



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA QUANTEX EN LA MINA A  
TAJO ABIERTO-TOQUEPALA SPCC**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. PERCY VILCANQUI CONDORI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres José y Silveria por ser los pilares fundamentales en mi educación, tanto académica, como de la vida.

A mi amada esposa Mirelia, Por su apoyo y animo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mi adorada hija Abigail Mirella, por hacer de mí, el padre más feliz de este mundo.

PERCY



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi alma mater, a la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas que me formaron profesionalmente en los aspectos teóricos y prácticos para seguir en el camino de la Minería y ser un profesional.

Agradecimiento infinito a mis padres; José Vilcanqui Chura y Silveria Condori Zapana por su apoyo incondicional durante mi vida personal y profesional.

PERCY



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	13
<b>Ubicación del estudio</b> .....	14
<b>Tipo de investigación</b> .....	16
<b>Población</b> .....	16
<b>Muestra</b> .....	16
<b>Técnicas de toma de datos</b> .....	16
<b>Mezcla explosiva <i>Quantex 73</i></b> .....	18
<b>Fabricación de la mezcla explosiva <i>Quantex 73</i></b> .....	19
<b>Datos generales del proyecto en estudio</b> .....	22
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	24
<b>Resultado de pruebas con mezcla explosiva <i>Quantex 73</i></b> .....	28
<b>CONCLUSIONES</b> .....	30
<b>REFERENCIAS</b> .....	30

**TEMA:** Voladura en *open pit*

**ÁREA:** Ingeniería de Minas

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 14 de noviembre del 2019



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Ubicación de la mina Toquepala – SPCC .....	14
<b>Figura 2:</b>	Diagrama de flujo de la operación en Toquepala - SPCC.....	15
<b>Figura 3:</b>	Estructura del Heavy Anfo .....	17
<b>Figura 4:</b>	Composición de Heavy Anfo 55 .....	18
<b>Figura 5:</b>	Diseño de carga de taladros con Anfo pesado y mezcla explosiva Quantex 73 .....	19
<b>Figura 6:</b>	Flujo de nitrato de Sodio para gasificar MEQ73 según el flujo de descarga de la mezcla explosivo.....	19
<b>Figura 7:</b>	Condiciones de taladro .....	20
<b>Figura 8:</b>	Textura y coloración in situ.....	21
<b>Figura 9:</b>	Medición de esponjamiento.....	21
<b>Figura 10:</b>	Medición de densidad según procedimiento de carguío.....	21
<b>Figura 11:</b>	Diseño de Carga .....	22
<b>Figura 12:</b>	Ubicación del proyecto.....	23
<b>Figura 13:</b>	Diseño de carga .....	23
<b>Figura 14:</b>	Secuencia de salida de disparo .....	24
<b>Figura 15:</b>	Fragmentación según un punto referencial con ANFO.....	26
<b>Figura 16:</b>	Fragmentación según un punto referencial con MEQ 73.....	26
<b>Figura 17:</b>	Emisión de gases nitrosos con Heave Anfo.....	27
<b>Figura 18:</b>	No genera gases nitrosos con MEQ 73.....	27
<b>Figura 19:</b>	Esponjamiento del disparo. ....	28
<b>Figura 20:</b>	Foto análisis de roca volada y vista en software Wip Frag. ....	29
<b>Figura 21:</b>	Curva granulométrica con explosivo gasificado. ....	29



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Flujo de carguío de taladro según camión .....	20
<b>Tabla 2:</b> Cuadro comparativo HA55 Y Quantex 73 .....	25



## **BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA *QUANTEX* EN LA MINA A TAJO**

### **ABIERTO TOQUEPALA SPCC**

#### ***BENEFITS OF QUANTEX TECHNOLOGY AT THE TOQUEPALA SPCC OPEN***

#### ***PIT MINE***

Bach. Percy, Vilcanqui Condori

Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela Profesional de Ingeniería de  
Minas, Av. Floral # 1153.

[percyvilcanqui.minas@gmail.com](mailto:percyvilcanqui.minas@gmail.com) : cel. 951381409

### **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los beneficios de la tecnología *Quantex* en la mina a tajo abierto Toquepala SPCC, la cual está compuesta por emulsión gasificable y nitrato de amonio *Quantex*, anteriormente se trabajó con *Heavy ANFO*, el cual genera un problema sobre la emisión de gases nitrosos al medio ambiente y fragmentación inadecuada en la mina Toquepala – SPCC. La metodología aplicada en la investigación fue de tipo cuantitativo descriptivo aplicando la técnica de observación documental, respecto a los informes y reportes diarios de las pruebas que se realizó en la Fase 5 proyecto 3265 230-231. Llegando al resultado de los beneficios de utilizar *Quantex 73* en una mejor VOD de 5600m/s, reducción de consumo de petróleo a 0.3%, reducción de las vibraciones y reducción de la emisión de humos naranjas y gases nitrosos hacia el medio ambiente. Concluyendo que la tecnología *Quantex 73* tiene beneficios positivos en las operaciones de la mina y para el cuidado del medio ambiente, generando ambientes de trabajo más seguros para los trabajadores.

### **PALABRAS CLAVE**

Calidad de explosivo, fragmentación, heavy ANFO, presencia de humos.



## ABSTRACT

*The objective of this work is to analyze the benefits of Quantex technology in the Toquepala SPCC open pit mine, which is composed of gasifiable emulsion and Quantex ammonium nitrate, previously worked with Heavy ANFO, which generates a problem on the emission of nitrous gases into the environment and inadequate fragmentation in the Toquepala - SPCC mine. The methodology applied in the research was of a descriptive quantitative type, applying the documentary observation technique, regarding the reports and daily reports of the tests carried out in Phase 5 of project 3265 230-231. Reaching the result of the benefits of using Quantex 73 in a better VOD of 5600m/s, reduction of oil consumption to 0.3%, reduction of vibrations and reduction of the emission of orange fumes and nitrous gases to the environment. Concluding that the Quantex 73 technology has positive benefits in the mine operations and for the care of the environment, generating safer work environments for the workers.*

### KEY WORDS

*Explosive quality, fragmentation, heavy ANFO, presence of fumes.*



## INTRODUCCIÓN

Dentro del ciclo de minado que se realiza a diario en mina *Southern Perú Copper Corporation* (SPCC) - Toquepala, afrontan los problemas de costos de voladura, gases de humos y fragmentación. Se realiza la extracción de mineral buscando la minimización de los costos operativos y maximizando la producción. En el área de perforación y voladura se realizó pruebas utilizando la mezcla explosiva *Quantex 73* para compararlas con el Anfo pesado.

