



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“OPTIMIZACIÓN DE LOS KPI’S Y COSTOS DE VOLADURA
UTILIZANDO EL EXPLOSIVO QUANTEX 73 EN UN
YACIMIENTO TIPO PÓRFIDO DE COBRE EN CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de minas

Autor:

Bach. Alder Emmanuel La Torre Rojas

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a Dios por darme fuerzas, iluminarme y darme la sabiduría en momentos difíciles. A mi madre, Nancy, a mi padre, Alder, a mi esposa Martha, a mi hija Samantha, a mi hermana Liz Katherin y su pequeña hija Bianka, a mis abuelos, Walter Humberto, Rosa Luzmila, Amelia Isabel y quien en vida fue Napoleón, por luchar día a día para lograr formar una persona de bien para esta sociedad y brindarme el apoyo que nunca me faltó. A los amigos que estuvieron, están y estarán presente durante una bonita etapa de mi vida, como son José Miguel, Zinthia y el pequeño grupo que quedó del colegio, Renzo, Paul Geldres, Paul Lazo y Alexander, por las alegrías y retos que pasamos juntos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme por el camino para poder concluir la carrera de Ingeniería de Minas en la Universidad Privada del Norte, iniciando mi trayecto por la Universidad de Chile, gracias a los docentes por sus enseñanzas y por formarme con buenos valores. En segundo lugar, mis sinceros agradecimientos van a mi asesor de tesis Ing. Víctor Eduardo Álvarez León y al director de la carrera de Ingeniería de Minas Alex Patricio Marinovic Pulido quienes, con su apoyo y ayuda desinteresada, me brindaron sus conocimientos, los cuales aportaron significativamente a la realización de esta tesis. Finalmente, a mi familia por siempre brindarme su apoyo sentimental y económico, a mis amigos y compañeros de estudio, que son parte de la culminación de esta tesis.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Hipótesis.....	14
1.4.1. Hipótesis general.....	14
1.4.2. Hipótesis específicas	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	15
2.1. Tipo de investigación	15
2.2. Población y muestra	16
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	16
2.4. Procedimiento	20
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	26
3.1. Resultados del análisis comparativo entre el factor de carga utilizado en el proceso de voladura con los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73	26
3.1.1. Factor de carga – Heavy Anfo (28-46-55-64).....	27
3.1.2. Factor de carga – Quantex 73	28
3.2. Evaluación de la cantidad de material volado y el número de taladros detonados utilizando Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73.....	30
3.2.1. Material volado y N° de taladros – Heavy Anfo.....	30

3.2.2.	Material volado y N° de taladros – Quantex.....	31
3.3.	Análisis de la fragmentación P80 obtenida por el Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73.....	33
3.3.1.	Fragmentación P80 – Heavy Anfo	33
3.3.2.	Fragmentación P80 – Quantex.....	34
3.4.	Resultados del análisis comparativo del costo de voladura generado por los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73	36
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		39
REFERENCIAS.....		43
ANEXOS		45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los explosivos Heavy Anfo y Quantex.....	23
Tabla 2: Factor de carga y Parámetros de malla - Heavy Anfo.....	27
Tabla 3: Factor de carga y Parámetros de malla - Quantex	28
Tabla 4: Material volado y N° de taladros - Heavy Anfo	30
Tabla 5: Material volado y N° de taladros – Quantex	31
Tabla 6: Resultados de la Fragmentación P80 - Heavy Anfo	33
Tabla 7: Resultados de la Fragmentación P80 - Quantex	34
Tabla 8: Características del explosivo y costo por taladro - Heavy Anfo / Quantex.....	36
Tabla 9: Resultados del costo de voladura - Heavy Anfo / Quantex.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Formato - Parámetros de malla / Heavy Anfo.	17
Ilustración 2: Formato - Parámetros de malla / Quantex.	18
Ilustración 3: Formato de recolección de datos - N° de taladros y material volado.....	18
Ilustración 4: Formato de recolección de datos – Fragmentación H.A.....	19
Ilustración 5: Formato de recolección de datos – Fragmentación Quantex.	19
Ilustración 6: Características principales de diferentes mezclas de ANFO Pesado.....	21
Ilustración 7: Componentes del explosivo Quantex 73.	22
Ilustración 8: Toma de muestra explosiva - Quantex 73.....	23
Ilustración 9: Toma de datos utilizando Software Split-Desktop.....	24
Ilustración 10: Procesamiento de datos de campo - Software Split-Desktop.....	25
Ilustración 11: Diseño de carga y secuencia de salida.	26
Ilustración 12: Gráfico comparativo entre el factor de carga utilizado con el Heavy Anfo y Quantex.	29
Ilustración 13: Gráfico comparativo del total de material volado y N° de taladros entre el Heavy Anfo y Quantex.....	32
Ilustración 14: Gráfico comparativo de la fragmentación P80 obtenida del Heavy Anfo y Quantex.	35
Ilustración 15: Gráfico comparativo del costo de voladura generado por el Heavy Anfo y Quantex.	38

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal optimizar los KPI’S y costo de voladura utilizando el explosivo Quantex 73 en un yacimiento tipo pórfido de cobre, ya que en la empresa dónde se realizó la toma de datos se venía realizando el proceso de voladura con Heavy Anfo. Posteriormente se realizaron pruebas utilizando el Quantex 73 como explosivo, para al final realizar una comparación entre los datos obtenidos de ambos, lo cual permitió determinar el explosivo más adecuado para el proceso de voladura y que contribuye a la optimización principalmente de los costos generados en el proceso sin afectar la calidad de la fragmentación del material.

Se realizó el análisis comparativo entre el factor de carga promedio utilizado en el proceso de voladura por los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73, en dónde se obtuvo 0.76 kg/m³ y 0.64 kg/ m³ respectivamente durante los 17 días que se realizó la toma de datos en campo. El explosivo Quantex 73 requiere un factor de carga menor, es decir se empleará menor cantidad de explosivo por cada metro cubico de material en el proceso.

El uso del Quantex 73 nos genere menor cantidad de material volado, pero esto se ve compensado con la mejora en la calidad de la fragmentación P80 y el ahorro en el costo de voladura en comparación con el Heavy Anfo (28-46-55-64).

Palabras clave: Quantex 73, Heavy Anfo, Factor de carga, Taladros, Fragmentación P80, Costos de voladura.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La voladura de rocas con explosivos data del siglo XVII, cuando se comenzó a emplear la pólvora en minería. Los avances que han marcado un verdadero hito histórico, han sido la invención de la dinamita por Alfred Nobel en 1866, para dar lugar posteriormente a la invención y empleo de explosivos comerciales como el ANFO, los hidrogeles, emulsiones y otros. En minería se busca constantemente la reducción de costos en las diferentes operaciones unitarias, principalmente los costos de perforación y voladura. Uno de los mayores problemas que afecta a los procesos de voladura, es la mala fragmentación del macizo rocoso, incrementando de esta manera los costos operativos, adicionalmente a esto se suma la generación de gases contaminantes lo que produce la alteración de la calidad del aire y con ello un gran daño al medio ambiente.

En la empresa minera dónde se realizó la toma de datos se produce concentrado de cobre que contiene partículas de oro las cuales se obtienen mediante métodos convencionales de explotación a tajo abierto y el tratamiento de minerales de sulfuros mediante la extracción por flotación de concentrado, el yacimiento que se viene explotando actualmente es de tipo pórfido de cobre (Cu), el proceso de voladura se realiza utilizando como explosivo el Heavy Anfo (HA) 46, 28, 55 y 64.

La unidad minera, en su constante innovación y mejora continua, requiere obtener mejores resultados en los procesos de voladura de manera que se optimicen los KPI’S (factor de carga, fragmentación, material volado, entre otros) y los costos de voladura; bajo esta premisa busca aplicar nuevas tecnologías en las diferentes etapas de su proceso. Por ello se realizaron pruebas utilizando un nuevo explosivo denominado QUANTEX 73,

con mayor energía, mayor sensibilidad y a un menor costo, elaborado por EXSA S.A., empresa peruana líder en la oferta de soluciones exactas en fragmentación de rocas, con esto se busca optimizar costos logrando mejores resultados en la fragmentación del macizo rocoso y la no generación de gases nitrosos (EXSA S.A., 2018).

Chugá (2017), presentó su trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero de Minas “Análisis comparativo entre el método convencional 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, utilizados en la mina Cuajone por la empresa minera Southern Perú. Para el desarrollo de la investigación de tipo descriptiva, utilizó como población a las voladuras presentes en distintas fases de explotación de la mina Cuajone. Concluyendo que la opción más viable con respecto a Costos en la voladura de roca aglomerada gris Ag, es la mezcla explosiva gasificada MEQ73, equivalente a un costo unitario de 0.15 US\$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 0.47 Kg/m³ o 0.21 Kg/ Ton.

