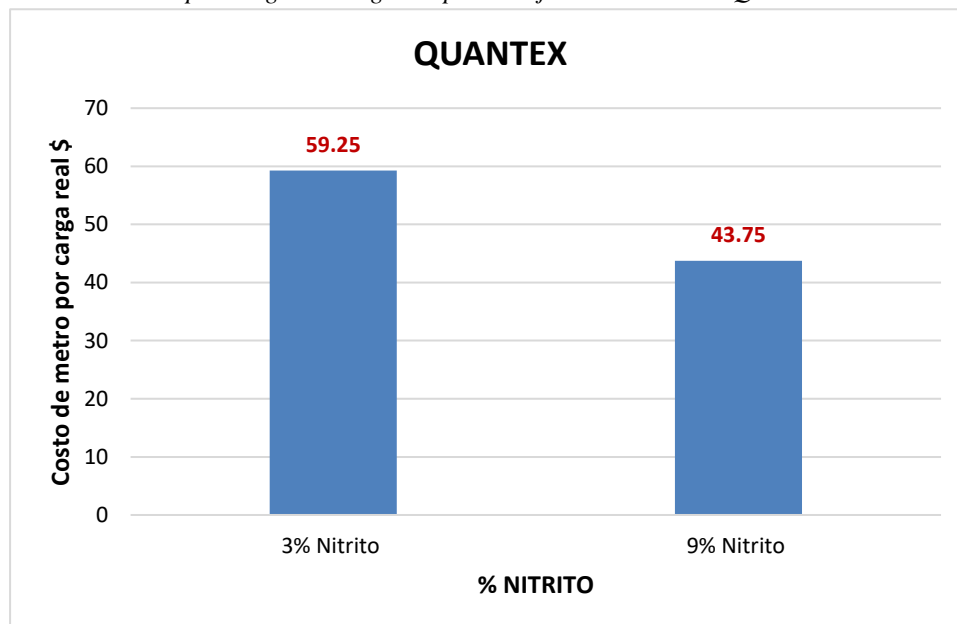
**Tabla 20**  
**Costos por Metro de Carga Real en el QUANTEX .**

QUANTEX					
% Nitrito	Den. Inicial g/cc	Den. 20min g/cc	Esponjado cm	Metro de Carga Real	
				Unidades	\$
3%	1.34	1.1	24	3.5	59.25
9%	1.34	0.8	40	3.5	43.75

*Nota:* Esta tabla nos muestra el costo por metro de carga real con respecto al mayor y menor porcentaje de nitrito en el QUANTEX 73, a mayor porcentaje de Nitrito el costo del explosivo por metro de carga real, es menor ,por qué el esponjamiento es mayor con el mayor porcentaje de Nitrito de Sodio.

#### Grafico 7

*Costo del metro por carga real según el porcentaje de Nitrito en el QUANTEX.*



Fuente: *Mediciones en campo.*

**Tabla 21**

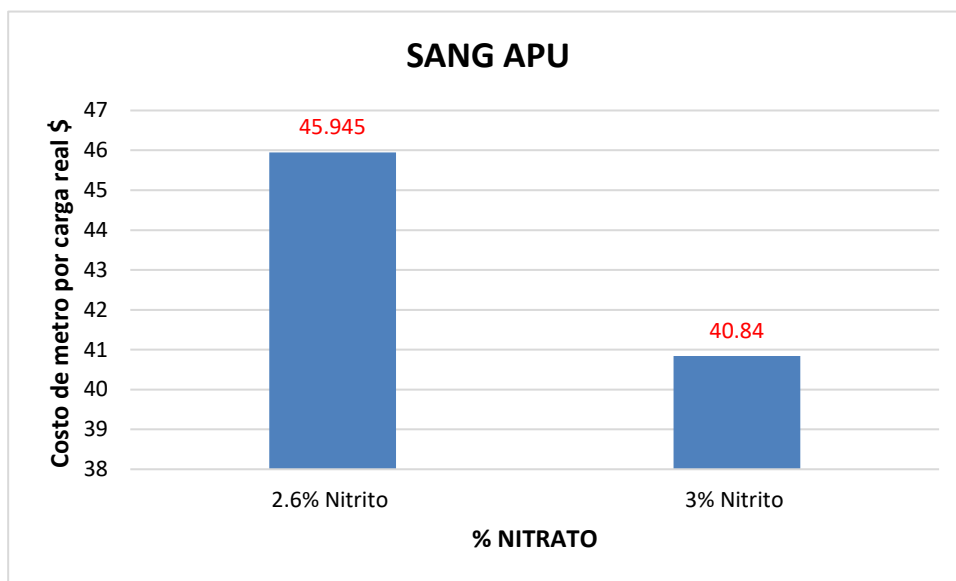
**Costos por Metro de Carga Real en el SANG APU.**