Las Empresas de gran minería han establecido políticas de utilización de tecnologías adecuadas en la voladura de rocas y control ambiental, es así que la desintegración del material in situ y sus controles ambientales son de vital importancia y aprovechar al máximo la energía química del explosivo, para así obtener una fragmentación adecuada con el menor costo; elevando la productividad y mejorando el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, dando como resultado un mejor Costo de Producción. Se ha investigado tesis y artículos científicos que nos han permitido comprender los beneficios del agente explosivo *Quantex*, en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en el tajo de la mina Toquepala – SPCC.

Yana (2017) en su investigación concluye, “Luego de haber realizado la evaluación de los explosivos *Heavy Anfo55* y *Quantex 73*, los resultados de fragmentación y la reducción de los costos de explosivos hemos conseguido una mejora general en la voladura con beneficios como: cuidado del medio ambiente, menor vibración y menor fly rock. La evaluación de los costos comparativos de los explosivos en taladros de 12 ¼ pulg. Diámetro, se obtiene el costo por metro lineal de *Heavy Anfo 55* (US\$/ml 55.07) y el costo de *Quantex* (US\$/ml 55.65). La diferencia de los costos de *Quantex 73* se nota en la columna de carga, por el esponjamiento que genera el 0.14 % de nitrito de sodio. En



donde se reduce 1 m de columna de carga de los taladros de producción y amortiguación y la fragmentación aumenta porque tiene una velocidad de detonación mayor que el de *Heavy Anfo*”.

Puerta (2016) concluye que con la Implementación Tecnológica en Voladura Mediante el Uso Integral de Mezcla Explosiva Gasificable en Mina Cuajone, En la actualidad gran parte de minas en el Perú, principalmente superficiales, vienen usando mezcla explosivas a base de emulsiones y mezclas gasificadas como agentes explosivos, concluye La búsqueda de nuevas tecnología en el proceso unitario de minado es uno de los factores claves en la generación de valor agregado. Para la utilización correcta de esta tecnología se debe contar con un equipo debidamente capacitado y especializado sobre todo en la sensibilización del producto.

Quispe (2018) en su investigación titulada “Optimización de la fragmentación en la mina Toquepala, mediante la aplicación de explosivo gasificado” tuvo por objetivo general optimizar los costos unitarios de las operaciones de voladuras de la mina mediante la aplicación de explosivo gasificado, mitigando la generación de gases nitrosos y reducir el porcentaje de fragmentación gruesa. Concluye indicando que la aplicación de la Tecnología Explosiva *Quantex* en los diseños de voladura de la Mina Toquepala, se han mitigado en un 90% la generación de humos naranjas y gases nitrosos, que cuya emanación ocasionan daños al ambiente y al personal que circunda en las operaciones de mina, la mezcla explosiva *Quantex*, tiene un equilibrio adecuado en cuanto al balance de oxígeno y sus componentes y su proceso de fabricación propiamente dicho, haciendo las voladuras más limpias en cuanto a generación de gases.

Anninelli (2016) indica, el análisis de  $V_p$  mediante sísmica de reflexión permite determinar un comportamiento asociado al nivel de daño en el cual según el estudio a 3m de profundidad con respecto al nivel de la sobre perforación la roca no se altera en sus



propiedades físicas , a 2.0m su índice de fractura incrementa en un 22.5% , y a 1m en 42%, esto en función al valor geotécnicamente de mayor competencia , con estos datos podemos concluir que no es necesario realizar sobre perforación en la segunda línea de taladros hacia el talud en la fase VI de mina cuajone.

Condori (2015) en su investigación titulada “Estandarización del explosivo me - *quantex*, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone” indica que, se ha estandarizado la utilización el explosivo ME.- *Quantex 73* y se ha logrado disminuir los costos operativos reduciendo la emisión de gases nitrosos producto de la voladura mediante el análisis de parámetros técnicos, tal como se demuestra en los resultados de la voladura. Es además económicamente factible ya que el ahorro por taladro es de *US \$ 23,22*, obteniendo en los veintiséis (26) disparos realizados en el proyecto un ahorro total de *US. \$ 91 477*.

Guzman & Culqui (2014) concluye que, La tecnología *Quantex* en comparación con *Heavy ANFO* es más favorable, se optimizan los recursos y se reducen de costos de voladura; teniendo un ahorro promedio de *USD 19.9* por taladro

- La tecnología *Quantex* mejora el poder rompedor del explosivo gasificado y amplifica la fase tensional de la onda de choque lo cual se traduce en generación de nuevas fracturas logrando con ello una mejor fragmentación de la roca.

Otros beneficios que se alcanzan con la implementación de la tecnología *Quantex* son: el incremento en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, debido al mejor apilamiento luego de la voladura y el ahorro de tiempo y energía en el proceso de chancado por una mejor granulometría del material obtenido. Así mismo existe una reducción de los tiempos y ciclos de las actividades de voladura, consiguiendo con ello un aumento en la productividad en esta etapa del proceso.



Se plantea la hipótesis de que la utilización de la mezcla explosiva *Quantex 73* mejora los resultados esperados, añadiendo un valor agregado a la operación en cuanto a la reducción de costos, ventajas operativas, mitigación de gases nitrosos, reducción de la fragmentación de roca.

El objetivo es demostrar los beneficios de la mezcla explosiva *Quantex 73* en los resultados de fragmentación y gases nitrosos en comparación con *Heavy Anfo* en la mina Toquepala -SPCC.

Aguilar (2018) en el presente trabajo de investigación titulado “Mejoramiento de la voladura utilizando Emulsión Gasificada (Meq73) en el tajo Ferrobamba – m.m.g. las Bambas -Apurimac”, se demostró el mejoramiento de la voladura en el tajo Ferrobamba de Las Bambas con la utilización de la Mezcla Explosiva *Quantex* (MEQ73) la cual es una Emulsion Gasificada que nos permite mejorar los resultados en la fragmentación obtenida de los proyectos de voladura. Finalmente, con los resultados obtenidos en las pruebas se ha demostrado obtener mejores resultados en la fragmentación y el porcentaje de humos naranjas además de acortar los tiempos de carguío por taladro y reducir el costo por metro lineal de explosivo lo que se traduce en un ahorro considerable.