Medina, C. R. (2014), en su Tesis Titulado: “Evaluación Técnico-Económica-Ecológica de los Resultados de las Pruebas Realizadas Usando Emulsiones Gasificadas en Cuajone-Southern Peru”, en sus objetivos indica: llevar a cabo una evaluación económica en US\$/TM disparada usando una emulsión gasificada vs anfo pesado. Y analizar y evaluar la fragmentación obtenida. En su metodología indica: este trabajo de investigación presenta una metodología descriptiva, mostrándose gráficamente las comparaciones entre las diversas diferencias técnicas y económicas de las mezclas explosivas comerciales usadas, los datos tomados para el desarrollo de la presente tesis vienen de las pruebas que

actualmente se están desarrollando en la mina Cuajone. Sus conclusiones indica: Usando la emulsión gasificada en la mezcla AP-73Q, se obtuvieron mejores resultados en términos de fragmentación y uniformidad, el P80 disminuyo en un 21.5% comparado con los resultados de los análisis realizados en proyectos disparado con HA 45/55. De las pruebas realizadas en Cuajone, se puede determinar que se obtuvieron mejores resultados en fragmentación, uniformidad y apilamiento del material volado con respecto a los resultados de las voladuras usando la mezcla explosiva HA 45/55.

Condori (2015) presentó su tesis para optar el título de Ingeniero de Minas “Estandarización del explosivo Me – Quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone”. Para el desarrollo de la investigación, el autor utilizó una investigación de tipo experimental con una población de 26 disparos de voladura llegando a la conclusión de que la emulsión gasificable alcanzó mejor performance en la velocidad de detonación (VOD) produciendo mejores resultados que el Heavy ANFO 45/55. Los resultados, en términos de fragmentación y eliminación de gases nitrosos ofrecieron, consecuentemente, mejores condiciones de excavabilidad del material volado por parte de los equipos de minado; así como también, generó ahorro debido a los menores factores de potencia registrados. Con el uso de la emulsión gasificable en reemplazo de la emulsión matriz se ha obtenido un porcentaje de ahorro del 5.4%.

Yana (2012), para optar el título de Ingeniero de Minas, presentó su tesis denominada “Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en el Tajo de la Mina Toquepala”, El objetivo de esta

investigación fue determinar los costos de los dos explosivos para evaluar el porcentaje de la reducción de voladura y obtener la mejor fragmentación de roca con la aplicación del explosivo Quantex. Desarrolló una investigación de tipo descriptivo y explicativo cuya población es la totalidad del fenómeno a estudiar. Las conclusiones de esta investigación nos indican que la evaluación de los costos comparativos de los explosivos en taladros de 12 ¼” de diámetro, se obtiene el costo por metro lineal de Heavy ANFO 55 (USD\$/ml 55.07) y el costo de Quantex (USD\$/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. Se ha determinado la evaluación del costo total de voladura del proyecto 174 de la fase 5; al realizar la voladura en roca andesita Toquepala, en dimensiones de la malla 9m x 9m, en total de 93 taladros, para explotar 254,427.01 TM de material, el costo con el explosivo Heavy ANFO 55 es 0.173 US\$/TM y con el explosivo Quantex 73 es 0.158 US\$/TM. Con un porcentaje de reducción de 8.65% a favor de Quantex 73.

Llacma (2017), para optar el título de Ingeniero de Minas, presentó su tesis denominada “Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone”, el objetivo de la tesis fue analizar y cuantificar los resultados de la emulsión gasificada en fragmentación para optimizar los procesos post voladura en las operaciones de carguío y acarreo de material volado. Para lo cual desarrollo una investigación experimental cuya población estuvo conformada por los procesos de voladura de mina Cuajone. Los resultados obtenidos, con la aplicación integral de la mezcla explosiva gasificada, se ven reflejados en un ahorro tangible de USD 5,780.157. Concluyendo así

que con esta nueva tecnología en explosivo se está logrando la fragmentación requerida, especialmente en zonas mineralizadas donde se obtiene una reducción de la fragmentación de 7.1% e incremento de la velocidad de excavación de las palas en 10%.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo optimizar los KPI’S y costos de voladura utilizando el explosivo Quantex 73 en un yacimiento tipo pórfido de cobre en Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Optimizar los KPI’S y costos de voladura utilizando el explosivo Quantex 73 en un yacimiento tipo pórfido de cobre en Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis comparativo entre el factor de carga utilizado para el proceso de voladura con el explosivo Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y el Quantex 73.
- Evaluar la cantidad de material volado y número de taladros detonados durante la voladura por los explosivos Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y el Quantex 73.
- Analizar la fragmentación p80 obtenida por el explosivo Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y el Quantex 73.
- Realizar un análisis comparativo del costo de voladura generado por los explosivos Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y Quantex 73.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Con los resultados obtenidos del proceso de voladura realizado utilizando el explosivo Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y el Quantex 73, se elegirá el explosivo con los mejores parámetros kpi’s y menor costo, lo cual permitirá optimizar el proceso de voladura y con ello aumentar las utilidades de la empresa.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Con los datos obtenidos correspondientes al factor de carga utilizado para el proceso de voladura utilizando los explosivos Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y Quantex 73, se realizará un análisis comparativo mediante en el cual se identificará la cantidad de explosivo necesario para realizar una adecuada fragmentación de la roca según su tipo de dureza que presenta el macizo rocoso.
- Se evaluará los valores obtenidos en relación a la cantidad de material volado y número de taladros detonados por los explosivos Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y el Quantex 73, lo cual permitirá definir el explosivo con el mejor rendimiento.
- Se podrá analizar el tamaño de la fragmentación P80 obtenida luego del proceso de detonación con lo cual se identificará el explosivo más óptimo para la obtención de una adecuada fragmentación durante el proceso de voladura.
- Se realizará un análisis comparativo del costo de voladura generado entre el explosivo Heavy Anfo (H.A) 28-46-55-64 y Quantex 73, lo cual permitirá optimizar el proceso de voladura con un ahorro aproximado de \$20 por taladro.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación de tipo Experimental - Aplicada con diseño cuasi experimental, la cual tiene como objetivo principal optimizar los KPI’S y con ello los costos generados en el proceso de voladura, inicialmente se utilizó como explosivo el Heavy Anfo (28-46-55-64). Posteriormente se realizaron pruebas utilizando el Quantex 73 como explosivo, para al final realizar una comparación entre los datos obtenidos de ambos, lo cual permitió determinar el explosivo más adecuado para el proceso de voladura y que contribuye a la optimización principalmente de los costos generados en el proceso sin afectar la calidad de la fragmentación del material.

Según Vargas (2009), docente de la maestría en Orientación de la Universidad de Costa Rica, el tipo de investigación aplicada se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos. Indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver.

Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86).

Asimismo, es con diseño Cuasi experimental debido a que se realiza una comparación entre 2 tipos de explosivos durante distintos periodos de prueba, es decir la investigación toma datos de un antes y después para al final comparar los resultados obtenidos al implementar un nuevo explosivo en el proceso de voladura.

2.2. Población y muestra

Población

- Todos los taladros detonados utilizando como agente explosivo el Heavy Anfo (Bancos 3700-3900) durante el mes de enero.
- Todos los taladros detonados utilizando como agente explosivo el Quantex 73 (Bancos 3720-3800) durante el mes de enero y febrero.

Muestra

- 1728 taladros detonados utilizando como agente explosivo el Heavy Anfo (28-46-55-64) durante los 17 primeros días del mes de enero.
- 1329 taladros detonados utilizando como agente explosivo el Quantex 73 durante 17 días que incluyen la última semana del mes de enero y las primeras semanas del mes de febrero.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Observación directa

Se realizó la observación directa en campo, mediante la visita a los bancos donde se venía realizando la voladura en los cuales se pudo notar algunas deficiencias en el proceso que perjudicaban la producción y costos de la empresa, directamente

los costos del proceso de voladura generada por el tipo de explosivo que se venía utilizando inicialmente.

2.3.2. Análisis documental

Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a las deficiencias y medidas empleadas para optimizar la voladura, principalmente de los costos generados durante este proceso, del mismo modo se revisó informes relacionados al desempeño del explosivo Quantex en yacimientos de tipo pórfido de cobre para tener referencias de su comportamiento ante la presencia de yacimientos de este tipo.

2.3.3. Recolección de datos en campo

La toma de datos se realizó diariamente, con la finalidad de registrar las características de cada uno de los bancos de voladura y los taladros correspondientes para posteriormente analizar sus costos y los resultados de la fragmentación de la roca. Se utilizaron instrumentos de medición como: balanza electrónica, cronómetro, vaso volumétrico, etc. Para la toma de datos en campo se elaboraron formatos para ser utilizados como instrumentos.

Parametros de diseño de Malla - HEAVY ANFO								
Fecha	Dureza	Diseño de Malla (m)			Explosivo	Tiempos (ms)		Factor de Carga
		B	E	T		Hole	Row	

Ilustración 1: Formato - Parámetros de malla / Heavy Anfo.
Fuente: Elaboración propia.

Parametros de diseño de Malla - QUANTEX								
Fecha	Dureza	Diseño de Malla (m)			Explosivo	Tiempos (ms)		Factor de Carga
		B	E	T		Hole	Row	

Ilustración 2: Formato - Parámetros de malla / Quantex.

Fuente: Elaboración propia.

Material volado y N° de taladros				
Fecha	Explosivo	Material Volado	N° de Taladros	
			Taladros	Detonadores

Ilustración 3: Formato de recolección de datos - N° de taladros y material volado.

Fuente: Elaboración propia.

Fragmentación - Explosivo Heavy Anfo				
Fecha	Explosivo	Fragmentación (mm)		
		P 80	P 50	% < 6"

Ilustración 4: Formato de recolección de datos – Fragmentación H.A.