SANG APU					
% Nitrito	Den. Inicial g/cc	Den. 20min g/cc	Esponjado cm	Metro de Carga Real	
				Unidades	\$
2.60%	1.307	1.229	35	3.5	45.945
3%	1.309	1.114	40	3.5	40.84

*Nota:* Esta tabla nos muestra el costo por metro de carga real con respecto al mayor y menor porcentaje de nitrito en el SANG APU.

**Grafico 8**

*Costo del Metro por carga real según el porcentaje de Nitrito en el SANG APU.*



Fuente: *Mediciones en campo.*

**Tabla 22**

**Costos por Metro de Carga Real en el HEAVY ANFO**

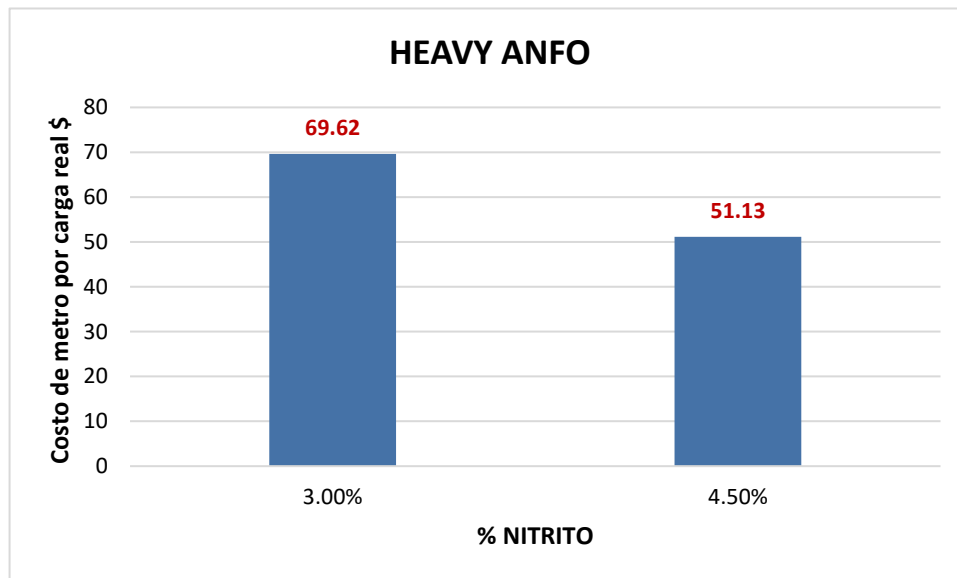
HEAVY ANFO	
% Nitrito	Metro de Carga Real

	Den. Inicial g/cc	Den. 20min g/cc	Esponjado cm	Unidades	\$
3%	1.34	1.15	15	3.5	69.62
4.5%	1.34	1	23.5	3.5	51.13

*Nota:* Esta tabla nos muestra el costo por metro de carga real con respecto al mayor y menor porcentaje de nitrito en el HEAVY ANFO.

### Gráfico 7

*Costo del Metro por carga real según el porcentaje de Nitrito en el HEAVY ANFO.*



Fuente: *Mediciones en campo.*

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De los resultados con respecto al objetivo específico número uno; se realizó la evaluación de la variación de la densidad de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO. Al incrementar el porcentaje de nitrito de sodio, la densidad del explosivo disminuye hasta el tiempo de 20 minutos considerado en la prueba.