Poma (2012) en su tesis titulada “Importancia de la Fragmentación de la Roca en el proceso de *GOLD MILL* (Caso Minera Yanacocha)” menciona que Para llegar a la solución del problema se analizaron todos los procesos operativos de la mina que intervienen en la obtención del material fragmentado a la Chancadora Primaria de la Planta *Gold Mill*, a fin de determinar las posibles causas básicas del problema. Revisando bibliografía existente, acerca de problemas similares en otras mineras, se pudo observar que una de las causas recurrentes es la fragmentación del material volado (específicamente por temas de perforación y voladura), así que se tuvo un especial cuidado en el análisis de este proceso. Se trabajó en la mejora de la fragmentación del



material volado aplicando teorías de voladura en incremento del *Powder Factor*, Selección de tiempos de detonación y Relación de Impedancia (Roca vs Explosivo).

Reátegui (2017) en su tesis titulado “Diseño de los parámetros de voladura aplicando el modelo de *Kuz Ram* y la teoría de daño por vibraciones en roca, Inti Raymi – Bolivia” menciona que la principal actividad de la minería es la reducción de tamaños de roca y minerales para obtener metales o materiales económicos, esta reducción se denomina conminución e implica un gasto de energía creciente a través de todo del proceso físico de extracción, es decir; la voladura, chancado y molienda. Concluye que la obtención de un tamaño de fragmento promedio en la voladura dependerá de tres variables: características geológicas-geomecánicas del macizo rocoso, características del explosivo y diseño de la malla de perforación-voladura.

Reyes (2017) en su tesis titulado “Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba” tuvo como objetivo Realizar una evaluación comparativa sobre la energía transferida al macizo rocoso a partir de dos tipos de mezclas explosivas *San-G* y *Heavy Anfo 46* con fines de mejora de la voladura y llego a la siguiente conclusión: “la mejor granulometría incidió en la operación minera de voladura, ya que al variar el tipo de explosivo de Anfo 46 a emulsión gasificada, San-G, se obtuvo mejor granulometría”.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogieron publicaciones y artículos científicos que estuvieran relacionados directamente con la temática se aceptaron documentos en español. Se realizó una búsqueda electrónica en primera instancia en Renati, posteriormente en base de datos como específicas como Gogle Academico, scielo, Alicia concytec entre otros.

### Ubicación del estudio

El yacimiento se ubica en el sur del Perú, a 68 km de vuelo al norte de la ciudad de Tacna, en el distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre, departamento de Tacna.

Coordenadas geográficas son: 17° 13' Latitud Sur y 70° 36' Longitud Oeste.

Coordenadas UTM WGS 84: 19S 328600 E y 8092500N



**Figura 1:** Ubicación de la mina Toquepala – SPCC

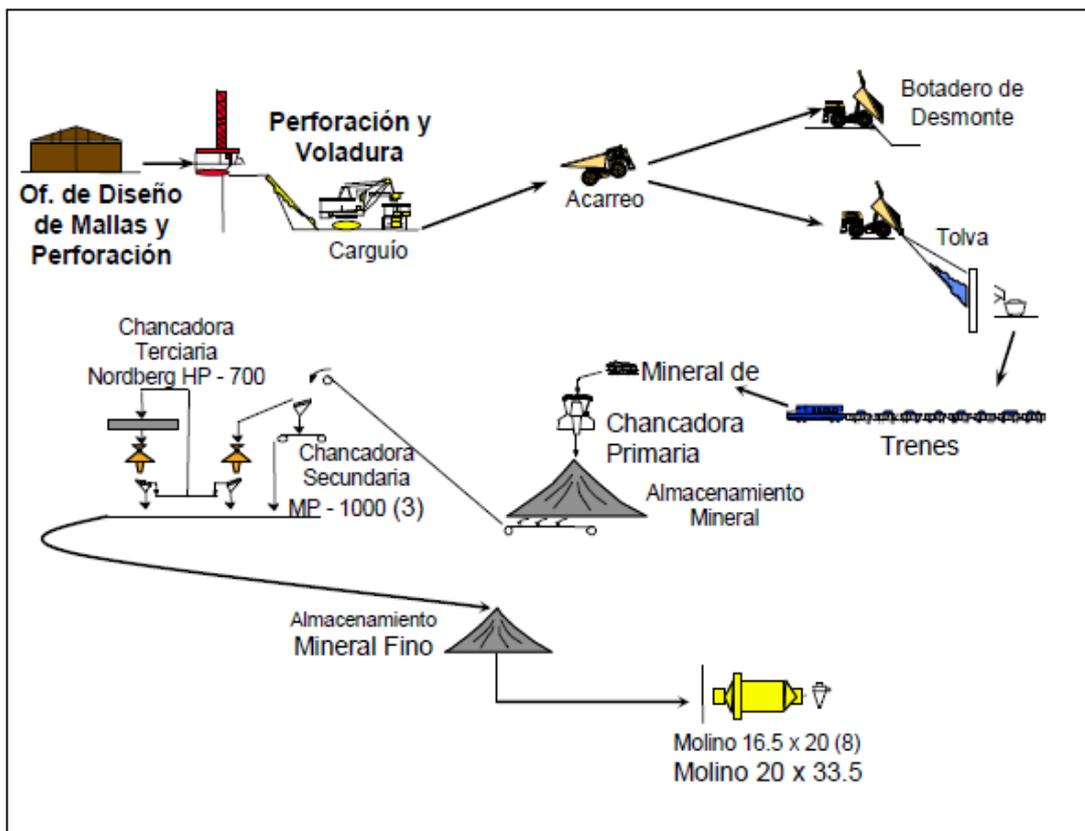
**Fuente:** SPCC

Los depósitos geológicamente similares de Quellaveco y Cujone se encuentran a 18 y 29 km de Toquepala; Chuquicamata se encuentra a 600 km al sur. Toquepala es accesible mediante la carretera Panamericana Sur, desde Camiara, situado a la altura del km 1 204, donde parte una carretera afirmada de 76 km hacia la mina. También se cuenta con otra carretera de 73 km que une la ciudad de Moquegua con la mina.

La mina es accesible también por vía aérea, puesto que cuentan con un pequeño aeropuerto en la zona de *Staff*, pero solamente para avionetas de uso de la compañía. Las vías de acceso secundarias están representadas por un ferrocarril industrial de 167 km que une la mina con el puerto de Ilo, y otro que une las minas de Cujone y Toquepala.

En Toquepala se tiene bancos con 15 metros de altura uniendo los niveles por medio de rampas con gradientes entre 8 % y 10 % y carreteras (incluyendo rampas) con un ancho hasta 40 m. La compañía cuenta con reservas probadas de cobre que alcanzan la cifra de 2 354 millones de toneladas de mineral, con una ley promedio de 0,541 % de Cu y 0,031 % de Mo que otorgan una vida útil de 54 años. La mina fue diseñada y planeada para trabajar con un *Cut Off* de 0,233 % de ley de Cobre y 0,031 % Mo durante el tiempo de vida de la misma.