Fuente: Elaboración propia.

Fragmentación - Explosivo Quantex				
Fecha	Explosivo	Fragmentación (mm)		
		P 80	P 50	% < 6"

Ilustración 5: Formato de recolección de datos – Fragmentación Quantex.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. Procesamiento de datos

Se realizó el procesamiento de los datos de campo obtenidos para lo cual se utilizó el programa Excel. Mediante cuadros y gráficos se comparó los resultados correspondientes a los explosivos Heavy Anfo y Quantex esto con la finalidad de poder demostrar si lo obtenido era favorable o desfavorable para la optimización del costo generado durante el proceso de voladura.

2.4. Procedimiento

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo es experimental, por lo cual se realizará la toma de datos en campo en 2 diferentes periodos de tiempo (antes y después), viendo la relación de Causa-Efecto. De esta manera se podrá determinar si el uso del explosivo Quantex 73 permite optimizar los KPI’S y el costo de voladura.

2.4.1. Primera etapa: Gabinete

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades, de la misma forma se recolecto información correspondiente a los 2 tipos de explosivos utilizados en este trabajo de investigación.

El ANFO pesado es una combinación de perlas de nitrato de amonio, diésel y suspensión. La ventaja de las mezclas de ANFO pesado es que se pueden hacer y carga fácilmente al barreno. La proporción en las cantidades de suspensión y ANFO puede ser cambiada y obtener ya sea un explosivo con mayor energía o uno que sea resistente al agua. El costo del ANFO pesado aumenta con el porcentaje de suspensión. La ventaja sobre los productos encartuchados es que el

barreno se encuentra cargado totalmente y no existen huecos entre el barreno y la carga. Una desventaja es que, ya que el explosivo ocupa el volumen total del barreno, si existe agua, ésta es empujada hacia arriba, lo que significa que se debe utilizar esta mezcla en todo el barreno. En cambio, con productos encartuchados y debido al espacio entre el cartucho y el barreno, se puede cargar producto encartuchado hasta rebasar el nivel del agua y entonces usar ANFO normal a granel de menor precio. (Konya y Albarrán, 1998)

Mezclas Explosivas	Composición (%)		Densidad (gr/cc)	VOD (m/s)	Resistencia al Agua
	Emulsión	ANFO			
HA-37	30	70	1.05 (± 0.01)	4800 - 5000	Nula
HA-46	40	60	1.15 (± 0.01)	5000 - 5200	Baja
HA-55	50	50	1.27 (± 0.01)	5200 - 5400	Buena
HA-64	60	40	1.29 (± 0.01)	4500 - 4800	Excelente

Nota:

- Tipo de Emulsión: emulsión matriz para todas las mezclas de la tabla
- VOD: Los rangos de VOD son para taladros de 10 5/8" de diámetro
- HA = Heavy ANFO

Ilustración 6: Características principales de diferentes mezclas de ANFO Pesado.

Fuente: Guzmán & Culqui (2018).

El QUANTEX 73 es la mezcla explosiva compuesta de un 70% de emulsión gasificable; Slurrex Q, potenciada con un 30% de nitrato de amonio Quantex, 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.



Ilustración 7: Componentes del explosivo Quantex 73.

Fuente: Ficha técnica Quantex 73 – EXSA.

2.4.2. Segunda etapa: Campo

Se realizaron diversos procedimientos en campo para determinar la calidad de los explosivos Heavy Anfo y Quantex. Para identificar la densidad, en el caso de un explosivo que no gasifica, su densidad es constante y basta con tomar una muestra durante la descarga al taladro. Para la gasificación, la ME Quantex se mezcla con una solución de Nitrito de Sodio, este reacciona con la emulsión formando Nitrógeno que queda atrapado en las burbujas dentro de la emulsión. Se toma una muestra en el vaso volumétrico, rápidamente se limpia el material que quede fuera del depósito y se pesa.



Ilustración 8: Toma de muestra explosiva - Quantex 73.

Fuente: Elaboración propia.

La formación de burbujas produce un aumento de volumen, que denominamos esponjamiento. A medida que progresa la reacción, disminuye la densidad de la ME Quantex.

Tabla 1:

Características de los explosivos Heavy Anfo y Quantex

Parámetros	Unidades	Heavy Anfo	Quantex
Densidad Inicial	g/cm ³	1.3	1.37
Densidad Final	g/cm ³	1.3	1.14
Esponjamiento	m/m	ne.	0.1
Long. Carga (Lc)	m	6.5	6.5
Long. Inicial (Li)	m	ne.	5.9
Carga (q)	Kg	265.5	254.4

Fuente: Datos de campo y Ficha técnica de los explosivos EXSA.

La información de los parámetros de la malla fue recopilada del área de voladura. El número de taladros, detonadores y material total volado fue contabilizado cada día en nuestros formatos y esta información se comparó con los datos proporcionados por el área de voladura.

La fragmentación de la roca se midió mediante el uso del Software Split-Desktop que, a través de imágenes digitales adquiridas en terreno, nos permitió analizar en un computador cuál es la distribución del tamaño de la roca fragmentada en cualquier etapa del proceso.



Ilustración 9: Toma de datos utilizando Software Split-Desktop.

Fuente: Elaboración propia.

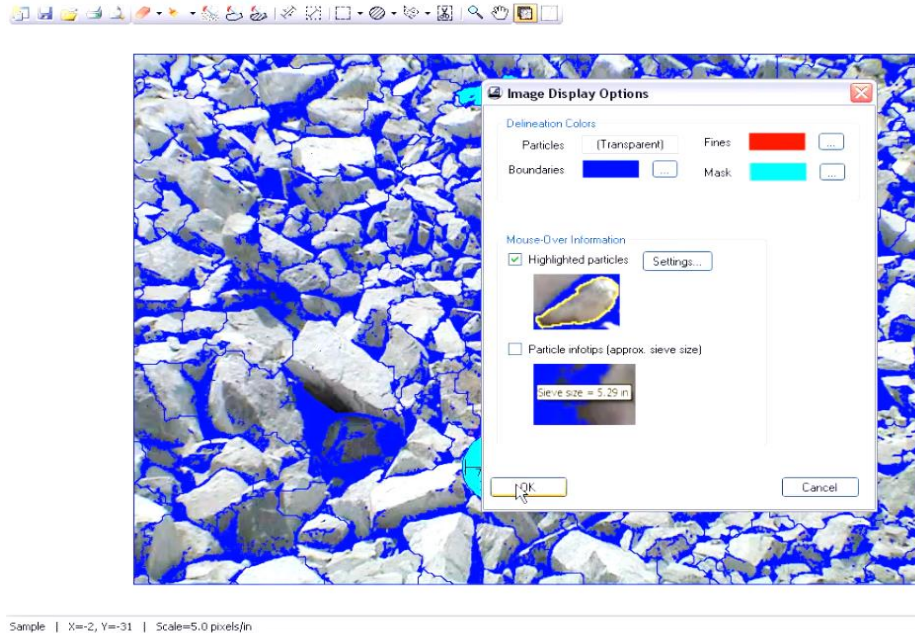


Ilustración 10: Procesamiento de datos de campo - Software Split-Desktop.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Tercera etapa: Gabinete

Se procesaron y tabularon de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron cuadros comparativos de los valores obtenidos para los KPI’S de acuerdo a los dos tipos de explosivos utilizados. Finalmente se realizó el análisis de los costos generados en el proceso de voladura para determinar si mediante la aplicación del Quantex 73 se logra optimizar los valores de KPI’S y costos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados del análisis comparativo entre el factor de carga utilizado en el proceso de voladura con los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis comparativo entre los datos del factor de carga utilizados en el proceso de voladura para cada uno de los explosivos.

PARÁMETROS	D-1	D-2	Und
Diámetro de perforación	7.88	7.88	Pulg.
Altura de banco	10.00	10.00	m.
Burden	4.78	4.78	m.
Espaciamiento	5.50	5.50	m.
Sobreperforación	1.00	1.00	m.
Taco final	4.50	4.70	m.
Taco intermedio	-	-	m.
Altura carga de fondo	6.50	6.30	m
Altura carga de columna	-	-	m.
Densidad del material	2.50	2.50	tn/m ³
Toneladas por taladro	657.61	657.61	tn
Metros cúbicos por taladro	263.04	263.04	m ³
Densidad de Mezcla	1.21	1.31	tn/m ³
Carga Lineal mezcla	38.04	41.19	kg/ml
MEZCLA AP			Kg
HA 46	247.29		Kg
HA 64		259.49	Kg
MEZCLA FONDO			
HA Kilos	-	-	Kg
64 Metros	-	-	m
Booster Pentolita	1.00	1.00	Pza.
Factor de potencia	0.38	0.39	Kg/TM
Factor de Carga	0.94	0.99	Kg/M ³