Para el QUANTEX: con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, de una densidad inicial de 1.34g/cc, se llegó en 20 minutos a una densidad final de 1.1g/cc. Con una dosificación del 9% de Nitrito de sodio, de una densidad inicial de 1.34g/cc, se llegó en 20 minutos a una densidad final de 0.80g/cc

Para el SANG APU: con una dosificación del 2.6% de Nitrito de sodio, de una densidad inicial de 1.307 g/cc, se llegó en 20 minutos a una densidad final de 1.229 g/cc. Con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, de una densidad inicial de 1.309 g/cc, se llegó en 20 minutos a una densidad final de 1.114 g/cc.

Para el HEAVY ANFO: con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, de una densidad inicial de 1.34 g/cc, se llegó en 20 minutos a una densidad final de 1.15 g/cc. Con una dosificación del 0.45% de Nitrito de sodio, de una

densidad inicial de 1.34 g/cc, se llegó en 20 minutos a una densidad final de 1 g/cc

Nuestros resultados confirman con la investigación de Manaos (Brasil), Accinelli (2013), donde presentó un estudio técnico realizado para la empresa BRITANITE en la minera PITINGA sobre las características del esponjamiento de la emulsión gasificada y su densidad de copa, se observa el primer comportamiento de la densidad a los 40 minutos, cercana a 1.20 g/cc, para una temperatura de la emulsión de 16°C, considerando 1.4% de nitrito y en el segundo comportamiento la densidad a los 40 minutos, en 1.15 g/cc, para una temperatura de la emulsión de 26°C, considerando 1.0% de nitrito, en este caso se optó **reducir el agente sensibilizador** por el aumento de temperatura para un adecuado proceso de gasificación y formación de burbujas de nitrógeno, obteniendo de esta manera la densidad de 1.15g/cc. En conclusión que es necesario realizar un continuo control en el desarrollo en las emulsiones que se utilizan teniendo como factores importantes que depende la inyección del Nitrito de Sodio y la densidad, puesto que esta puede estar muy baja el % de nitrito o la temperatura debido que se acerca a una densidad crítica en el cual la emulsión gasificada tiende a perder la transferencia de energía tensional hacia el medio rocoso, siendo importante manejar densidades de copa en el rango de 1.0 a 1.05 para permitir que la densidad se encuentre en lo requerido de 1.12 g/cc. Con esta investigación y los resultados obtenidos, hay una diferencia a mayor inyección de nitrito menor densidad, a menor inyección de Nitrito de Sodio mayor densidad, donde se obtuvo en el desarrollo de nuestra investigación, el cual no coincide con los resultados de este estudio técnico realizado para la empresa

BRITANITE en la minera PITINGA. Concluyendo que, al utilizar las diferentes emulsiones, los resultados van hacer variantes, como en; Su densidad, el tiempo y la inyección del Nitrito de Sodio.

De los resultados con respecto al objetivo específico número dos; se realizó la evaluación del esponjamiento y los kilos de explosivo por metro de taladro con el nitrito de sodio.

Para el QUANTEX: con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 24 cm/m con un Ahorro de explosivo de 15 kg/m. Con una dosificación del 9% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 40 cm/m con un Ahorro de explosivo de 22 kg/m

Para el SANG APU: con una dosificación del 2.60% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 35 cm/m con un Ahorro de explosivo de 19 kg/m. Con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 40 cm/m con un Ahorro de explosivo de 21 kg/m

Para el HEAVY ANFO: con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 24 cm/m con un Ahorro de explosivo de 15 kg/m. Con una dosificación del 4.5% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 40 cm/m con un Ahorro de explosivo de 22 kg/m

Nuestros resultados confirman y la investigación según Paricahua (2019), El “Uso de Emulsión Gasificante SAN – G para reducir el costo de voladura y el ahorro de la emulsión que se utiliza en la unidad Minera ANDRÉS – JESSICA – ARUNTANI S.A.C”, Teniendo como objetivo evaluar la aplicación de la emulsión gasificable, para reducir los costos de voladura en la Unidad Minera Andrés – Jessica, empresa ARUNTANI S.A.C.

Concluyendo que el costo de voladura con los Heavy Anfo está en 0.193 \$/ton y los costos de voladura con la SAN - G están en 0.185 \$/ton con el diseño de carga estándar y 0.168 \$/ton con el diseño de carga modificado este último representa un ahorro de 12.9 % ,también se determinó que a mayor inyección de Nitrito de Sodio el esponjamiento es mayor y también se determina el ahorro del explosivo es eficiente para la productividad en el área de voladura.

