

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

“Aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 para la optimización de la voladura primaria en la fase 2 del tajo Toromocho - Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020”

Presentado por:

Brayan León Deza

Carlos Alberto Serrano Ramos

Para optar el título profesional de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

"APLICACIÓN DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73 PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA PRIMARIA EN LA FASE 2 DEL TAJO TOROMOCHO - CIA MINERA CHINALCO MOROCOCHA JUNÍN 2020"

Presentado por **Brayan León Deza** y **Carlos Alberto Serrano Ramos**,
para optar el Título de:

INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado 20 de diciembre del 2021, ante el jurado evaluador:

Presidente:



Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada

Primer Miembro:



Ing. Percy Leonidas Cortez Miranda

Segundo Miembro:



Ing. Beda Martene Ortega Cortez

Asesor :



Ing. Hilario Carrasco Kolque

Agradecimiento

Expresamos un sincero Agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y más aún a la Escuela Académico – Profesional de Ingeniería de Minas, institución que nos acogió en sus aulas y que a través de sus distinguidos docentes nos impartieron sus conocimientos y experiencias la cual nos sirven para enfrentar el mercado competitivo profesional que en el cual estamos inmersos todos los profesionales que decidimos estudiar esta distinguida Carrera.



Dedicatoria

Esta tesis va dedicada a:

A mi madre Trinidad Susana quien con su infinito apoyo me guío por este camino que elegí. A mis hermanos Jans, Elvis y Giraldo por sus buenos consejos ayudaron a fortalecer mis metas trazadas.

Brayan León Deza

A mis queridos padres Richard y Carmen quienes me inculcaron una educación en valores, deseo expresar una gratitud profunda a mis hermanos Laura y David.

Carlos Alberto Serrano Ramos



“Aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 para la optimización de la voladura primaria en la fase 2 del tajo Toromocho - Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020”

Línea de investigación, Minería y Procesamiento de Minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema.....	4
1.2 Enunciado del Problema.....	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.2.3 Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO II	6
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	6
2.1 Objetivos de la investigación.....	6
2.1.1. Objetivo general	6
2.1.2. Objetivos específicos	6
2.2 Hipótesis de la investigación	6
2.2.1 Hipótesis general	6
2.2.2 Hipótesis específicas.....	6
2.3 Operacionalización de variables.....	7
CAPÍTULO III	8
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
3.1 Antecedentes.....	8
3.1.1 Antecedentes internacionales	8
3.1.2 Antecedentes nacionales.....	10
3.1.3 Antecedente local	11
3.2 Generalidades de la investigación	12
3.2.1 Ubicación geográfica de la unidad minera Toromocho.....	12
3.2.2 Accesibilidad	12
3.2.3 Geología Local	13
3.2.4 Geología Regional	13
3.2.5 Perforación.....	14
3.2.6 Explosivos y teoría de detonación.....	15
3.2.6.1 Tipos de reacción de acuerdo a la cinética química	16
3.2.7 Mecanismo de detonación	17
3.2.8 Teorías de fragmentación	20



3.2.8.	La reflexión.....	20
3.2.8.2	Expansión de los gases	21
3.2.8.3	Rotura por flexión	21
3.2.9	Explosivo Quantex	22
3.2.10	Voladura	23
3.2.10.1	Parámetros no controlables	23
3.2.10.2	Parámetros controlables	25
3.2.10.3	Diseño de voladura	27
3.3	Marco conceptual	28
CAPÍTULO IV.....		33
METODOLOGÍA.....		33
4.1	Definición de variables	33
4.2	Tipo y nivel de investigación.....	33
4.3	Población y muestra	33
4.3.1	Población	33
4.3.2	Muestra	33
4.4	Procedimiento de la investigación.....	33
4.4.1	Fragmentación de roca.....	33
4.4.2	Densidad de carga lineal.....	34
4.4.3	Gases nitrosos de voladura	34
4.5	Material de investigación.....	34
4.6	Instrumento de investigación.....	35
4.7	Plan de tratamiento de datos	35
CAPÍTULO V		36
RESULTADOS Y DISCUSIONES		36
5.1	Diseño del block a explotar	36
5.2	Diseño de Perforación y voladura aplicando ME Quantex 73	37
5.2.1	Parámetros de perforación	37
5.2.2	Parámetros de voladura anteriores.....	41
5.2.3	Diseño de Taco	41
5.2.4	Aplicación de Quantex 73	42
5.3	Optimización de fragmentación aplicando mezcla explosiva Quantex 73.....	42
5.3.1	Impedancia de explosivo Quantex 73.....	42
5.3.2	Análisis de granulometría.....	43
5.4	Optimización de la densidad de carga lineal	48
5.4.1	Parámetros de Perforación.....	48
5.4.2	Parámetros de Voladura.....	50



5.4.3	Densidad de carga lineal Slurrex Q.....	51
5.4.4	Componentes del Quantex 73.....	51
5.4.5	Proceso de Gasificación del Quantex 73.....	54
5.4.6	Tiempo de gasificación Quantex 73.....	55
5.4.7	Densidad de carga lineal Quantex 73.....	56
5.4.8	Medición de densidades en laboratorio y Campo.....	57
5.4.9	Diseño de carga lineal.....	58
5.5	Optimización de gases nitrosos aplicando mezcla explosiva Quantex 73.....	59
5.5.1	Química de los humos rojos en explosivos a base de nitrato de amonio.....	59
5.5.2	Escala de gases nitrosos.....	60
5.6	Discusión.....	65
5.6.1	Análisis de parámetros de perforación y voladura.....	65
5.6.2	Análisis de fragmentación de mineral.....	66
5.6.3	Análisis de la velocidad de detonación VOD.....	67
5.6.4	Análisis de densidad de carga lineal.....	68
5.6.5	Análisis de emisión de gases nitrosos.....	68
CAPITULO VI.....		70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		70
6.1	Conclusiones.....	70
6.2	Recomendaciones.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		72
ANEXOS.....		76