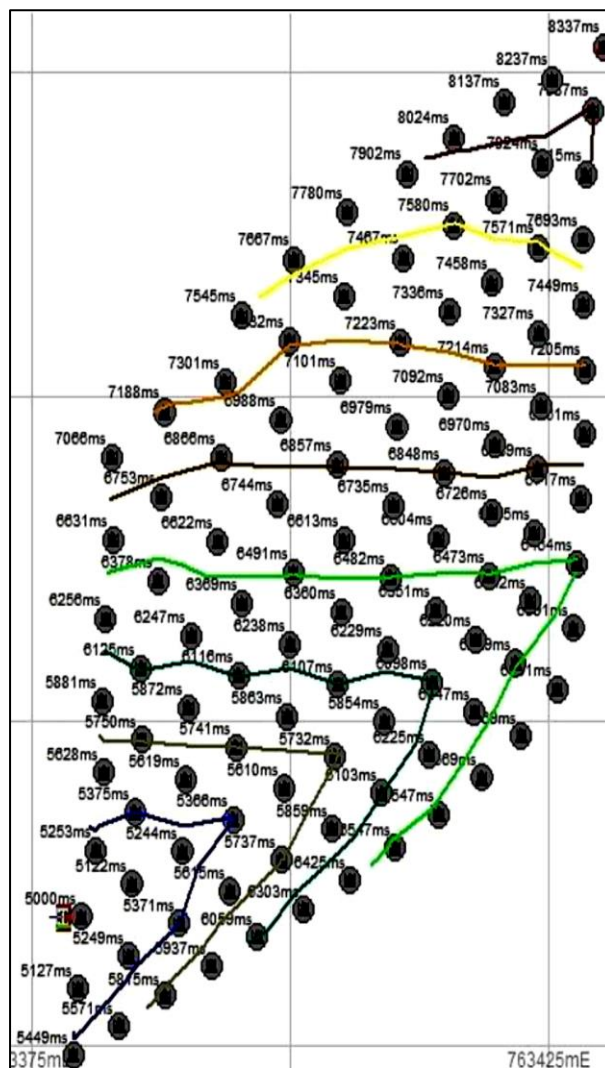


Ilustración 11: Diseño de carga y secuencia de salida.

Fuente: Área de voladura.

3.1.1. Factor de carga – Heavy Anfo (28-46-55-64)

En la tabla N° 02 se presentan los datos correspondientes al factor de carga y parámetros del diseño de la malla para el proceso de voladura realizado utilizando Heavy Anfo.

Tabla 2:

Factor de carga y Parámetros de malla - Heavy Anfo

Parámetros de diseño de Malla - HEAVY ANFO								
Fecha	Dureza	Diseño de Malla (m)			Explosivo	Tiempos (ms)		Factor de Carga (Kg/m ³)
		B	E	T		Hole	Row	
02-ene	D5	4.8	5.5	4.5	HA 46	9	122	0.94
03-ene	D4	5.7	6.5	5.5	HA 46	13	137	0.47
04-ene	D3	6.1	7	5.5	HA 28	13	137	0.3
05-ene	D5	4.8	5.5	5	HA 46	7	122	0.87
08-ene	D5	4.8	5.5	4.5	HA 46	7	122	0.94
09-ene	D4	5.7	6.5	4.7	HA 46	11	127	0.6
10-ene	D5	6.3	7.2	5	HA 46	7	122	0.47
11-ene	D4	4.4	5	8.5	HA 46	11	300	0.43
14-ene	D4	3.7	4.3	4	HA 55	7	122	1.5
15-ene	D3	6.1	7	5.5	HA 28	13	137	0.47
16-ene	D3	6.1	7	5.5	HA 28	13	137	0.3
17-ene	D5	4.8	5.5	4.5	HA 46	7	122	0.87
19-ene	D5	6.3	7.2	5	HA 46	7	122	0.94
20-ene	D5	4.8	5.5	4.5	HA 64	7	122	0.94
21-ene	D5	4.8	5.5	4.5	HA 64	11	127	0.94
22-ene	D5	4.8	5.5	4.5	HA 64	11	127	0.94
23-ene	D5	4.8	5.5	4.5	HA 64	11	127	0.94
PROMEDIO:								0.76

Fuente: Datos de campo.

3.1.2. Factor de carga – Quantex 73

En la tabla N° 03 se presentan los datos correspondientes al factor de carga y parámetros del diseño de la malla para el proceso de voladura realizado utilizando Quantex.

Tabla 3:

Factor de carga y Parámetros de malla - Quantex

Parámetros de diseño de Malla - QUANTEX								
Fecha	Dureza	Diseño de Malla (m)			Explosivo	Tiempos (ms)		Factor de Carga (Kg/m ³)
		B	E	T		Hole	Row	
25-ene	D5	4.78	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.67
26-ene	D5	4.78	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.76
28-ene	D5	4.78	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.28
29-ene	D5	4.78	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.99
30-ene	D5	4.78	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.72
01-feb	D5	4.78	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.63
04-feb	D5	4.78	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.66
05-feb	D5	4.8	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.85
06-feb	D3	6.4	7.4	5	QUANTEX	9	122	0.58
09-feb	D5	4.8	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.76
10-feb	D5	4.8	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.69
11-feb	D5	4.8	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.8
13-feb	D5	4.8	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.55
14-feb	D4	4.8	5.5	4.5	QUANTEX	9	122	0.48
16-feb	D3	6	7	5	QUANTEX	9	122	0.33
17-feb	D3	6	7	5	QUANTEX	9	122	0.32
18-feb	D5	4.8	5.5	4.5	QUANTEX	7	122	0.86
PROMEDIO:								0.64

Fuente: Datos de campo.

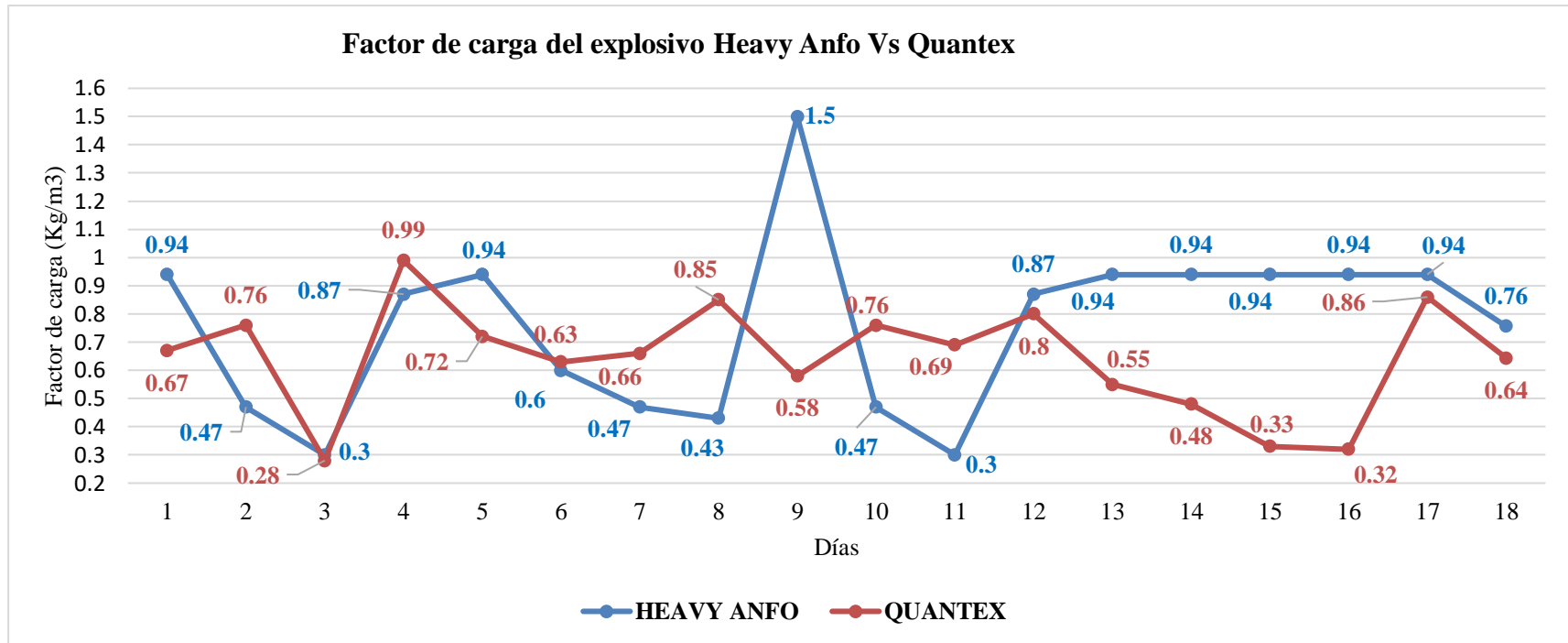


Ilustración 12: Gráfico comparativo entre el factor de carga utilizado con el Heavy Anfo y Quantex.

Fuente: Datos de campo.

La ilustración 12 presenta los datos correspondientes al factor de carga utilizado en el proceso de voladura con los explosivos Heavy Anfo y Quantex, según los resultados analizados obtenemos un valor menor utilizando el explosivo Quantex con 0.64 Kg/m³ en promedio, es decir se requerirá menor cantidad de mezcla explosiva.

3.2. Evaluación de la cantidad de material volado y el número de taladros detonados utilizando Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73

A continuación, se presenta los resultados de la evaluación realizada al total de material volado y número de taladros detonados utilizando los dos tipos diferentes de explosivos.

3.2.1. Material volado y N° de taladros – Heavy Anfo

En la tabla N° 04 se presenta los resultados del total de material volado y número de taladros detonados durante los 17 días que se realizó la toma de datos en campo.