De los resultados con respecto al objetivo específico número tres; se estimó el ahorro en costos al utilizar las mezclas explosivas QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO.

Para el QUANTEX: con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, presenta un Ahorro de explosivo de 15 kg/m, teniendo un costo de metro de carga real equivalente 59.25 \$/m. Con una dosificación del 9% de Nitrito de sodio, presenta un Ahorro de explosivo de 22 kg/m, teniendo un costo de metro de carga real equivalente a 43.75 \$/m.

Para el SANG APU: con una dosificación del 2.60% de Nitrito de sodio, presenta un Ahorro de explosivo de 19 kg/m, teniendo un costo de metro de carga real equivalente 45.945 \$/m. Con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 40 cm/m con un Ahorro de explosivo de 21 kg/m, teniendo un costo de metro de carga real equivalente 40.84 \$/m.

Para el HEAVY ANFO: con una dosificación del 3% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de 24 cm/m con un Ahorro de explosivo de 15 kg/m, teniendo un costo de metro de carga real equivalente 69.62 \$/m. Con una dosificación del 4.5% de Nitrito de sodio, presenta un esponjamiento de

40 cm/m con un Ahorro de explosivo de 22 kg/m, teniendo un costo de metro de carga real equivalente 51.13 \$/m.

Según López (2021), en el trabajo investigación, “Empleo de la Emulsión Gasificante SANG APU para minimizar costos de voladura en Minera la Zanja S.R.L”. Los beneficios económicos obtenidos con la emulsión gasificante SANG APU, es una muy buena alternativa el uso de explosivo, pues según lo calculado, permite un ahorro económico en comparación al Pyrosang de \$ 26,562.67 al mes y en comparación al Anfo el ahorro es de \$ 43,454.67 al mes; de igual manera, los beneficios técnicos, se ven reflejados en el buen desempeño del explosivo, en el caso de la velocidad de detonación (VOD), se tuvo un valor de 5.416.11 m/s, esto para una densidad final gasificada del explosivo de 1.00 g/cm<sup>3</sup>, en un diámetro de taladro de 6 ¾”. Llegando a la conclusión que el SANG APU nos muestra una importante disminución en el costo por taladro comparados con el Pyrosang y el Anfo. La emulsión gasificable Sang APU, por taladro tiene un costo de 68.43 \$/Tal, mientras que el Pyrosang tiene un costo de 74.72 \$/Tal y el Anfo tiene un costo de 78.72 \$/Tal, el cual nuestros resultados confirman que la emulsión gasificante SAN APU, su costo es menor por metro de carga real \$/m a diferencia del QUANTEX Y HEAVY ANFO, el cual permite un ahorro para la utilización del explosivo.



## 4.2. Conclusiones

Los resultados de la investigación en la cual se mide la influencia del nitrito de sodio en las propiedades de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO utilizadas en la voladura en minería superficial, se valida con la hipótesis general. Se concluye que, al incrementar el porcentaje del nitrito de sodio, disminuye la densidad de la mezcla explosiva QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO, desde un tiempo inicial 0 minutos hasta un tiempo final de 20 minutos.

Los parámetros en los que se estima los resultados de voladura luego de utilizar la emulsión gasificada Quantex ,Sang Apu y Heavy Anfo ,se registró que alcanzaron un valores para las densidad final gasificada entre los  $0.8 \text{ g/cm}^3$  hasta  $1.229 \text{ g/cm}^3$ , utilizando un diámetro para el taladro de  $10 \frac{5}{8}$ ” .