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de Variables	7
Tabla 2 — Ratio de perforación ROP según dureza de roca.....	38
Tabla 3 — Longitud de taco según diámetro de taladro y tipo de roca.....	42
Tabla 4 —Tamaño de los fragmentos de la voladura con Quantex.....	45
Tabla 5 — Distribución de fragmentos mineral	45
Tabla 6 — Diámetro de fragmentos en porcentaje.....	46
Tabla 7 — Características técnicas de diseño de perforación	49
Tabla 8 — Características técnicas de nitrato de amonio Quantex	52
Tabla 9 — Características técnicas de Slurrex Q	53
Tabla 10 — Características técnicas del Nitrito de sodio.....	53
Tabla 11— Variación de densidad del Quantex 73	54
Tabla 12 — Relación de la densidad final respecto al velocidad de detonación.....	58
Tabla 13 — Parámetros de diseño de taladro	58
Tabla 14 — Escala de gases nitrosos para valoración visual	61
Tabla 15 — Valoración de gases nitrosos explosivo Slurrex Q vs Quantex 73.....	64
Tabla 16— Cuadro comparativo parámetros de Slurrex Q y Quantex 73.....	65
Tabla 17 — de Fragmentación del Slurrex Q.....	66
Tabla 18 — Resultados de fragmentación del Quantex 73	66
Tabla 19 — Resumen nivel de gases nitrosos Slurrex Q vs Quantex 73	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Ubicación de la Unidad Minera Toromocho.....	12
Figura 2 — Tipos de reacción de acuerdo a la cinética Química.....	17
Figura 3 — Lugar de proceso de explosión.....	17
Figura 4 — Presión de detonación (Pd) y presión de burbuja (Pe).....	19
Figura 5 — Reflexión de ondas de tensión y compresión.....	20
Figura 6 — Modelo de flexión antes de la detonación.....	21
Figura 7— Modelo de flexión después de la detonación.....	22
Figura 8 — Equipos de perforación.....	24
Figura 9 — Proceso de Voladura.....	24
Figura 10 — Variables controlables de la voladura.....	27
Figura 11— Definición de fragmentos porcentaje pasante.....	29
Figura 13 — Controles para la disminución de la dilución.....	37
Figura 14 — Perforadora CAT MD6640.....	38
Figura 15 — Identificación de vacíos por ROP.....	39
Figura 16 — Diseño de secuencia de salida.....	40
Figura 17 — Parámetros de voladura anteriores.....	41
Figura 18 — Efecto de la densidad y VOD sobre la fragmentación.....	43
Figura 19 — fotografías a analizar en el frente de minado.....	44
Figura 20 — Posición de las boyas en el frente de minado.....	44
Figura 21 — Curva de fragmentación software Split.....	46
Figura 22 —Curva de fragmentación promedio.....	46
Figura 23 — Prevoladura.....	47
Figura 24 — Postvoladura.....	47
Figura 25 — parámetros controlables en la perforación.....	49
Figura 26 —Parámetros controlables de voladura.....	50
Figura 27 — Componentes del Quantex.....	52
Figura 28 — Porcentaje de nitrito de sodio para obtener la densidad requerida.....	54
Figura 29 — Vista en perfil del proceso de gasificación Quantex 73.....	55
Figura 30 — Densidad Quantex 73 vs Tiempo en minutos.....	55
Figura 31— Diseño de carga lineal para Quantex 73.....	59
Figura 32 — Emisión de gases nitrosos Proyecto 4350-04003- Quantex 73 / valoración de acuerdo a AEISG Nivel 1 clase 1 A.....	62
Figura 33 — Emisión de gases nitrosos proyecto 4350-04006 Quantex 73 / valoración de acuerdo a AEISG Nivel 2 clase 2 A.....	62
Figura 34 — Emisión de gases nitrosos Proyecto 4330-04004 Quantex 73 / valoración de acuerdo a AEISG Nivel 0.....	63

Figura 35 — Emisión de gases nitrosos proyecto 4330-04005 Quantex 73/ valoración de acuerdo a AEISG Nivel 0.	63
Figura 36 — Velocidad de detonación Slurrex Q	67
Figura 37 — Velocidad de detonación Quantex 73	67
Figura 38 — Densidad de carga lineal del Slurrex Q vs Quantex 73.....	68
Figura 39 — Emisión de gases nitrosos Slurrex Q vs Quantex 73	69
Figura 40 — Polvorín de emulsión matriz y nitratos.	78
Figura 41 — Malla de perforación lista para realizar carguío.....	78
Figura 42— Malla de perforación lista para realizar carguío.....	79
Figura 43 — Camión fábrica transportador de la mezcla explosiva Quantex 73.....	79
Figura 44 — Taladros con sus respectivos accesorios de voladura.	80
Figura 45 — Tapado de taladros utilizando mini cargador.	80
Figura 46 — Mezcla explosiva iniciando el proceso de gasificación	81
Figura 47 — Quantex 73 con mayor volumen reduciendo así su densidad.	81
Figura 48 — Taladro 12 ¼” Listo para carguío.	82
Figura 49 — Taladros cargados con mezcla explosiva Quantex 73.....	82
Figura 50 — Vista panorámica de equipos de perforación y carguío	83
Figura 51 — Vista panorámica polvorín de emulsión matriz y nitratos.	83
Figura 52 — Detonación de proyecto de voladura con iniciación electrónica.....	84



INTRODUCCIÓN

La voladura de rocas es una operación unitaria de mucha importancia dentro de la actividad minera, busca fragmentar el macizo rocoso a una granulometría requerida de acuerdo al plan de procesamiento de minerales, con ello generar el menor daño posible al talud, incrementando el rendimiento equipos de carguío y garantizando un frente de trabajo seguro para los trabajadores. La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 busca mejorar la fragmentación del mineral, mediante la aplicación del Software Split, se realizará un análisis granulométrico del porcentaje pasante de finos (P80) del Slurrex Q y Quantex 73. La densidad de carga lineal será evaluada de acuerdo a la fórmula de López Jimeno densidad de carga lineal, dentro de sus parámetros contempla la densidad del explosivo, diámetro del taladro y factor de conversión, para analizar la problemática de emisión de humos naranjanos guiaremos con evidencias fotográficas las cuales serán interpretadas de acuerdo al nivel de gases nitrosos implementado AEISG Australian Explosives Industry and Safety Group (Grupo Australiano de Seguridad e Industria de Explosivos).