Tabla 4:

Material volado y N° de taladros - Heavy Anfo

Material volado y N° de taladros - Heavy Anfo				
Fecha	Explosivo	Material Volado (bcm)	N° de Taladros	
			Taladros	Detonadores
02-ene	HA 46	32,080	106	107
03-ene	HA 46	34,147	107	107
04-ene	HA 28	15,638	38	38
05-ene	HA 46	12,142	23	24
08-ene	HA 46	37,783	141	141
09-ene	HA 46	10,828	33	33
10-ene	HA 46	20,092	92	92
11-ene	HA 46	7,900	33	34
14-ene	HA 55	3,706	33	34
15-ene	HA 28	60,537	170	170
16-ene	HA 28	41,988	84	84
17-ene	HA 46	22,414	104	104
19-ene	HA 46	55,964	166	166
20-ene	HA 64	39,717	122	122
21-ene	HA 64	34,875	109	109
22-ene	HA 64	83,297	247	247
23-ene	HA 64	38,515	120	120
TOTAL:		551,623	1,728	1,732

Fuente: Datos de campo.

3.2.2. Material volado y N° de taladros – Quantex

En la tabla N° 05 se presenta los resultados del total de material volado y número de taladros detonados durante los 17 días que se realizó la toma de datos en campo.

Tabla 5:

Material volado y N° de taladros – Quantex

Material volado y N° de taladros - Quantex				
Fecha	Explosivo	Material Volado (bcm)	N° de Taladros	
			Taladros	Detonadores
25-ene	QUANTEX	18,274	68	69
26-ene	QUANTEX	10,716	91	92
28-ene	QUANTEX	15,709	59	61
29-ene	QUANTEX	18,064	70	71
30-ene	QUANTEX	10,287	37	38
01-feb	QUANTEX	17,915	64	65
04-feb	QUANTEX	18,435	67	69
05-feb	QUANTEX	25,942	99	99
06-feb	QUANTEX	42,499	121	122
09-feb	QUANTEX	23,276	80	80
10-feb	QUANTEX	27,412	90	90
11-feb	QUANTEX	17,038	59	59
13-feb	QUANTEX	18,796	56	56
14-feb	QUANTEX	13,093	39	39
16-feb	QUANTEX	52,526	119	119
17-feb	QUANTEX	36,219	86	86
18-feb	QUANTEX	36,530	124	124
TOTAL:		402,731	1,329	1,339

Fuente: Datos de campo.

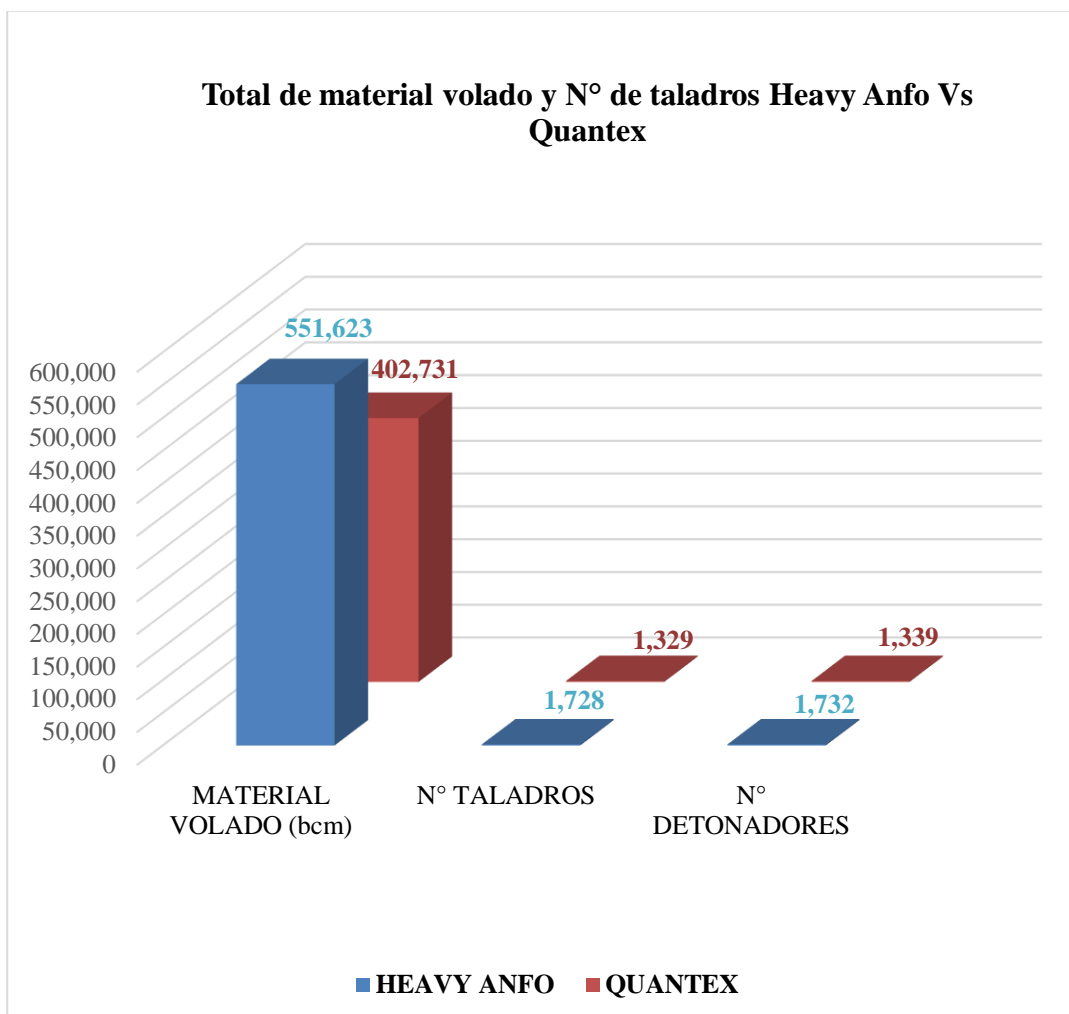


Ilustración 13: Gráfico comparativo del total de material volado y N° de taladros entre el Heavy Anfo y Quantex.

Fuente: Datos de campo.

En la ilustración 13 observamos los datos obtenidos en campo correspondientes al total de material volado y número de taladros detonados utilizando como agentes explosivos el Heavy Anfo y el Quantex. El explosivo que obtuvo mayor cantidad de material volado y taladros detonados fue el Heavy Anfo con un total de 551,623 bcm y 1728 taladros respectivamente.

3.3. Análisis de la fragmentación P80 obtenida por el Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis realizado a la fragmentación P80 obtenida utilizando Heavy Anfo y Quantex durante el proceso de voladura.

3.3.1. Fragmentación P80 – Heavy Anfo

En la tabla N° 06 se presenta los resultados obtenidos de la fragmentación P80 obtenida durante los 17 días que se realizó la toma de datos utilizando como agente explosivo el Heavy Anfo.

Tabla 6:

Resultados de la Fragmentación P80 - Heavy Anfo

Fragmentación - Explosivo Heavy Anfo				
Fecha	Explosivo	Fragmentación (mm)		
		P 80	P 50	% < 6"
02-ene	HA 46	159	97	93
03-ene	HA 46	145	79.9	81.7
04-ene	HA 28	160.8	79.17	93.3
05-ene	HA 46	N.R	N.R	N.R
08-ene	HA 46	168.20	89.5	90.17
09-ene	HA 46	N.R	N.R	N.R
10-ene	HA 46	161.30	79.1	93
11-ene	HA 46	114.07	69.88	95.39
14-ene	HA 55	138.56	65.66	99.85
15-ene	HA 28	393.07	179.35	53.72
16-ene	HA 28	681.41	380.91	30.42
17-ene	HA 46	206.27	111.68	78.55
19-ene	HA 46	N.R	N.R	N.R
20-ene	HA 64	159.50	79.98	93.64
21-ene	HA 64	243.44	157.81	90.1
22-ene	HA 64	119.72	58.59	90.1
23-ene	HA 64	120.56	59.68	90.1
PROMEDIO:		212.2	113.4	83.8

Fuente: Datos de campo.

3.3.2. Fragmentación P80 – Quantex

En la tabla N° 07 se presenta los resultados obtenidos de la fragmentación P80 obtenida durante los 17 días que se realizó la toma de datos utilizando como agente explosivo el Quantex.

Tabla 7:

Resultados de la Fragmentación P80 - Quantex

Fragmentación - Explosivo Quantex				
Fecha	Explosivo	Fragmentación (mm)		
		P 80	P 50	% < 6"
25-ene	QUANTEX	107.1	65.39	95.38
26-ene	QUANTEX	106	64.43	95.33
28-ene	QUANTEX	187	101.88	68.46
29-ene	QUANTEX	131.9	65.57	86.06
30-ene	QUANTEX	121.1	29.03	86.79
01-feb	QUANTEX	111.3	32.34	90.67
04-feb	QUANTEX	138.7	68.97	84
05-feb	QUANTEX	117.6	62.58	91.14
06-feb	QUANTEX	115.9	60.13	91.38
09-feb	QUANTEX	124.1	70.08	89.92
10-feb	QUANTEX	118.4	60.28	89.23
11-feb	QUANTEX	100.1	55.25	95.67
13-feb	QUANTEX	89.67	42.04	95.6
14-feb	QUANTEX	90.85	50.11	99.1
16-feb	QUANTEX	137.7	43.15	84.33
17-feb	QUANTEX	96.2	27.48	93.59
18-feb	QUANTEX	121.8	67.45	90.94
PROMEDIO:		118.5	56.8	89.9

Fuente: Datos de campo.