Se concluye que, al incrementar el porcentaje de nitrito de sodio, se tiene un mayor Ahorro en el explosivo debido al esponjamiento del QUANTEX, SANG APU y HEAVY ANFO, consiguiendo un mayor ahorro de los kilos de explosivo por metro de taladro. Teniendo como valores que al 9% inducción de Nitrato de Sodio, el esponjamiento es de 40 cm/m, donde se utilizara 77 kg/m de explosivo y 55kg/m de Nitrito de Sodio obteniendo un ahorro de explosivo de 22 kg/m, en cuanto 3% de la inducción de Nitrito de Sodio, el esponjamiento es de 24 cm/m, donde se utilizara 77 kg/m de explosivo y 62 kg/m de Nitrito de Sodio obteniendo un ahorro de explosivo de 22 kg/m, con respecto a la emulsión de Quantex, para la inducción 3% de Nitrato de Sodio, el esponjamiento es de 40 cm/m, donde se utilizara 75 kg/m de explosivo y 54kg/m de Nitrito de Sodio obteniendo un ahorro de explosivo de 21 kg/m, en cuanto 2.60 % de la inducción de Nitrito de Sodio, el esponjamiento es de 35 cm/m,

donde se utilizara 75 kg/m de explosivo y 55 kg/m de Nitrito de Sodio obteniendo un ahorro de explosivo de 19 kg/m, con respecto a la emulsión Sang Apu, como último para inducción de Nitrato de Sodio al 4.5%, el esponjamiento es de 40 cm/m, donde se utilizara 77 kg/m de explosivo y 67kg/m de Nitrito de Sodio obteniendo un ahorro de explosivo de 22 kg/m, en cuanto 3% de la inducción de Nitrito de Sodio, el esponjamiento es de 24 cm/m, donde se utilizara 77 kg/m de explosivo y 67 kg/m de Nitrito de Sodio obteniendo un ahorro de explosivo de 15 kg/m, con respecto a la emulsión del Heavy Anfo. Determinado que, con las tres diferentes emulsiones mencionadas, a mayor inyección de Nitrito de sodio, mayor esponjamiento y se utiliza menor cantidad de Kg/m de Nitrito de sodio, puesto que el nitrito de sodio produce un volumen, al cual llamamos esponjamiento debido a la gasificación que se da en un determinado tiempo, que se produce por la formación de burbujas de nitrógeno, esto se debe a la influencia de los diferentes factores que involucran a las diferentes emulsiones a mayor sea la inyección Nitrito de Sodio obtendremos mayor ahorro de explosivo.

Se concluyó, de acuerdo a los resultados obtenido, que los beneficios económicos son significativos con la utilización de la emulsión gasificada Sang Apu; se ven reflejados en una importante disminución en el costo por metro de carga real, donde se realizó la comparación con el Quantex y Heavy Anfo. De estas tres emulsiones investigadas, él que presente menor costo por metro de carga real, es el SANG APU con una dosificación al 3% de Nitrito de sodio, con un costo de 40.84\$, por el contrario la mezcla explosiva que tiene mayor costo es el Quantex con una dosificación de 3% de nitrito que alcanza un valor 59.25 \$

## REFERENCIAS

Accinelli (2013). *Estudio técnico realizado para la empresa BRITANITE en la minera PITINGA sobre las características del esponjamiento de la emulsión gasificada y su densidad de copa*. Manaus- Brasil.

Alcocer (2013), “*Estudio experimental para la elaboración de emulsión gasificada para la industria minera*”. Lima – Perú.

Bernaola A, J., Castilla G, J., & Herrera H , J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid, España.

Bocangel, L., (2015) “*optimización de las operaciones y precios unitarios de minado para la reducción de los costos operativos en mina paula*”, AREQUIPA UNSA.

Brandy, G., & brown, E. (2005). *Rock mechanics for undergroun mining*. U.S.A.: springer siente.

Bustillos, m., & Jimeno, L. (1991). *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*. Madrid: Instituto Tecnológico Geo minero de España.

CHIAPPETTA, F. (2014). *New Innovative Blasting Techniques to Improve Fragmentation, Final Highwalls and Plant Throughput*. Pennsylvania-USA.

EXSA SOLUCIONES. S.A. (2013). *Manual Práctico de Voladura*.

EXSA. (2019). *Manual práctico de voladura*. Perú.

Gaona Gonzales , A. J. (2015). *Optimización de la voladura ,Mina la Virgen -de la Compañía Minera San Simón- Huamachuco Trujillo*(Tesis de pregrado). Piura : Universidad Nacional de Piura .

Hernández, S. et al (2007) *Metodología de Investigación*. Mc. Graw-Hill. México.

Hinostroza Sierra, J. R. (2014). *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto* (tesis de pregrado).Universidad Nacional Mayor DE San Marcos. Lima, Perú.