Actualmente, la mina Toquepala produce 65 000 toneladas métricas de mineral por día, con ley aproximada de 0,66 % de Cu, lo que hace aproximadamente 25 millones de toneladas métricas al año. La mina está dividida en fases de minado hasta alcanzar el límite final del *pit*. Actualmente, se encuentra en explotación las fases 3; 4 y 5



**Figura 2:** Diagrama de flujo de la operación en Toquepala - SPCC



### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación es cuantitativo descriptivo, ya que se describe las diferencias de la fragmentación de la roca y la generación de humos naranjas y gases nitrosos utilizando *Quantex 73* respecto al Anfo pesado.

### **Población**

Se consideró como población de estudio a las fases de la empresa minera Toquepala – SPCC como son la fase 3, fase4 y fase 5 ya que tienen similar característica.

### **Muestra**

La muestra fue considerada la Fase 5 proyecto 3265 230-23, el tipo de muestreo fue de tipo no probabilístico según a los intereses del investigador.

### **Técnicas de recolección de datos**

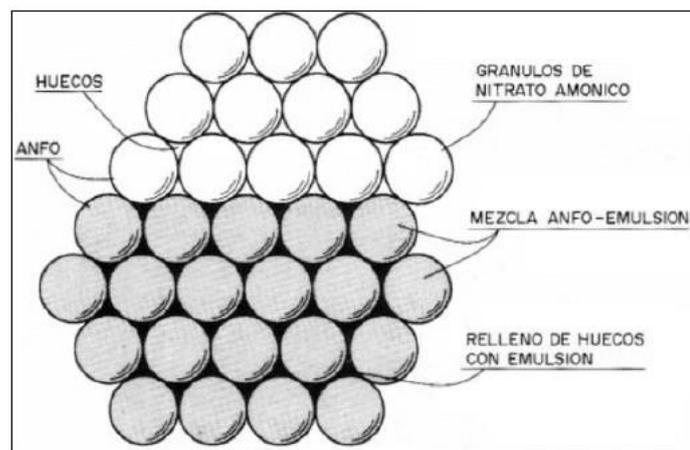
Para la recolección de datos se utilizó la técnica de la observación documental de archivos y reportes diarios del área de perforación y voladura de la mina Toquepala.

Se utilizó técnicas monitoreo con filmación mediante el cual percibimos a través de la vista todas las actividades a su alrededor, donde la observación fue de forma sistemática en el tajo de la mina Toquepala, donde se desarrollan los trabajos de voladura y la muestra de medición de la fragmentación después de la voladura. Para mejor recopilación de datos se utilizó otro instrumento auxiliar que es la libreta de campo con la guía planteada, fotografías, videos de alta definición para poder determinar el color de los humos que genera en la voladura y después se calcula el tamaño de la fragmentación.

En la presente investigación se realizó con los reportes diarios que se tenía, importante los reportes anteriores para poder evaluar y así obtener los resultados con el agente explosivo *Quantex 73*.

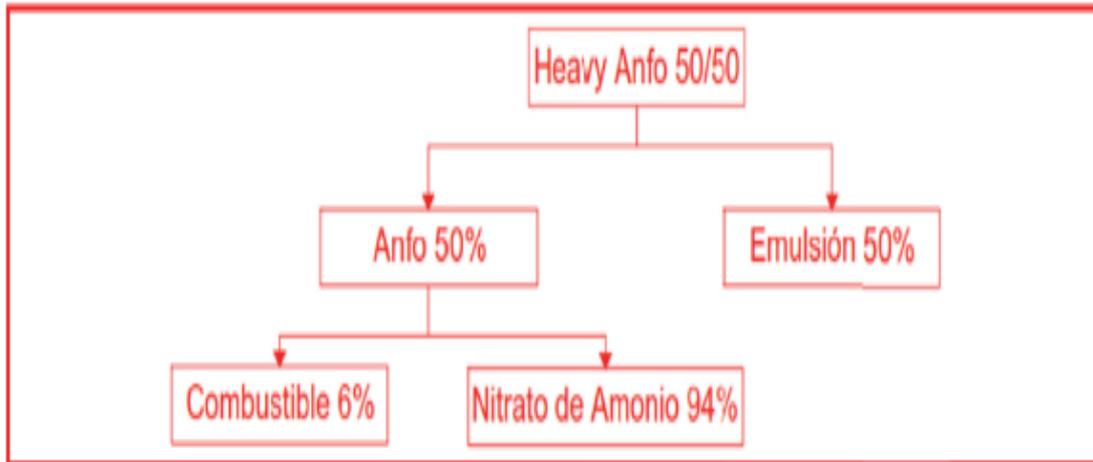
Debido al tema de la presente investigación, se describirá en detalle únicamente los agentes de voladura que están involucrados y son objeto de estudio, los cuales a su vez son más extensamente utilizados hoy en día en la minería a tajo abierto en todo el mundo.

*Heavy Anfo*: El Anfo pesado es la mezcla de dos agentes explosivos, el Anfo y la emulsión en diferentes proporciones, donde la emulsión envuelve los *prills* de Anfo, formando una matriz energética con propiedades específicas, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3:** Estructura del *Heavy Anfo*

La explotación con *Heavy Anfo* de la mina Toquepala en las fases 3, 4 y 5, la mayoría de las operaciones resulta una fragmentación de roca que llega por debajo de P80 y no cumple con los estándares de fragmentación de la roca, y también genera un costo al realizar la carga de columna y cuando se presentan taladros con agua la mezcla explosiva disminuye su velocidad de detonación, la composición del porcentaje de la mezcla *Heavy Anfo* 55, en esta parte del estudio se enfocó a evaluar la relación entre el explosivo *quantex 73*, (Yana-Yana, 2017).