En el ámbito nacional se viene incrementando las unidades mineras que emplean la mezcla explosiva Quantex 73 como una alternativa de fragmentación de rocas, la investigación de esta problemática se realizó por el interés de conocer las bondades que brinda este producto a comparación del Slurrex Q netamente en voladuras a cielo abierto. Por otra parte, fue un interés académico generar antecedentes actuales, que sirvan de referencia a futuros investigadores.

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema, se describe la realidad problemática que afronta la unidad minera en su día a día, acorde a ello se tiene el problema general y problemas específicos, se tratará sobre la justificación e importancia de la investigación. El segundo capítulo, se detalla sobre el objetivo de la investigación, objetivo general y objetivo específico, hipótesis general e hipótesis específico. El tercer capítulo trata el marco teórico, marco referencial y definición de términos. El cuarto capítulo abarca la metodología de investigación, la población y muestra, procedimiento de investigación y tratamiento de datos. En el quinto capítulo se detalla el análisis del resultado y discusiones, el sexto capítulo trata las recomendaciones y conclusiones.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “APLICACIÓN DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73 PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA PRIMARIA EN LA FASE 2 DEL TAJO TOROMOCHO - CIA MINERA CHINALCO MOROCOCHA JUNÍN 2020” busca analizar los beneficios que brinda la mezcla explosiva Quantex 73 en la Mina a tajo abierto Chinalco, mezcla explosiva compuesta por emulsión Q, nitrato de amonio grado Quantex y solución gasificante, anteriormente se trabajó con Slurrex Q el cual presentaba problemas de granulometría inadecuada y emisión de humos color naranja. La metodología de la investigación es descriptivo, experimental y comparativo.

Para lograr los objetivos del proyecto de investigación, se tomará resultados de voladuras anteriores a la fase 2 del tajo Toromocho, donde se usó el explosivo Slurrex Q, obteniéndose como resultado un P80 equivale a 4.08 pulgadas, con un porcentaje pasante de finos menores a 1 pulgada de diámetro equivalente 36.80%. La densidad de carga lineal del Slurrex Q registrado equivale a 103.47 kg/m para taladros de 12 ¼”, según registro Post Voladura se evidencia humos color naranja.

El uso de la mezcla explosiva Quantex 73 permite mejorar la fragmentación de mineral obteniéndose un P80 igual a 2.36 pulgadas de diámetro, con un porcentaje pasante de finos menores a 1 pulgada de diámetro igual a 52.49 %. Debido a la adición del agente gasificante Nitrito de sodio, se logra reducir la densidad de carga lineal a 83.68 kg/m optimizando el 19.12 % en comparación al Slurrex Q. La mezcla explosiva Quantex 73 debido a su balance de Oxígeno estable no genera humos de coloración Naranja en los reportes post voladura.

Palabra clave:

Slurrex Q, fragmentación, Explosivo, Quantex, voladura.

ABSTRACT

The present research work entitled "APPLICATION OF THE QUANTEX 73 EXPLOSIVE MIXTURE FOR THE OPTIMIZATION OF PRIMARY BLASTING IN PHASE 2 OF TAJO TOROMOCHO - CIA MINERA CHINALCO MOROCOCHA JUNÍN 2020" seeks to analyze the benefits provided by the explosive mixture Quantex 73 in the Chinalco open pit mine, explosive mixture composed of Q emulsion, Quantex grade ammonium nitrate and raising solution, Previously Slurrex Q was used which presented problems of inadequate granulometry and emission of orange fumes. The research methodology is descriptive, experimental and comparative.

To achieve the objectives of the research project, results of blasting prior to phase 2 of the Toromocho pit will be taken, where the explosive Slurrex Q was used, resulting in a P80 equivalent to 4.08 inches, with a passing percentage of fines less than 1 inch of equivalent diameter 36.80%. The linear load density of the registered Slurrex Q equals 103.47 kg / m for 12 ¼" holes, according to the Post Blasting record orange fumes are evident.

The use of the explosive mixture Quantex 73 allows to improve mineral fragmentation obtaining a P80 equal to 2.36 inches in diameter, with a passing percentage of fines less than 1 inch in diameter equal to 52.49 %, due to the addition of the raising agent Sodium nitrite, it is possible to reduce the linear load density to 83.68 kg / m optimizing 19.12 % compared to Slurrex Q, Due to its stable oxygen balance, the explosive mixture Quantex 73 does not generate orange colored fumes in Post Blast reports.

Keywords:

Slurrex Q, fragmentation, Explosive, Quantex, blasting.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Dentro de la cadena de valor de la actividad minera, la voladura de rocas juega un rol muy importante, pues de esta depende la fragmentación de mineral, en consecuencia, demás procesos siguientes como chancaco y molienda. Actualmente el requerimiento del porcentaje pasante P80 de la planta concentradora de la unidad minera Toromocho son fragmentos menores a 4 pulgadas con un porcentaje pasante de finos menores a una pulgada equivalente al 50%. Para el caso del Slurrex Q se tiene que el porcentaje pasante P80 equivale 4.08 pulgadas estando este por encima del valor requerido, el porcentaje pasante de finos menores a una pulgada igual 36.80% el cual no cumple con las exigencias del plan de procesamiento de mineral.

En su afán por optimizar la fragmentación de mineral y reducir el tamaño de los bolones, la unidad minera Toromocho se encuentra con otro problema muy visible, la generación de humos color naranja en las voladuras, pudiendo ser causado por el mal balance de oxígeno, deflagración de taladros al no alcanzar una velocidad de onda de detonación adecuada.