Huamán, B. A. (2010). *Implementación De Un Nuevo Sistema De iniciación Electrónica En Perú - Seguridad Y Versatilidad*”. Lima-Perú.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO DE ESPAÑA. (1994). *Manual de Voladura Rocas*. España.

Instituto Tecnológico Geo Minero de España . (1991). *Manual de Perforación y Voladura* .  
Madrid -España .

Jimeno, L. (1998). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: Instituto  
Tecnológico Geo minero de España.

Kenzie, M. (1994). *Estado del Arte de la Tronadura*. Santiago de Chile.

Leiva Torres, A. (2007). *Influencia de la Optimización de la Fragmentación de Roca en la  
Rentabilidad de las operaciones Mina- Molienda*. (Tesis de Pregrado).  
Pontificia Universidad católica del Perú, Perú.

López (2021), “*Empleo de la Emulsión Gasificante SANG APU para minimizar costos de  
voladura en Minera la Zanja S.R.L*”. Cajamarca – Perú.

Loza Carazas, Robert Antonio. (2013), “*Aplicación del Método de Holmberg para el  
Mejoramiento de la Malla de Voladura en la Empresa Minera Aurífera  
Retamas S.A. Tacna*.”

Mancera, O. A., Serrano, O. A., & Guerrero Páez, A. (2011). *Comparación entre el sistema  
de iniciación nonel y electrónico en las voladuras y su efecto en la  
fragmentación, forma de la pila costos de producción y vibraciones*. pág.  
17.

- Miranda S, Y. (2009). *Estudio del rendimiento entre detonadores electrónicos y no eléctricos e implicancia en la economía del proceso y seguridad en tajo abierto*.(tesis de pregrado). . Lima-Perú.
- Paricahua (2019). “*Uso de Emulsión Gasificante SAN – G para reducir el costo de Voladura en la unidad Minera ANDRÉS – JESSICA – ARUNTANI S.A.C*”. Puno – Perú.
- Persson, A., Holmberg, R., & Lee, J. (1999). *Rock Flashing and Explosives Engineering*.
- Poma F, J. (2012). *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill Caso Minera Yanacocha*- (Tesis de pregrado). PUCP. Lima- Perú.
- Poma Fernández , J. L. (2016). *Importancia de la Fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill*(Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima .
- Pomaylle , Q., & Vásquez , P. (2013). *Voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la profundización del pique N°2 , mina teresita*(Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. . Huancavelica- Perú.
- Ramirez, P., Lain, R., & Grijaldo, E. (1991). *Mecánica de rocas aplicada a la minería a cielo abierto*. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.
- Roberto Hernández Sampieri. *Metodología de Investigación*, 6ta. Edición.

Romero Paucar , R. (2016). “*Voladura con Detonadores Electrónicos para Optimizar la Fragmentación y Seguridad en el Tajo Toromocho- Minera Chinalco Perú* S.A.(Tesis de Pregrado) . Huancayo. Perú.

Wilfredo Ojeda Mestas (2003), “*Diseño de Mallas de Perforación y Voladura Subterránea Aplicando un Modelo Matemático*”. Huancayo.