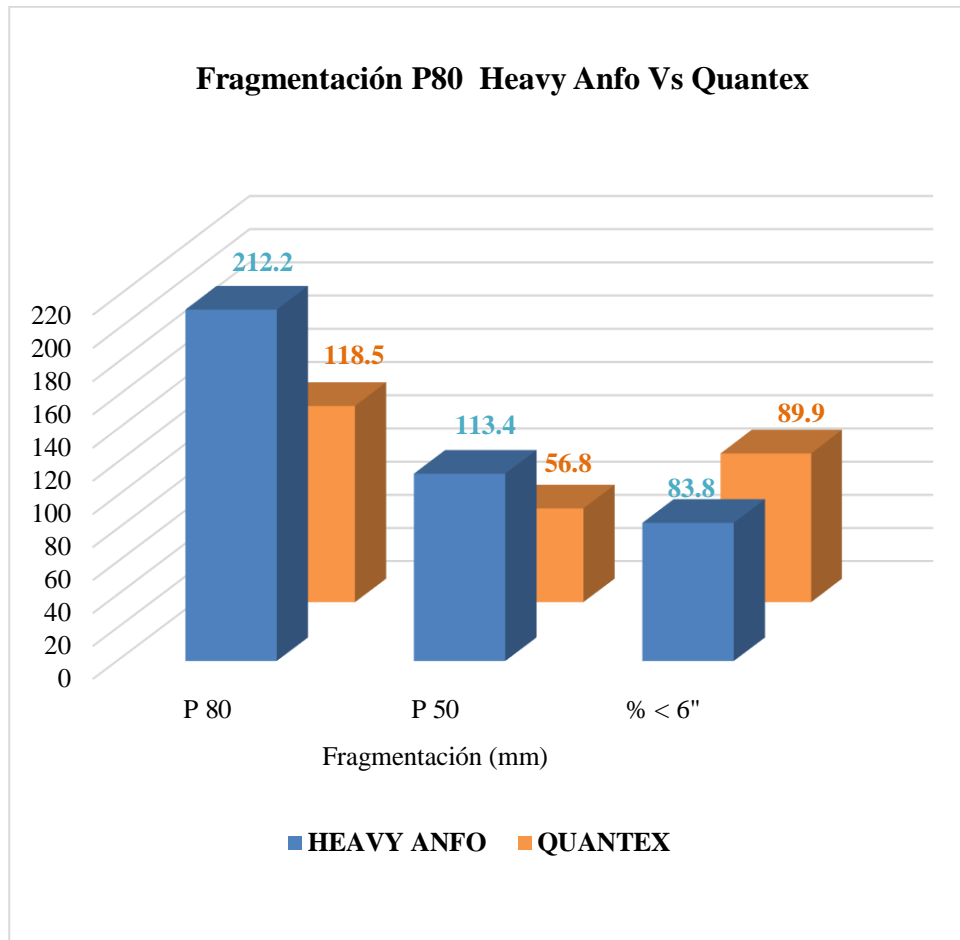


Ilustración 14: Gráfico comparativo de la fragmentación P80 obtenida del Heavy Anfo y Quantex.

Fuente: Datos de campo.

En la ilustración 14 se muestra los resultados del análisis comparativo realizado a la fragmentación P80 obtenida al utilizar Heavy Anfo y Quantex como agentes explosivos, se puede observar que el Quantex nos permite obtener una mejor fragmentación con un promedio de 118.5 mm en comparación con el Heavy Anfo.

3.4. Resultados del análisis comparativo del costo de voladura generado por los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del análisis comparativo entre los costos de voladura del Heavy Anfo y Quantex.

Tabla 8:

Características del explosivo y costo por taladro - Heavy Anfo / Quantex

Parámetros	Unidades	Heavy Anfo	Quantex
Densidad Inicial	g/cm ³	1.3	1.37
Densidad Final	g/cm ³	1.3	1.14
Esponjamiento	m/m	ne.	0.1
Long. Carga (Lc)	m	6.5	6.5
Long. Inicial (Li)	m	ne.	5.9
Carga (q)	Kg	265.5	254.4
Precio Mezcla	\$/Kg	0.663	0.616
Costo / Taladro	\$	176	156.7

Fuente: Datos de campo y empresa EXSA.

En la tabla N° 08 se observa las principales características de los explosivos, así como el costo por taladro expresado en dólares correspondiente a cada tipo de explosivo. De los resultados se puede observar que el explosivo Quantex tiene menor costo en comparación con el Heavy Anfo.

Tabla 9:

Resultados del costo de voladura - Heavy Anfo / Quantex

Fecha	Dureza	Taladros	Costo/Tal (\$) Heavy Anfo	Costo/Tal (\$) Quantex	USD Heavy Anfo	USD Quantex
25-ene	D5	68	176	156.7	11968	10655.6
26-ene	D5	91	176	156.7	16016	14259.7
28-ene	D5	59	176	156.7	10384	9245.3
29-ene	D5	70	176	156.7	12320	10969
30-ene	D5	37	176	156.7	6512	5797.9
01-feb	D5	64	176	156.7	11264	10028.8
04-feb	D5	67	176	156.7	11792	10498.9
05-feb	D5	99	176	156.7	17424	15513.3
06-feb	D3	121	176	156.7	21296	18960.7
09-feb	D5	80	176	156.7	14080	12536
10-feb	D5	90	176	156.7	15840	14103
11-feb	D5	59	176	156.7	10384	9245.3
13-feb	D5	56	176	156.7	9856	8775.2
14-feb	D4	39	176	156.7	6864	6111.3
16-feb	D3	119	176	156.7	20944	18647.3
17-feb	D3	86	176	156.7	15136	13476.2
18-feb	D5	124	176	156.7	21824	19430.8
TOTAL:		1,329			233,904	208,254

Fuente: Datos de campo.

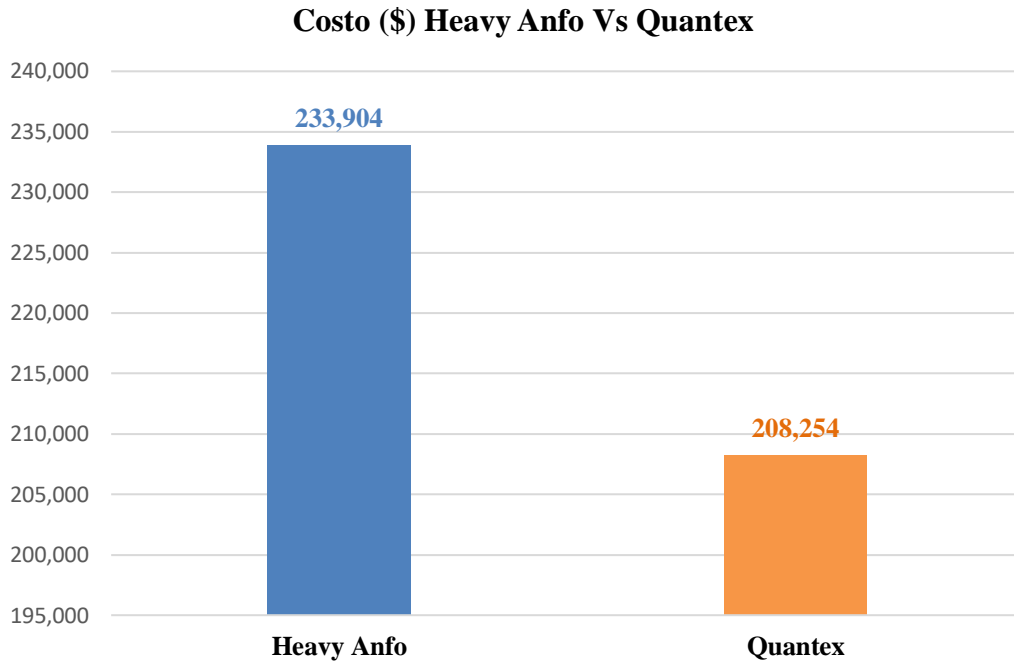


Ilustración 15: Gráfico comparativo del costo de voladura generado por el Heavy Anfo y Quantex.

Fuente: Datos de campo.

En la ilustración 15 observamos los resultados obtenidos de la comparación entre el costo de voladura generado por el Heavy Anfo y Quantex. La diferencia entre ambos costos es de \$ 25,650, siendo el Quantex el explosivo con menor costo, este resultado indica un ahorro de \$ 19.3 por taladro en el proceso de voladura.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados en relación al factor de carga utilizado con los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73 indicaron un promedio de 0.76 Kg/m³ y 0.64 Kg/m³ respectivamente, estos factores utilizados en presencia de roca con dureza de 3, 4 y 5 para ambos casos. Esto nos indica que el Quantex 73 requerirá menos cantidad de explosivo por cada metro cúbico de material volado.