**Figura 4:** Composición de *Heavy Anfo 55*

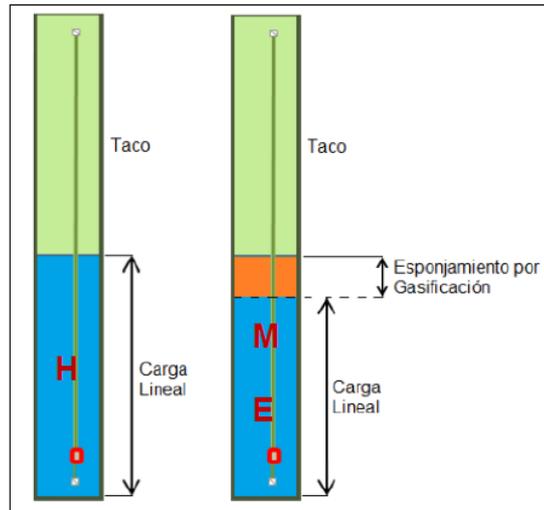
Anfo Pesado 55 (50% de emulsión y 50% de anfo), esta es una mezcla que tiene una pequeña resistencia al agua, una menor *VOD* y es más caro por tener una mayor porción de emulsión, su uso es muy restringido.

#### **Mezcla explosiva *Quantex 73***

La mezcla explosiva *Quantex 73* (MEQ73) está conformada por la emulsión gasificada con Anfo *Quantex*, estos en un porcentaje 70 % y 30 % respectivamente y adicionalmente un agente sensibilizador (nitrito de sodio) (Iglesias Salas, 2016)

La densidad de esta mezcla explosiva *Quantex 73* es modificable, el cual nos permite obtener mejores o similares resultados que las mezclas de Anfo pesado y es resistente al agua.

A continuación, se muestra la gasificación que ocurre en un taladro cargado con MEQ73 a base de emulsión gasificable, frente a otro cargado con Anfo pesado (HA) a base de emulsión matriz, cuya carga lineal no varía debido a que su densidad es constante.



**Figura 5:** Diseño de carga de taladros con Anfo pesado y mezcla explosiva *Quantex 73*

La siguiente tabla muestra el porcentaje de nitrito de sodio que es agregado a la mezcla explosiva *Quantex 73* para lograr la densidad final deseada, partiendo de una densidad inicial de 1,38 g/cc. Cabe indicar que el tiempo que dura el proceso de gasificación de un taladro es de 15 - 25 minutos, por lo que se tiene que esperar este tiempo antes de taponar el taladro.

### **Fabricación de la mezcla explosiva *Quantex 73***

El proceso de fabricación de la mezcla explosiva *Quantex 73* se muestra en el siguiente gráfico, donde se observa que la nitrificación ocurre en la etapa final de la mezcla, justo antes de descargar en el taladro.



**Figura 6:** Flujo de nitrato de Sodio para gasificar MEQ73 según el flujo de descarga de la mezcla explosiva.

**Tabla 1**

*Flujo de carguío de taladro según camión*

Camión Mack	Flujo de descarga (kg/min)	Nitrito de sodio (%)
sistema vaciable	800	0.13
sistema bombeable	270	0.12

Los involucrados en la voladura deben observar constantemente y Evaluar las condiciones del taladro como: taladro bien formado, diámetro normal, forma cilíndrica.

Luego si cumple, analizar el diseño de carga, la calidad de la mezcla, su textura y coloración; medir la densidad de acuerdo al procedimiento de carguío; medir el esponjamiento; Tiempo de gasificación en un diámetro de 12 ¼ pulgada con explosivo *Quantex 73*. De esta manera se logra hacer un análisis integral, aprovechado las propiedades del explosivo y modificando las mallas de perforación y voladura, lo cual ocasionará la disminución del factor de carga, y con ello los costos totales reflejados en el indicador dólares por tonelada rota fragmentada, además mitigar la generación de gases nitrosos y por ende mejorar las prácticas medioambientales y de seguridad.



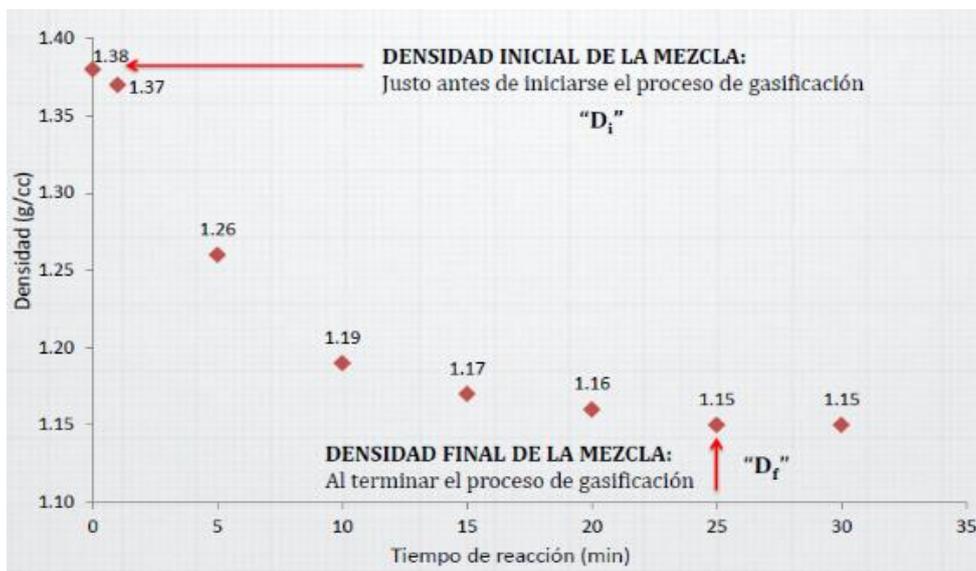
**Figura 7:** Condiciones de taladro



**Figura 8:** Textura y coloración in situ.



**Figura 9:** Medición de esponjamiento.



**Figura 10:** Medición de densidad según procedimiento de carguío.

## Datos generales para el análisis

Proyecto: 3265 230-231, fase 5

- Cantidad de taladros disparados: 204 und
- Con presencia de agua : 0
- Con presencia de gases (%) : 0%
- Back Up: 00 und
- Booster: 204 und
- Faneles: 204 und
- Ikon: 204 und
- Hora del disparo: 1:16 pm

Diseño de carga:

- Tipo de Roca: Td/Px
- Vpp Teórico: 161 mm/s
- Vpp Registrado: 83,92 mm/s
- Vpp Critico: 239,01 mm/s
- Malla (m): 7,5 x 7,5 ; 10 x 10
- Densidad de Roca: 2.6 g/cc
- FP (teórico): 0.39 Kg/TN