1.2 Enunciado del Problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo la aplicación de la Mezcla Explosiva Quantex 73 optimizará la Voladura Primaria en la fase 2 del tajo Toromocho - Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la fragmentación en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho-Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?
- ¿En qué medida la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la densidad de carga lineal en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?

- ¿Cómo la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la emisión de gases nitrosos en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?

1.2.3 Justificación de la investigación

La presente investigación se enfocará en estudiar las cualidades de la mezcla explosiva Quantex 73, desde un punto de vista técnico, con ayuda de tablas estadísticas, base de datos de voladuras anteriores, compararemos e interpretaremos los resultados de fragmentación de mineral, densidad de carga lineal y calidad de emisión de gases nitrosos producto de voladura. La investigación es justificable porque el Perú es una región con un gran potencial minero, el área de voladura de rocas está en constante innovación a nivel de tecnologías, ya sea sistemas de iniciación, detonadores electrónicos, autonomía del camión fabrica, productos explosivos, el desarrollo de la tecnología Quantex 73 busca generar indicadores actuales que sirvan de fuente bibliográfica a futuros investigadores en especial a profesionales de la rama de Ingeniería de Minas.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la aplicación de la Mezcla Explosiva Quantex 73 optimizará la Voladura Primaria en la fase 2 del tajo Toromocho - Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.

2.1.2. Objetivos específicos

- Definir como la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la fragmentación en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.
- Analizar en qué medida la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la densidad de carga lineal en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.
- Determinar como la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la emisión de gases nitrosos en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La aplicación de la Mezcla Explosiva Quantex 73 optimiza la Voladura Primaria de la fase 2 del tajo Toromocho en la unidad minera Chinalco Morococha Junín 2020.

2.2.2 Hipótesis específicas

- La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimiza la fragmentación en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.

- La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimiza la densidad de carga lineal en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.
- La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimiza la emisión de gases nitrosos en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de Variables

Variable	Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	X: Mezcla explosiva Quantex 73.	Mezcla explosiva Quantex 73	Densidad inicial Densidad final Tiempo de gasificación VOD Presión de detonación
Variable dependiente	Y: Voladura primaria	fragmentación de mineral Densidad de carga lineal Emisión De Gases	P80(diámetro de fragmentación) Kg/m Emisión de Gases nitrosos



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

- a) Según AGUIRRE (2016), en su tesis “optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el abra.” manifiesta como objetivo general “Realizar un análisis técnico económico sobre la factibilidad de aplicar el uso de explosivo de alta energía en minera El Abra, para solucionar problemas de fragmentación en zona de roca altamente competente”. En esta tesis uso el método descriptivo de la tesis, Además, el autor concluye que: Se tiene que el explosivo Vistis 225 es de más energía en comparación al resto de explosivos e inclusive que el Fortis Extra 65, por lo tanto, radica en una mayor fragmentación de la roca por medio del fracturamiento debido a mayor energía liberada, ayudando a resolver los constantes problemas de material de gran tamaño resultantes en la fase 13 y 14 debido a la existencia de roca altamente competente.

- b) De acuerdo con (Chugá, 2017) en su tesis “Análisis Comparativo entre el Método De Voladura Convencional y Gasificada Utilizada En La Mina Cuajone – Southern Perú” tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre el método de Voladura Convencional y Gasificada, esto con la finalidad de poder seleccionar cuál es el mejor método con la mejor fragmentación a la vez que se utilicen menos recursos. Para poder lograr este objetivo se utilizan datos recopilados en campo por el autor de la investigación, tomando en cuenta sus diferentes mezclas de Anfo pesado HA55, HA46, HA37, HA28, del mismo modo para voladura gasificada MEQ73. El autor de la tesis concluye que la opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva convencional con Anfo pesado HA28, equivalente a un costo unitario de 0.34 US\$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 1.12 Kg/m³ o 0.41 Kg/Ton.

- c) De acuerdo con Armijos, y Quinte (2016) en su tesis titulada “Optimización del método de arranque por voladura en la mina San Guillermo, recinto Petrillo, provincia del Guayas” tiene como objetivo específico realizar un esquema de carga y cebado los barrenos con la cantidad de explosivo calculado, para obtener una voladura efectiva, después de las pruebas en campo concluye que el sistema de engrosado y carga de barrenos que planteó, generó como resultado la necesidad del empleo de una cantidad que exceda de explosivos (35,1% más de emulsión y por consiguiente 33.8% más de Anfo), de esta manera, esta medida coadyuvará a la fragmentación de roca y, del mismo modo, también ayudará a minimizar la utilización de maquinaria en las operaciones de carguío en los trabajos de fragmentación adicional de la roca.
- d) Concorde con Aguirre (2016) en su tesis que titula “Optimización de parámetros de voladura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual Minera el Abra” esta tesis tiene como objetivo principal, realizar un análisis técnico económico sobre la factibilidad de aplicar el uso de explosivo de alta energía en minera El Abra, para solucionar problemas de fragmentación en zona de roca altamente competente, usando una metodología de tratamiento de datos descriptiva y tiene como conclusión que el P80 en las “Demoblast” reflejó un beneficio de hasta un 100% aproximadamente; esto refuerza en gran medida resultados del estudio de rentabilidad que se realizó y que trae consigo el uso de este explosivo de alta energía.
- e) De acuerdo con Manriquez, y otros (2019), en su tesis que titula “Implementación de explosivo vistan 200 en voladuras de producción para mejora de fragmentación de roca” concluye que en las mediciones de VOD obtenidas en terreno, podemos observar que el explosivo Vistan 200 si es un 2.54% mayor que el explosivo Fortan Eclipse 50, obteniendo un Pd mayor al actual explosivo, lo que impacta directamente en el trabajo de fragmentación de la roca. En cuanto a la fragmentación medida, se puede observar una mejor tendencia con el uso de Vistan 200.