## ANEXOS

### Anexo N°1



*Voladura N°1, con densidad 0.80 reemplazando al ANFO.*

### Anexo N°2



*Voladura N°1 con densidad 0.80.*

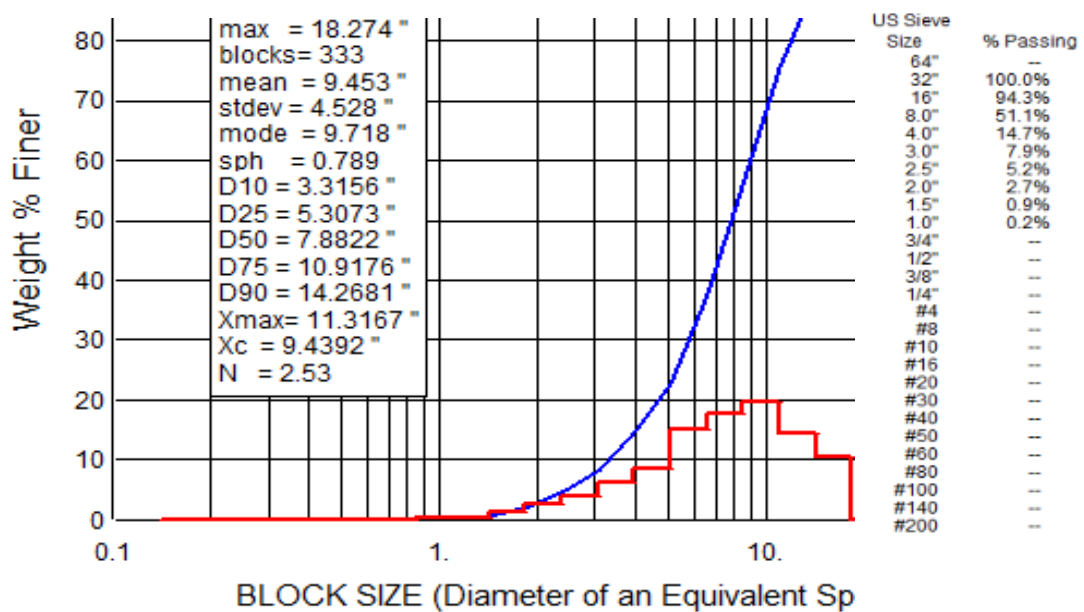


### Anexo N° 3



Voladura N° 1, densidad 0.80.

### Anexo N°4



VOD realizado y obtenido con la mezcla explosiva densidad 0.80

### Anexo N° 5



*Voladura N° 2, densidad 1.0*

### Anexo N°6



*Voladura N°2, densidad 1.0.*

### Anexo N°7



*Voladura N°2, densidad 1.0*

### Anexo N°8



*Voladura N°3, densidad 1.10*

## Anexo N°9

*Voladura N°3, densidad 1.10*



## Anexo N° 10



*Voladura N°3, densidad 1.10*

### Anexo N° 11



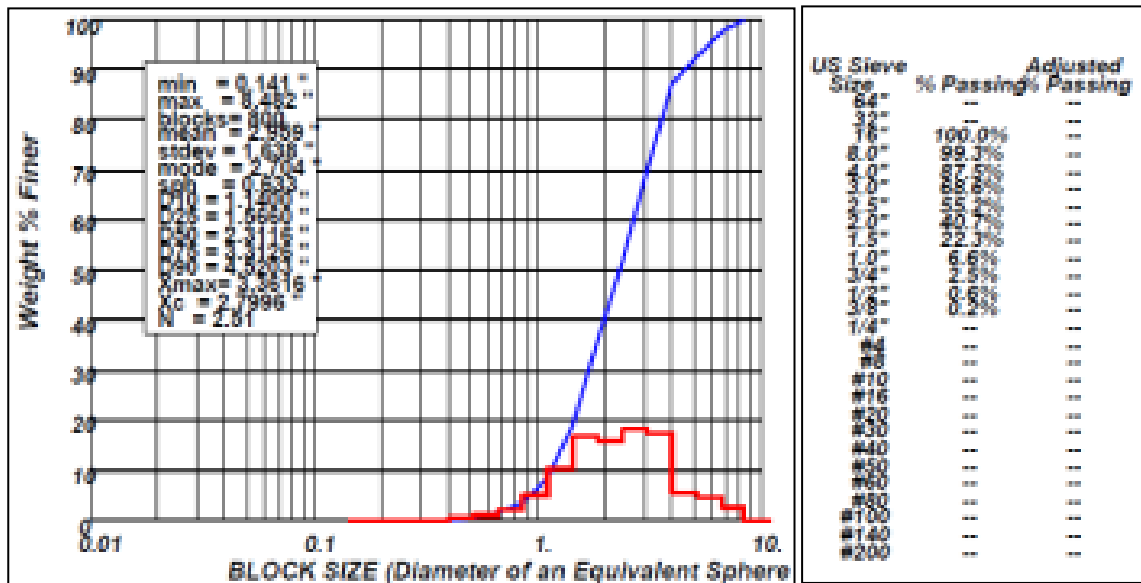
*Voladura N°3, densidad 1.10*

### Anexo N°12



*Voladura N°3, densidad 1.10*

### Anexo N°13



VOD realizado y obtenido con la mezcla explosiva densidad 1.10 reemplazando a la mezcla 4/6.