La cantidad de material volado y N° de taladros detonados presentan un aumento de 148,892 bcm y 399 taladros respectivamente utilizando el Heavy Anfo como agente explosivo en comparación con el Quantex.

En la fragmentación P80 el Heavy Anfo obtiene un promedio de 212.2 mm y el Quantex 118.5 mm, es decir el Quantex nos permite obtener una mejor fragmentación del material lo cual nos permite apoyar lo descrito por Medina, C. R. (2014), en su Tesis Titulada: “Evaluación Técnico-Económica-Ecológica de los Resultados de las Pruebas Realizadas Usando Emulsiones Gasificadas en Cuajone-Southern Peru”, en sus objetivos indica: llevar a cabo una evaluación económica en US\$/TM disparada usando una emulsión gasificada vs anfo pesado. Y analizar y evaluar la fragmentación obtenida. En su metodología indica: este trabajo de investigación presenta una metodología descriptiva, mostrándose gráficamente las comparaciones entre las diversas diferencias técnicas y económicas de las mezclas explosivas comerciales usadas, los datos tomados para el desarrollo de la presente tesis vienen de las pruebas que actualmente se están desarrollando en la mina Cuajone. Sus conclusiones indica: Usando la emulsión gasificada en la mezcla AP-73Q, se obtuvieron mejores resultados en términos de

fragmentación y uniformidad, el P80 disminuyó en un 21.5% comparado con los resultados de los análisis realizados en proyectos disparado con HA 45/55. De las pruebas realizadas en Cuajone, se puede determinar que se obtuvieron mejores resultados en fragmentación, uniformidad y apilamiento del material volado con respecto a los resultados de las voladuras usando la mezcla explosiva HA 45/55.

En los resultados de costos obtuvimos un ahorro promedio de \$ 19.3 por taladro empleando el Quantex como agente explosivo en comparación con el Heavy Anfo, al utilizar el Quantex en el proceso de voladura se estaría optimizando los costos, los resultados obtenidos nos permite apoyar lo descrito por Yana (2012), para optar el título de Ingeniero de Minas, presentó su tesis denominada “Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en el Tajo de la Mina Toquepala”, El objetivo de esta investigación fue determinar los costos de los dos explosivos para evaluar el porcentaje de la reducción de voladura y obtener la mejor fragmentación de roca con la aplicación del explosivo Quantex. Desarrolló una investigación de tipo descriptivo y explicativo cuya población es la totalidad del fenómeno a estudiar. Las conclusiones de esta investigación nos indican que la evaluación de los costos comparativos de los explosivos en taladros de 12 ¼” de diámetro, se obtiene el costo por metro lineal de Heavy ANFO 55 (USD\$/ml 55.07) y el costo de Quantex (USD\$/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. Se ha determinado la evaluación del costo total de voladura del proyecto 174 de la fase 5; al realizar la voladura en roca andesita Toquepala, en dimensiones de la malla

9m x 9m, en total de 93 taladros, para explotar 254,427.01 TM de material, el costo con el explosivo Heavy ANFO 55 es 0.173 US\$/TM y con el explosivo Quantex 73 es 0.158 US\$/TM. Con un porcentaje de reducción de 8.65% a favor de Quantex 73.

4.2 Conclusiones

- Se realizó el análisis comparativo entre el factor de carga promedio utilizado en el proceso de voladura por los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73, en dónde se obtuvo 0.76 kg/m³ y 0.64 kg/ m³ respectivamente durante los 17 días que se realizó la toma de datos en campo. El explosivo Quantex 73 requiere un factor de carga menor, es decir se empleará menor cantidad de explosivo por cada metro cubico de material en el proceso.
- Al evaluar la cantidad de material volado y número de taladros, se obtuvo como resultado 551,623 bcm y 402,731 bcm para el heavy Anfo y Quantex respectivamente, lo cual nos indica que utilizando el Heavy Anfo (28-46-55-64) se obtiene mayor cantidad de material volado, por lo tanto, se detonaron una mayor cantidad de taladros superando por 399 taladros más al Quantex.
- El análisis de la fragmentación obtenida por el Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73, indicó una mejora en el P80 utilizando el Quantex 73 como agente explosivo en el proceso, siendo de 118.5 mm en promedio en comparación con el Heavy Anfo que fue de 212.2 mm.
- Se realizó el análisis comparativo entre el costo de la voladura generada por el uso de los explosivos Heavy Anfo (28-46-55-64) y Quantex 73, obteniendo un ahorro de \$ 19.3 por taladro utilizando el Quantex 73 en comparación con el Heavy Anfo.
- El uso del Quantex 73 nos genere menor cantidad de material volado, pero esto se ve compensado con la mejora en la calidad de la fragmentación P80 y el ahorro en el costo de voladura en comparación con el Heavy Anfo (28-46-55-64).

REFERENCIAS

- Chugá, A. (2017). “*Análisis comparativo entre el método convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú*”. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Ecuador.
- Condori, S. (2015). “*Estandarización del explosivo Me – Quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone*”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- EXSA S.A. (2016). “*Tecnología Quantex*”. Recuperado el enero de 2018, de Exsa - soluciones exactas para fragmentación de roca, voladura y explosivos: <http://www.exsasoluciones.pe/exsa-y-la-tecnologia-quantex-en-el-pdac-2016/>
- Ficha técnica del Quantex 73, recuperado de: <https://www.exsa.net/image/pdf/QUANTEX%2073.pdf>
- Konya, C., & Albarrán, E. (1998). “*Diseño de voladuras*”. Cuicatl.
- Llacma, O. (2017). “*Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone*”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.

EXSA S.A. (2018). *Manual de voladura EXSA*. Lima.

Medina, O. (2014). “*Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone-Southern Perú*”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Yana, F. (2012). “*Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en el Tajo de la Mina Toquepala*”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>

Vargas, R. (2009). La Investigación aplicada: *una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

ANEXOS

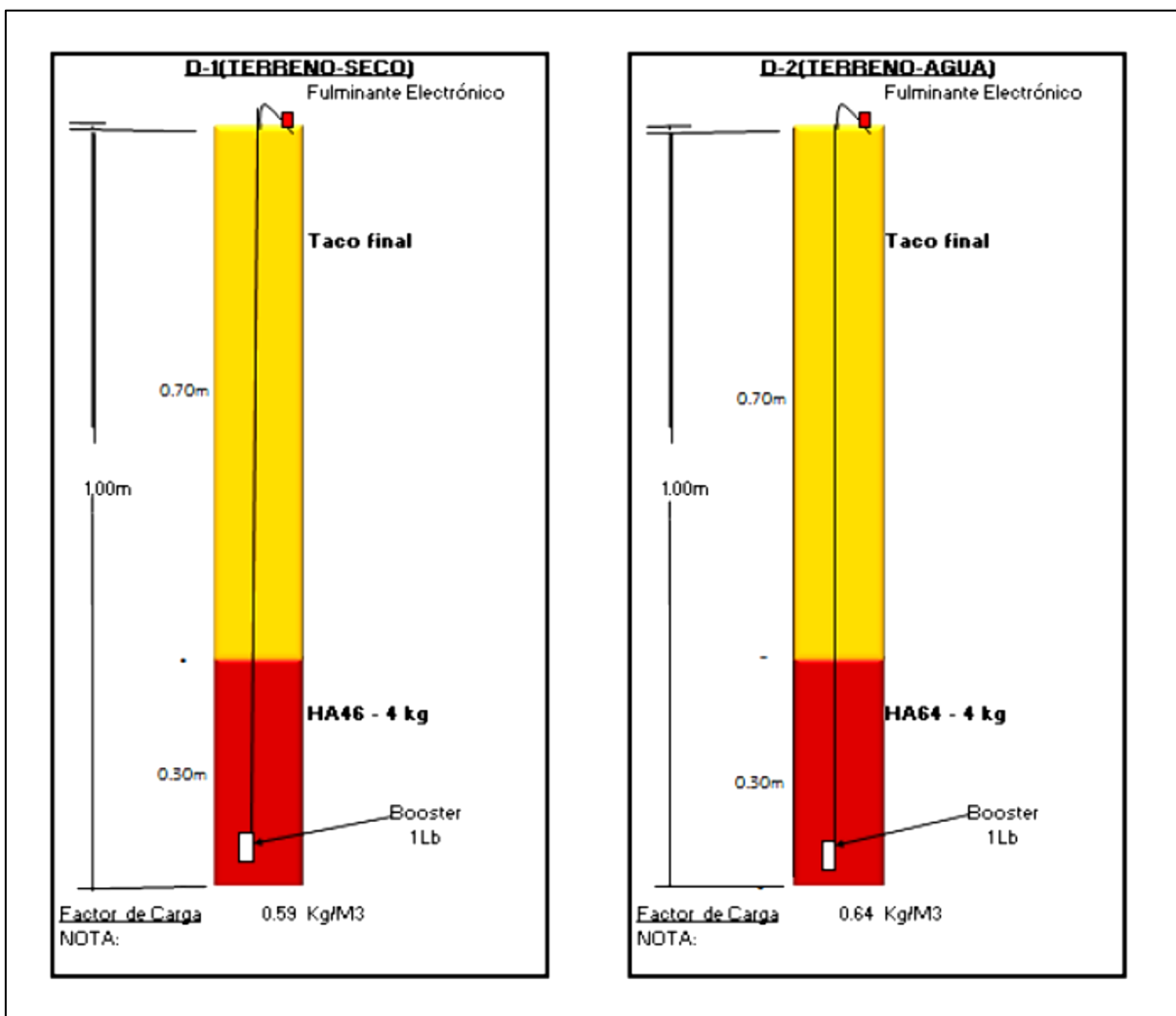
Anexo N° 01: Características técnicas del explosivo Quantex 73