3.1.2 Antecedentes nacionales

- a) Se acuerdo con (Yana, 2017), en su trabajo de investigación, “Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de los costos de voladura en tajo de la mina Toquepala” realiza una comparación entre los costos de Heavy Anfo y Quantex, y como problema general manifiesta lo siguiente ¿Cómo Influirá la aplicación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para reducir los costos de voladura en el tajo de la mina Toquepala?, teniendo como conclusión, 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.
- b) Según (Guzmán, 2018), en su tesis “Influencia de la implementación de la tecnología Quantex en los costos de voladura en Cerro Corona, Hualgayoc, durante el año 2017” tuvo como objetivo determinar el grado de influencia de la implementación de la tecnología Quantex para lograr reducir los costos en los trabajos de voladura en el proyecto minero Cerro Corona, Hualgayoc, en el año 2017. Guzmán logró determinar que las voladuras en las que se empleó la tecnología Quantex obtienen resultados muy satisfactorios en cuanto a la fragmentación, la rapidez en el momento de la detonación y la no presencia de gases nitrosos; todo esto a un costo reducido. Como problema general en la investigación se presenta ¿Cómo Influirá la aplicación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para reducir los costos de voladura en el tajo de la mina Toquepala? Y llegando a la conclusión que 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.
- c) Según (Berto, 2019) en su trabajo de tesis “Análisis del uso de la emulsion gasificable San-G Apu para optimizar la fragmentación de voladuras primarias

Compañía Minera Antamina S.A – Huaraz” manifiesta como problema general ¿De qué manera influye el uso de un explosivo a base de emulsión gasificable SAN-G APU en la optimización de la fragmentación de voladuras primarias en Compañía Minera Antamina S.A.? a su vez esta tesis tiene un desarrollo experimental-aplicada, pues se experimentó el remplazo de la mezcla explosiva usada actualmente en las operaciones, por una emulsión gasificable pura, para lo cual se hicieron 3 voladuras de prueba usando este nuevo explosivo, llegando a la conclusión de: Refiriéndonos a la mezcla explosiva propuesta SANG APU quedo demostrado que obtuvo mejores resultados que el ANFO pesado 73 gasificable, Optimizando la Fragmentación, aspectos operativos y económico.

- d) De acuerdo con (Condori, 2015) en su trabajo de investigación "Estandarización del explosivo me- Quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone" tiene como objetivo general, estandarizar la utilización el explosivo ME - Quantex para disminuir los costos operativos, y reducir la emisión de gases nitrosos producto de la voladura mediante el análisis de parámetros técnicos en mina Cuajone, para lo cual tuvo un alcance de investigación exploratoria diseño de investigación experimental, llegando de esta manera a la conclusión de: Se ha estandarizado la utilización el explosivo ME.- Quantex AP730 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.

3.1.3 Antecedente local

- a) Conforme con (Romero, 2016) en su tesis “Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho-minera Chinalco Perú S.A.” tiene como objetivo general “Determinar cómo la voladura con detonadores electrónicos optimiza la fragmentación y seguridad en el Tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.” el autor concluye que el uso de los detonadores electrónicos permite

optimizar el P80; en el Lado Oeste mejoró en 5.4%, mientras que en el lado Este el P80 mejoró en 16.7% comparado a de la voladura con detonadores pirotécnicos.

3.2 Generalidades de la investigación

3.2.1 Ubicación geográfica de la unidad minera Toromocho

La unidad minera Toromocho está ubicada en el departamento de Junín, provincia de Yauli, distritos de Morococha y Yauli, se caracteriza por una topografía accidentada y una altitud de 4500 m.s.n.m.



Figura 1 — Ubicación de la Unidad Minera Toromocho

Fuente — Minera Chinalco Perú

3.2.2 Accesibilidad

El acceso hacia la mina, se realiza por la vía nacional asfaltada por la vía Carretera Central, partiendo desde la ciudad de Lima con un recorrido de 143 km, adicionalmente también se puede llegar a través del Ferrocarril Central (173 km),

el cual se utiliza principalmente para transportar insumos y concentrado que sale de la planta rumbo al puerto del callao.

3.2.3 Geología Local

Según, Golder Associates, (2007a), El yacimiento Toromocho es un yacimiento pórfido skarn con una extensión de 5 km por 6 km, geológicamente está constituida por rocas volcánicas de la formación del grupo Mitu y calizas del Pucara e intrusivos terciario. La mineralización, mayormente está dada por vetas que atraviesan de Este a Oeste en todo Morococha que están rellenas con minerales de Pb, Zn y Ag mantos de Zinc emplazados en las calizas y en forma diseminada, también emplazados en las calizas y en los contactos volcánicos-caliza-intrusivo y también cuerpos piritosos diseminados con mineralización de cobre. En cuanto a su mineralización es muy compleja encontrando mantos, vetas, stockwork, diseminado cuerpos encontrando minerales que afectan mucho el tratamiento metalúrgico como es el arsénico. El depósito Toromocho contiene una reserva de 1 526 millones de toneladas de mineral con una ley promedio de cobre de 0,48%, una ley promedio de molibdeno de 0,019% y una ley promedio de plata de 6,88 gramos por tonelada, basado en una ley corte de aproximadamente 0,37% de cobre. El yacimiento Toromocho está formado dentro de un centro de rocas del tipo skarn también podemos encontrar brechas asociadas de 7 millones de años de mineralización, alteración e intrusiones porfiríticas y de granodiorita.

3.2.4 Geología Regional

En cuanto a la geología regional presentan rocas sedimentarias ampliamente distribuidas de naturaleza sedimentaria calcárea, arenisca y lutitas correspondiente al grupo Pucará, rocas clásticas y volcánicas pertenecientes al grupo Mitu del Pérmico, formaciones Goyllarisquizga, Chúlec, Pariatambo, Jumasha y Casapalca del Triásico al Cretácico, las cuales se encuentran cortadas por rocas intrusivas del Terciario que son parte del porfido de cobre, donde se ha producido en varias zonas metamorfismo de contacto como es marmolización, silicificación y reemplazamiento metasomático. Cubriendo al basamento rocoso se presentan depósitos morrénicos, coluviales y vegas del Cuaternario.