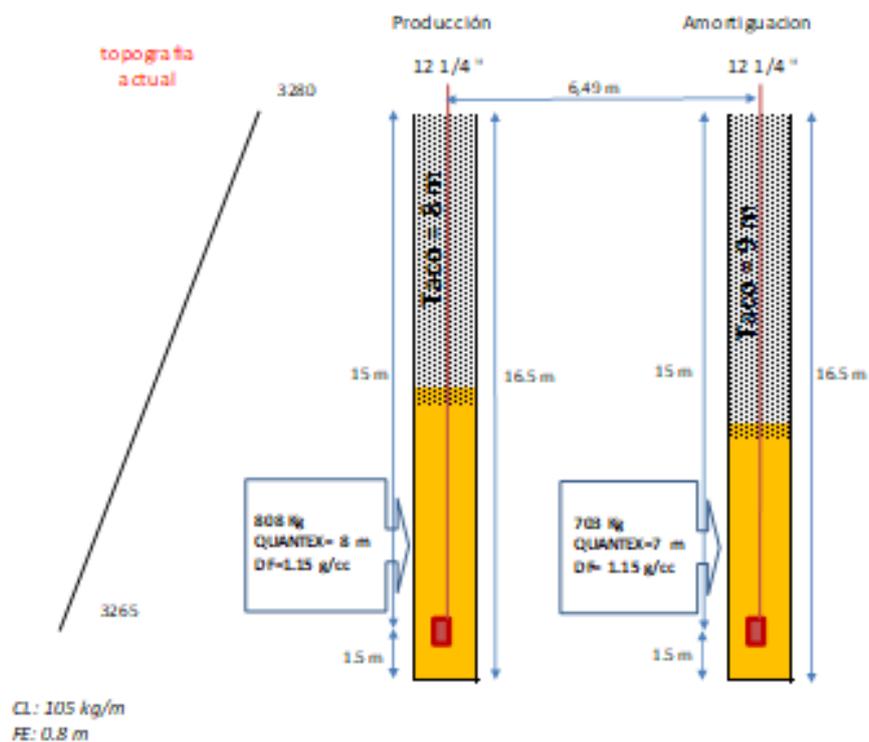
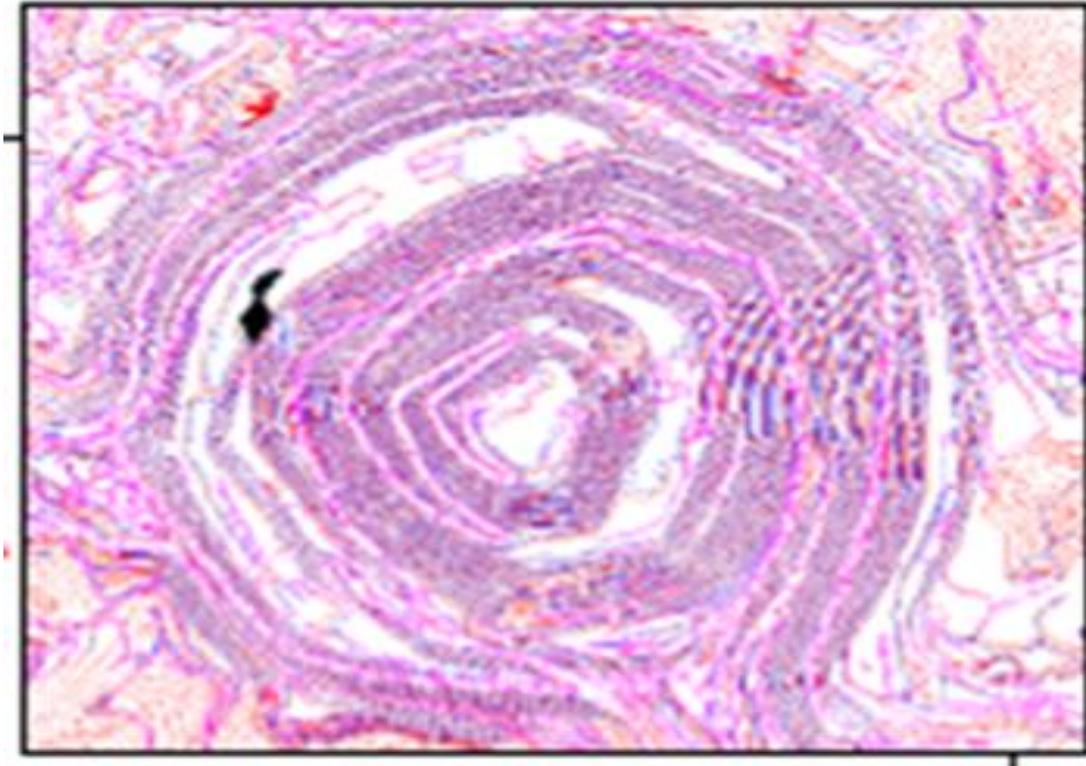
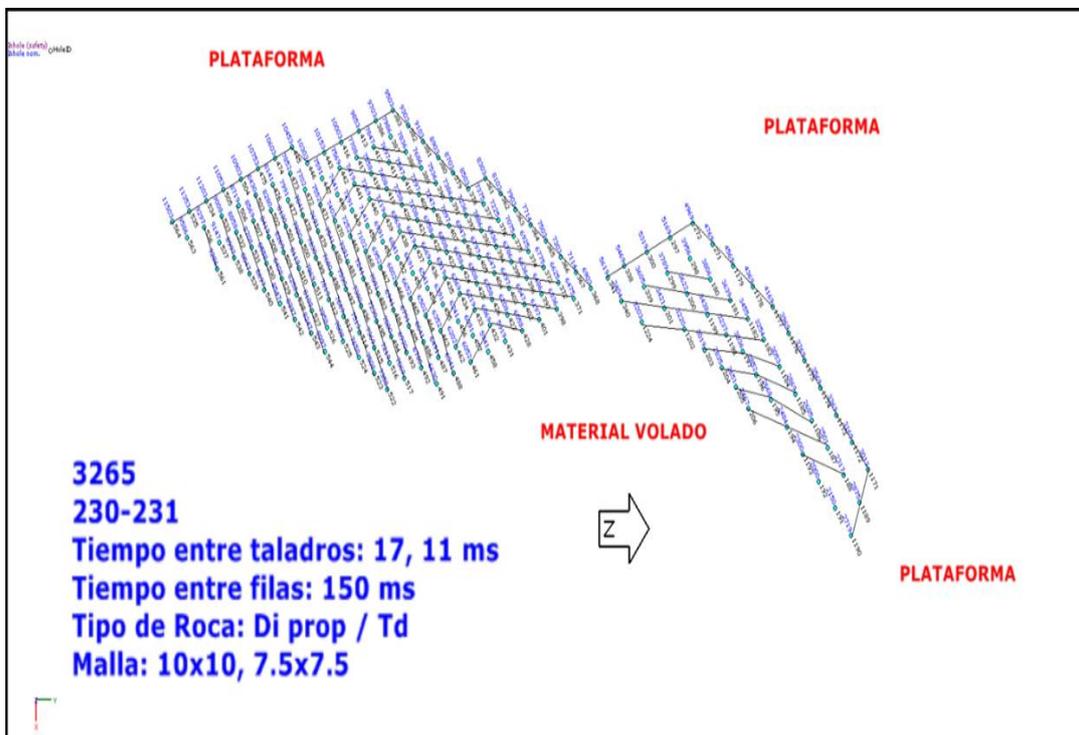