Características técnicas		
Especificaciones técnicas	Unidades	QUANTEX 73
Densidad	gr/cm ³	1.13 +/- 5%
Diámetro crítico	pulg	4.5
Profundidad máxima de carga	m	18
Velocidad de detonación (VOD)*	m/s	4,000 – 6,000
Iniciador recomendado	---	Booster de pentolita B-450g
Emisión de CO ₂	kg CO ₂ / ton. Quantex	0.174
Tiempos de gasificación	min	20 – 30
Presión de detonación	kbar	24.0 – 107.0
Energía absoluta en peso (AWS)**	kJ/kg	3,036
Energía Absoluta en Volumen (ABS)**	J/cm ³	3,214 – 3,575
Potencia relativa efectiva al peso (RWS)***	%	113
Potencia relativa efectiva en volumen (RBS)***	%	170
Tipos de barrenos		Secos / Agua

* VOD sin confinar en diámetro de 6".
 ** Características calculadas empleando Software TERMODET a condiciones ideales de 1 atm.
 ***Característica de potencia relativa efectiva calculada con Software TERMODET a condiciones ideales de 100 MPa, con una densidad del Anfo de 0.8 g/cm³ y una energía efectiva del Anfo de 2362 KJ/Kg

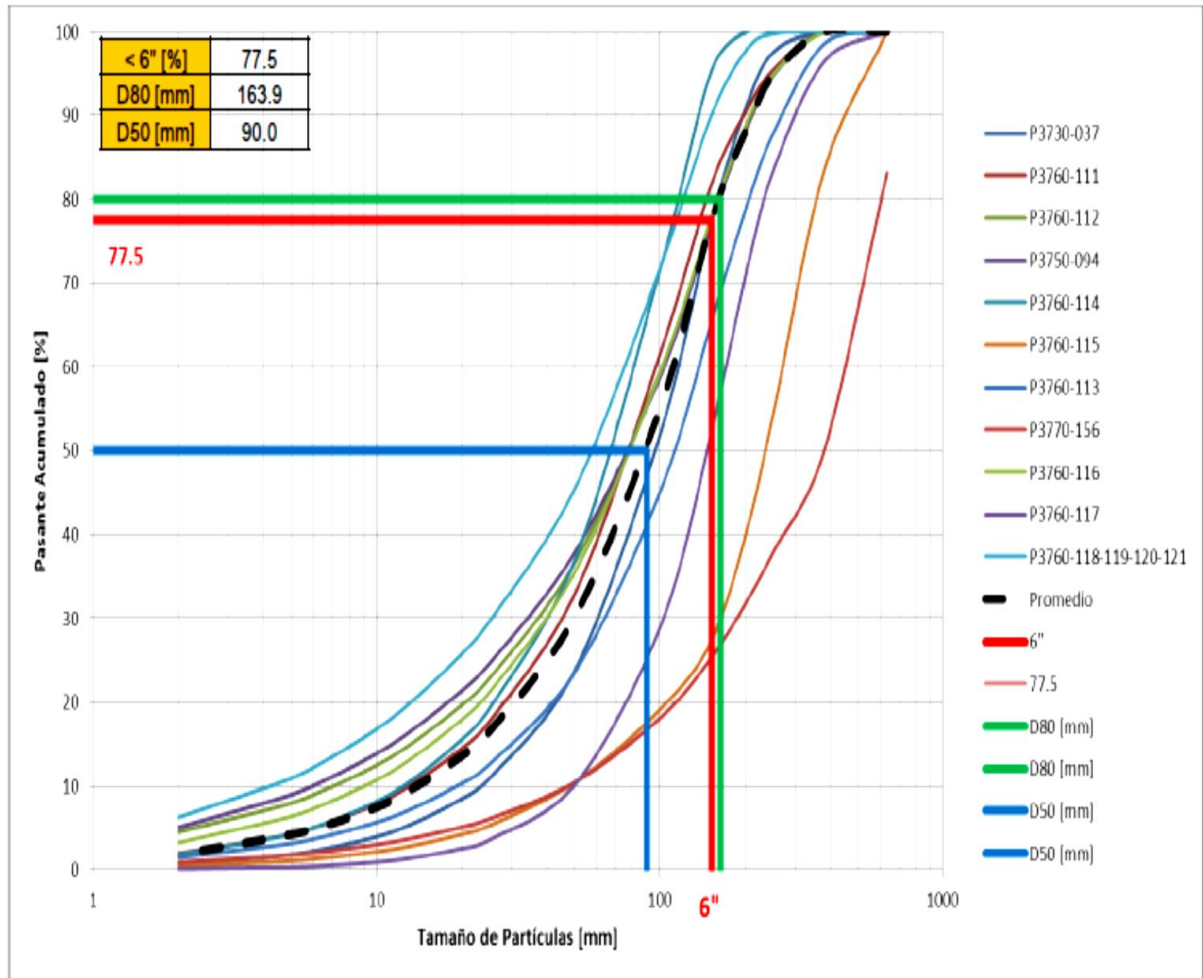
Fuente: Catálogo de productos EXSA 2019.

Anexo N° 02: Diseño de carga del Heavy Anfo



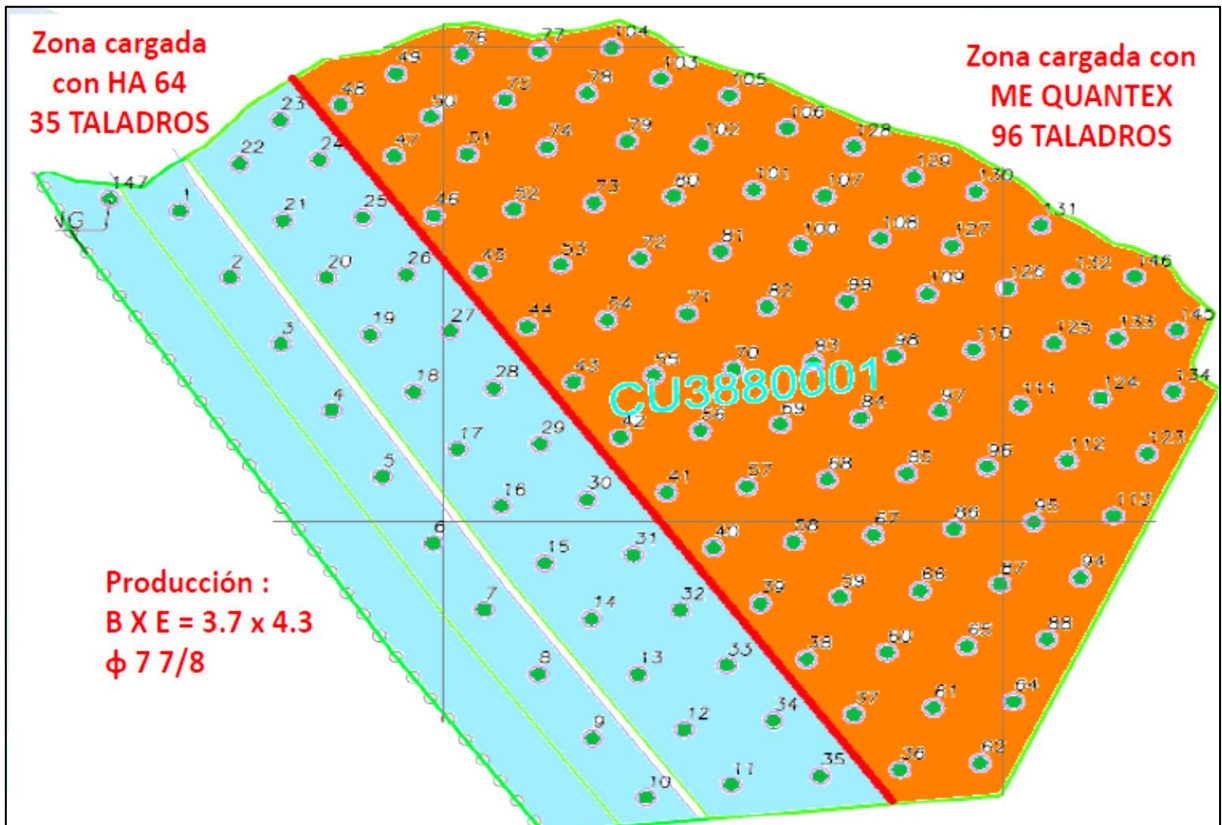
Fuente: Área de Voladura.

Anexo N° 03: Análisis de fragmentación del Heavy Anfo



Fuente: Área de voladura.

Anexo N° 04: Diseño de malla - Banco 3890



Fuente: Área de voladura.

Anexo N° 05: Apilamiento de Heavy Anfo y Quantex en campo.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 06: Material fragmentado con el explosivo Quantex 73



Fuente: Elaboración propia