3.2.4.1 Grupo Mitu (Ps-mi)

El grupo Mitu de edad geológica del Pérmico está presente en los alrededores de Morococha y en domo Yauli siendo las rocas de este grupo las más antiguas dentro de la zona del Proyecto. El grupo se encuentra representado por un miembro de rocas clásticas rojizas de facies continental, tales como areniscas, conglomerados y brecha volcánica y por un miembro superior de rocas volcánicas denominado “Volcánico Catalina”. Los volcánicos Catalina se encuentran generalmente sobre la serie clástica rojiza del miembro inferior, pero localmente reposan sobre las filitas Excelsior. Las rocas volcánicas Catalina consisten en derrames lávicos de dacita y andesita de color gris a verde, los que por meteorización toman un color marrón; hacia arriba existen brechas y aglomerados volcánicos.

3.2.4.1 Grupo Pucará (J-pu)

El grupo Pucará está conformada de una secuencia uniforme de calizas gris claras, blanquecinas en capas delgadas y medianas, las cuales alternan ocasionalmente con unidades de margas interestratificadas con areniscas calcáreas, lutitas gris violáceas y rojizas y niveles de calizas dolomíticas. La disolución es leve en los estratos intermedios, y moderada a alta en la base y en el techo de la secuencia estratigráfica relacionado con bancos de calizas. En el área de contactos con rocas intrusivas las calizas se han convertido en mármol blanquecino por metamorfismo de contacto y metasomatismo producto de la intrusión del pórfido cuprífero.

3.2.5 Perforación

De acuerdo con (Sonami, 2016) en su guía de operación para la pequeña minería define a la perforación como una operación la cual se efectúa con el objetivo de abrir hoyos en el macizo rocoso, que ostente una distribución adecuada de las mismas, en la que se pondrán cargas explosivas. En la actividad de pequeña minería, el sistema convencional de perforación que se estuvo practicando es el de la rotopercusión; éste sistema utiliza energía neumática y sus principales componentes vienen a ser la perforadora manual, que representa el principal

Abastecimiento de energía, los barrenos, que mediante ellos se transmite esta energía a desde la acción del pistón; el bit, que recibe la energía además constituye la fuente cortante del macizo rocoso; y el medio de barrido que realiza la evacuación y limpieza del "detritus" que se produce. Cabe mencionar que, en ciertas operaciones de la pequeña minería, se ha ido incorporando la utilización de jumbos pequeños de perforación (neumáticos o hidráulicos), lo que lleva a requerir personal que ostenten conocimientos especializados para poder maniobrar estos equipos, además de contar con las que requerirá su operación.

3.2.6 Explosivos y teoría de detonación

De acuerdo a Bernaola, y otros (2013), define explosivos como sustancias que presentan un grado de inestabilidad en su composición atómica, más específicamente, en aquellos enlaces atómicos que conforman moléculas que, al ser sometidas a ciertos eventos o ciertos impulsos externos, desencadena una rápida reorganización de los átomos que son más estables y no generan un peligro. A esta reacción, de tipo oxidación-reducción, se le puede inducir de forma térmica a través de los llamados "puntos calientes", se le conoce también con el nombre de detonación y puede originar gases a una determinada presión y temperatura bastante elevadas; éstos a su vez generan una onda de compresión que viaja por el medio que lo rodea. De esta manera, la energía química que se da en contenidos en explosivo se convierte en la energía mecánica de esa onda de compresión. Es menester señalar también que, en contra de lo que se pueda imaginar, cuantitativamente no representa demasiada importancia (por ejemplo, en relación de energía: un kilogramo de explosivo llega a contener en aproximado una décima fracción de la energía que contiene en un litro de gasolina). Lo que permite proporcionarle ese poder expansivo que yace en su capacidad para liberar ese poder en un espacio de tiempo muy corto. La onda de compresión que se llega a generar debido al incremento del esponjamiento que sufren los elementos de reacción en su forma gaseosa, de tal modo que se dispone de una cantidad de energía mecánica suficiente y que se puede emplear en la fragmentación de rocas, siendo así un elemento medular en los procesos mineros y en todas las excavaciones realizadas en el lugar

3.2.6.1 Tipos de reacción de acuerdo a la cinética química

Según (Bernaola, y otros, 2013), señala que los explosivos industriales se encuentran compuestos por una combinación de sustancias, algunas combustibles mientras que las otras funcionan como comburentes, y que, adecuadamente iniciadas, dan origen a una situación química de oxidación que es el principal de su característica fundamental es su velocidad y rapidez. LA propulsión energética que se aplica a cada una de las moléculas en un material explosivo produce fuerzas que, al momento de superar las fuerzas de atracción existente cada uno de los átomos, hace que las moléculas se disocien entre sí para a continuación volver a reagruparse en formas atómicas que presentan mayor estabilidad. La liberación de energía que se produce luego de esta reacción exotérmica, con la forma de una ondulación de presión y a una bastante elevada temperatura, provoca una sucesiva separación o disociación de todas las moléculas contiguas, de tal manera que la reacción que se genera se irradia a todas las partículas al rededor. Por otro lado, la rapidez con que esta reacción se propaga puede llegar al momento de estabilización hasta el punto de llegar un valor. De esta manera, la reacción de oxidación que se produce es posible de ser dividida en tres tipos de reacciones, de acuerdo a la rapidez a la que se produce.