Figura 11: Diseño de Carga

- Orientación de disparo: Norte – Sur
- Tiempo entre Taladros: 11,17 ms
- Tiempo entre Filas: 150 ms



**Figura 12:** Ubicación del proyecto.



**Figura 13:** Diseño de carga

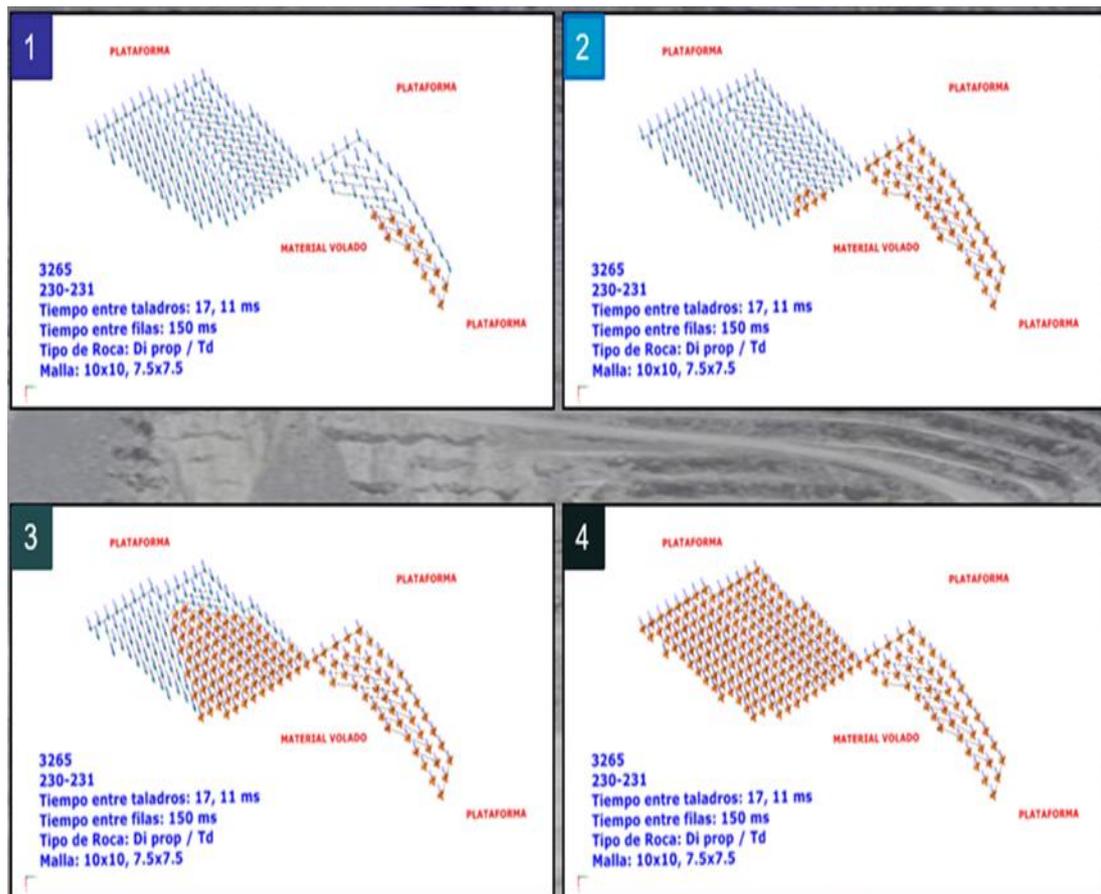


Figura 14 Secuencia de salida de disparo

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó los resultados en los registros de fragmentación, y registro de humos obtenidos con la mezcla explosiva *Quantex 73* y el *Heavy Anfo 55*.

Para iniciar el análisis e interpretación de los resultados de la Mezcla Explosiva *Quantex* en el Tajo Toquepala tenemos que hacer necesariamente una comparación de los resultados en los proyectos de voladura entre *Heavy Anfo* para demostrar las ventajas técnicas y operativas que nos proporciona la Mezcla explosiva *Quantex 73*. Para lo cual podemos observar en la siguiente tala una descripción de las diferencias.



**Tabla 2**

*Cuadro comparativo HA55 Y Quantex 73*

<i>HEAVE ANFO 55</i>	<i>Quantex – 73</i>
VOD 5200 a 5400 m/s	VOD Variable según densidad para cada tipo de roca( en estas pruebas se determinó 1.14 gr/cc) llegando hasta 5600 m/s
Densidad de explosivo 1.27+- 0.02	Densidad final variable desde 1.14 gr/cc para mineral a 0.98 gr/cc para desmonte, según tipo de roca
Consumo de petróleo 0.6% en la mezcla de ANFO	Consumo de petróleo 0.3% en la mezcla de ANFO
Velocidad de descarga 600 – 700 kg/min en vaciable y 350 kg/min en bombeable	Velocidad de descarga 630 kg/min en vaciable y 350 kg/min en bombeable
Tiempo de carguío por taladro 2 minutos	Tiempo de carguío por taladro 1 minuto 15 segundos
Densidad de carga lineal 98kg/m para taladro 12 ¼”	Densidad de carga lineal 93.9kg/m para taladro 12 ¼”
Carga por taladro entre 973 kg/tal para mineral y 730 kg/tal para desmonte	Carga por taladro entre 939 kg/tal para mineral y 665 kg/tal para desmonte
Mayor factor de carga	Menor factor de carga
Detonación violenta, mayor riesgo de <i>fly rocks</i>	La MEQ 73 no genera una detonación violenta por lo que se optimiza la energía utilizada
Mayor esponjamiento de la pila de escombros	Menor esponjamiento de la pila de escombros que hace que la pala no eleve totalmente
Mayor vibración	Reducción de vibración, cuidado de salud

Durante el estudio, se encontró información histórica del análisis de fragmentación, el cual se realiza una foto-análisis en base a un punto referencial; así como la emisión de gases nitrosos con *Heave Anfo*.