### Anexo N°14

AHORRO EXPLOSIVO									
QUANTEX 73									
% Nitrito	Den. Inicial g/cm	Den. 5min g/cc	Den. 10min g/cc	Den. 15min g/cc	Den. 20min g/cc	Esponjado	Explosivo Kg/m	kgm con Nitrito	Ahorro del explosivo
3.00%	1.34	1.2	1.14	1.12	1.1	24	77	62	15
4.00%	1.34	1.21	1.14	1.15	1	31.5	77	58	18
3.00%	1.34	1	0.9	0.83	0.8	40	77	55	22
4.00%	1.36	1.25	1.17	1.13	1.1	18.5	78	66	12
5.00%	1.36	1.21	1.11	1.04	1	23.5	78	63	15

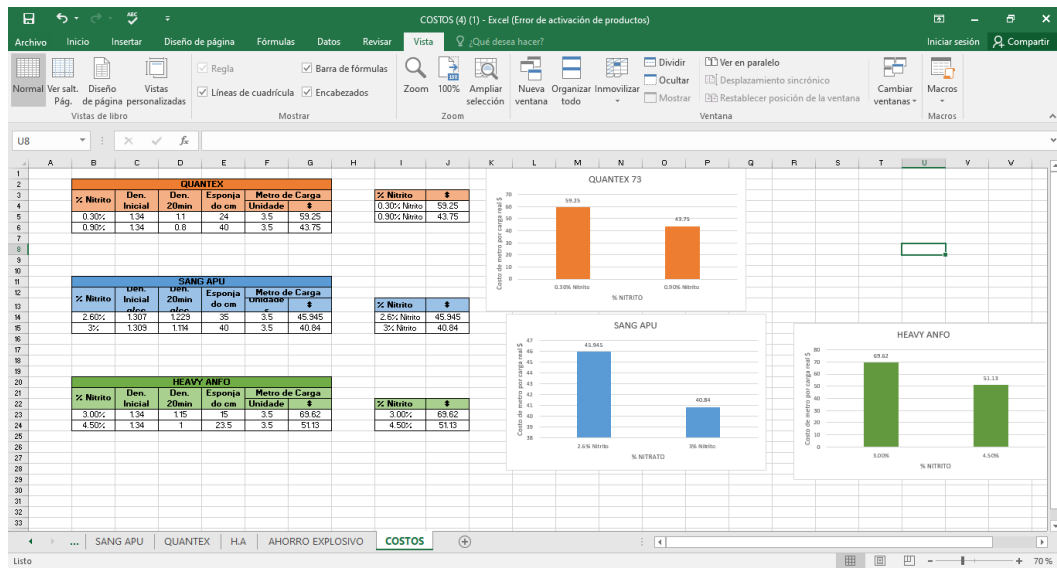
SANG APU									
% Nitrito	Den. Inicial g/cc	Den. 5min g/cc	Den. 10min g/cc	Den. 15min g/cc	Den. 20min g/cc	Esponjado g/cm	Explosivo Kg/m	kgm con Nitrito	Ahorro del explosivo
2.60%	1.307	1.264	1.250	1.233	1.223	35	75	55	19
2.80%	1.313	1.247	1.211	1.190	1.182	35	75	56	19
2.80%	1.296	1.233	1.196	1.171	1.141	40	74	53	21
3%	1.309	1.223	1.183	1.129	1.114	40	75	54	21

H.A TS125									
% Nitrito	Den. Inicial g/cc	Den. 5min g/cc	Den. 10min g/cc	Den. 15min g/cc	Den. 20min g/cc	Esponjado g/cm	Explosivo Kg/m	kgm con Nitrito	Ahorro del explosivo
3.00%	1.34	1.24	1.19	1.17	1.15	15	77	67	10
4.00%	1.34	1.2	1.15	1.12	1.1	18.5	77	67	10
4.50%	1.34	1.165	1.07	1.04	1	23.5	77	67	10

Data de las mezcla explosivas Quantex, San Apu y Heavi anfo.

## Anexo N°15



*Análisis de datos de la influencia de la inyección del nitrito de sodio en su densidad esponjamiento y costos.*