- La Combustión.
- La Deflagración.
- La Detonación

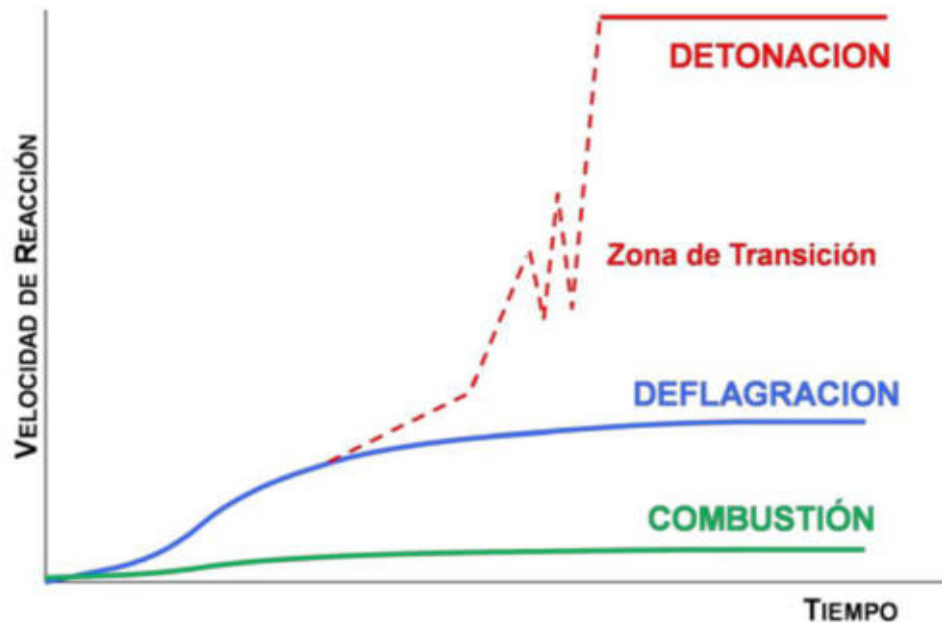


Figura 2 — Tipos de reacción de acuerdo a la cinética Química

Fuente — Bernaola y otros (2013) Perforación y voladura de rocas en minería

3.2.7 Mecanismo de detonación

Según (Bernaola, y otros, 2013), Para que se pueda comprender el funcionamiento del fenómeno al que llamamos "detonación", es conveniente el saber de qué manera son las diversas zonas de reacción que se llegan a producir durante el proceso de la misma. Si consideramos una carga de forma cilíndrica que se lleva a detonación por uno de sus extremos, podemos distinguir las siguientes zonas.

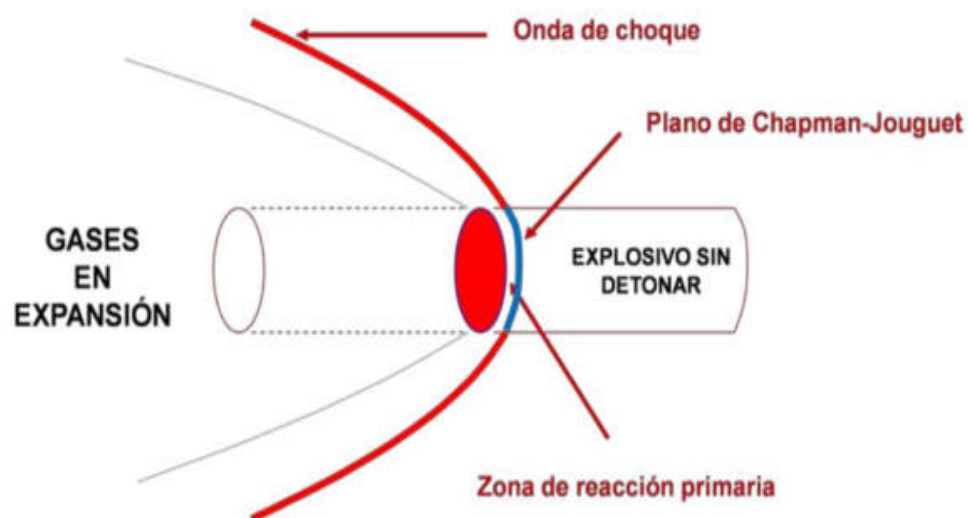


Figura 3 — Lugar de proceso de explosión

Fuente — Bernaola, y otros (2013) Perforación y voladura de rocas

- Una zona de explosivo que aún no ha llegado a la detonación.
- Un lugar de reacción primaria, que vendría a ser la zona en cual se llega a propagar a una increíble rapidez que llega a muchos metros en un segundo (a dicha velocidad se la conoce como velocidad de detonación); en ésta se generan velocidades, que generan un tipo de acción energética de las partículas contiguas.
- Una zona de reacción secundaria, Es en dicha zona en la que se llegan a acumular casi todos los productos de explosión; no obstante, si es bien sabido que estas son más lentas en su desplazamiento a comparación que la principal onda de choque, y que además se generan un conjunto de reacciones que la complementan y que se cree que son las que dan lugar a la gran parte de los gases que se producen en la reacción.
- El lugar de separación que existe en las zonas que son primaria y secundaria, aunque no es llana con exactitud, se le denomina como “Plano de Chapman-Jouget”.

El explosivo tiene una composición y sus propias características, éstas entre otras variables, pueden determinar la velocidad de detonación, y así también las altas presiones de burbuja y la propia explosión. Así se muestra en la figura 03, un explosivo que tiene como base Nitroglicerina, por ejemplo, obtendrá una elevada rapidez de detonación, además de que también obtendrá una elevada presión de detonación; por otro lado, la relativamente menor cantidad de gases que llega a realizar la explosión de la nitroglicerina establece que la intensidad de explosión o de burbuja, sea también baja. Contrario a esto, un explosivo que tenga como base el nitrato amónico, que se sabe tiene una detonación más lenta, pero, por el contrario, produce una cantidad mayor de gases, tendría una presión de explosión baja, pero, en cambio existe la presión de burbuja mucho más elevada



Figura 4 — Presión de detonación (Pd) y presión de burbuja (Pe)

Fuente — Bernaola y otros 2013

La presión de onda de detonación está dada por la siguiente fórmula:

$$Pd = d \cdot v \cdot u$$

Siendo:

- Pd : Presión de la onda (presión de detonación)
- D : densidad del medio (explosivo)
- V : velocidad de propagación (velocidad de detonación)
- U : velocidad de partícula

El establecimiento, a través de imágenes de Rayos X del vínculo entre “v” y “u”, elaborada por Cook, y variados investigadores, llegó a la conclusión de que “u” era aproximadamente igual a un 25% de “v”.