**Figura 15:** Fragmentación según un punto referencial con ANFO

Este agente explosivo MEQ 73 se comparará con las mezclas de Anfo pesado a base de emulsión matriz que se utilizaba en la operación.



**Figura 16:** Fragmentación según un punto referencial con MEQ 73.

Así mismo se evaluó la emisión de gases después de la voladura.



**Figura 17:** Emisión de gases nitrosos con *Heave Anfo*.

Los explosivos como el Heavy Anfo que se venían utilizando no tenía el balance de oxígeno adecuado, por tal motivo, se generaban los humos naranjas, por otro lado, la mezcla explosiva Quantex 73 está formada a base de emulsión gasificada, el cual al sensibilizarse con el nitrito de sodio genera burbujas



**Figura 18:** No genera gases nitrosos con MEQ 73



**Figura 19:** fragmentación P80

Resultado de pruebas con mezcla explosiva *Quantex 73*

Se procedió a realizar las pruebas con la emulsión gasificable para determinar sus cualidades y características como componentes de la mezcla explosiva *Quantex 73* (MEQ73).



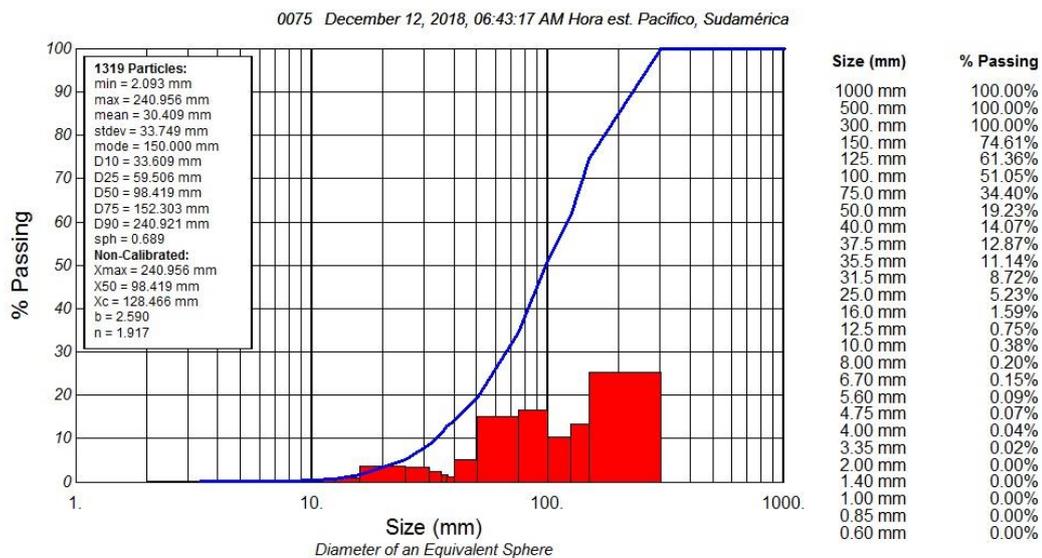
**Figura 19:** Esponjamiento del disparo.

Una vez incrustadas las fotos en el Software, este cataloga cada uno de los fragmentos, para posteriormente, generar la curva granulométrica, Veamos las siguientes figuras, Que muestra la fragmentación del material volado en la fase 5, que es donde se han obtenido los valores más representativos en comparación con él HA-55 y la mezcla explosiva *Quantex 73*.

El Software *Wip Frag* comienza con un dibujo de material abrupto y convertirlo en una malla de segmentos, realizando un análisis estadístico del segmento.



**Figura 20:** Foto análisis de roca volada y vista en software *Wip Frag*.



**Figura 21:** Curva fragmentación con explosivo gasificado MEQ 73.



Interpretando las curvas granulométricas generadas por el *Software* en las fotos tomadas a lo largos del proceso de minado, se puede apreciar: El P-80 promedio encontrado en el proyecto de voladura es 4”, El porcentaje de finos menor a 2” es 19.23%

De esta forma podemos concluir que los resultados de la voladura con la Mezcla Explosiva *Quantex* fueron satisfactorios demostrando una mejora en la granulometría.

## CONCLUSIONES

Se logra describir los beneficios de utilizar la tecnología *Quantex 73* respecto al anfo pesado que fue utilizado anteriormente, logrando una reducción en la fragmentación del material de P-80 a 4” en la fase 5 de la mina Toquepala, por otra parte, la VOD de 5200 m/s a 5400m/s se mejora llegado hasta 5600m/s.

Además, otro beneficio de la aplicación de la tecnología *Quantex 73*, permite la reducción de los humos naranjas y gases nitrosos, porque existe una reducción en el consumo de petróleo de 0.6% a 0.3% respecto al *Heavy Anfo 55*, generando ambientes más saludables para los trabajadores de la mina Toquepala.

## REFERENCIAS

- Accinelli (2016). *Aplicacion y desarrollo de tecnicas en sismica al fracturamiento en taludes con el uso de explosivo gasificado*.  
<https://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=236062&docorgid=19>
- Aguilar (2018). “*Mejoramiento de la voladura utilizando Emulsion Gasificada (Meq73) en el tajo Ferrobamba – m.m.g. las Bambas -Apurimac.*”
- Condori (2015). *Estandarización del explosivo me - quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cujone* (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa).  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/154>
- Guzman & Culqui (2014). *Influencia de la implementación de la tecnología quantex en los costos de voladura en cerro corona, hualgayoc, durante el año 2017*



- (Universidad Privada del Norte). <http://hdl.handle.net/11537/13318>
- Poma (2012). *Importancia de la Fragmentacion de la Roca en el proceso de GOLD MILL (Caso Minera Yanacocha)* (Pontificia Universidad Catolica del Perú). <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1696>
- Puerta (2016). *Implementación Tecnológica en Voladura Mediante el Uso Integral de Mezcla Explosiva Gasificable en Mina Cuajone.* 13. <https://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=236117&docorgid=19>
- Quispe (2018). Optimizacion de la fragmentacion en la mina Toquepala, mediante la aplicacion de explosivo gasificado. *Repositorio Institucional Continental*, 53(9), 66. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5022>
- Reátegui (2017). Diseño de los parámetros de voladura aplicando el modelo de Kuz Ram y la teoría de daño por vibraciones en roca, Inti Raymi - Bolivia. *Universidad Nacional Del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5706>
- Reyes (2017). “*Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba*” (Universidad Nacional de Trujillo). <http://dspace.unitru.edu.pe/ha...>
- Yana (2017). “*Evaluacion del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentacion para la reduccion de los costos de voladura en tajo de la Mina Toquepala.*” <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5616>