De esta manera, si tenemos en cuenta las unidades que se emplean de forma habitual, la fórmula anterior podría expresarse de la siguiente manera:

$$Pd = 258 \cdot 105 \cdot v^2 \cdot$$

Donde “Pd” estaría expresado en bares, “d” en g/cm³ y “v” en m/s.

Del mismo modo, otra forma parecida supone la relación v/u función de la densidad “d”, obteniendo un resultado, de las mismas unidades mencionadas anteriormente:

$$P_d = \frac{464 \cdot 10^5 \cdot v^2 \cdot d}{1 + 0.8 \cdot d}$$

Entonces, la presión de detonación, que se origina a raíz de la fuente de energía cinética de partículas, puede resultar equivalente a la densidad y elevado al cuadrado de la velocidad de detonación:

$$P_d \propto (v^2, d)$$

Por otro lado, la acción de explosión o burbuja solo depende directamente de la densidad, también de los componentes químicos del explosivo utilizado, y al menos la reacción sea mayor o menor integra.

3.2.8 Teorías de fragmentación

3.2.8.1 La reflexión

Según (Romero, 2016), en su publicación sostiene que las ondas de compresión que se llegan a producir a raíz de la detonación de un explosivo se propagan por medio de la roca y al lograr llegar a un lado libre, éstas se dan en modo de ondas de tracción. Las primeras ondas de compresión llegan a agrietar en lo mínimo la roca, en cambio que son las ondas de retracción que tienen mayor preponderancia en la fragmentación y desplazamiento del material.

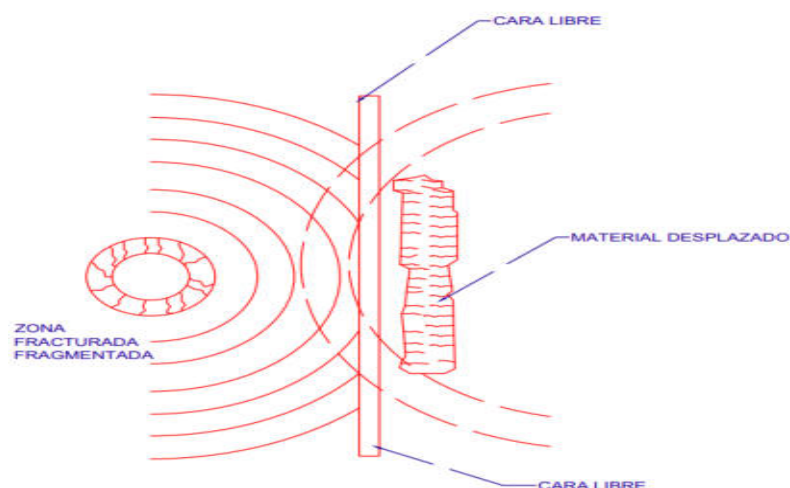


Figura 5 — Reflexión de ondas de tensión y compresión

Fuente — Ames Lara, V. (2012) Perforación y Voladura de Rocas I

3.2.8.2 Expansión de los gases

Esta teoría destaca dos partes primordialmente producidos a raíz de la presión ejercida por los gases en expansión. En primer lugar, las grietas comienzan a una longitud equivalente a 2 taladros radiales fuera del taladro, dichas grietas se expanden hacia la parte céntrica del taladro y, a la vez, hacia el lado libre. En segundo lugar, el movimiento del mineral que fue fragmentado, por el gran volumen de los gases, se da cuando que las grietas llegan al fin a la cara libre.

3.2.8.3 Rotura por flexión

Esta ruptura por flexión se puede explicar mejor si se trata la roca del mismo modo que una viga de forma rectangular que se está tratando de quebrar. La presión que se da en el taladro por un pequeño instante. Al mismo tiempo que la presión de gas puede sostener más amplia y es a la vez el que da el 90% de la energía de fragmentación de la roca.

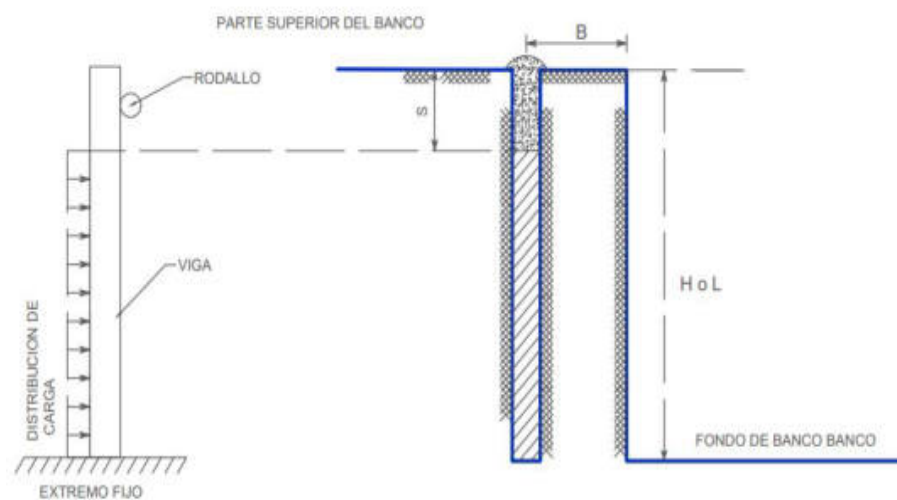


Figura 6 — Modelo de flexión antes de la detonación.

Fuente — Ames Lara, V. (2012) Perforación y Voladura de Rocas I

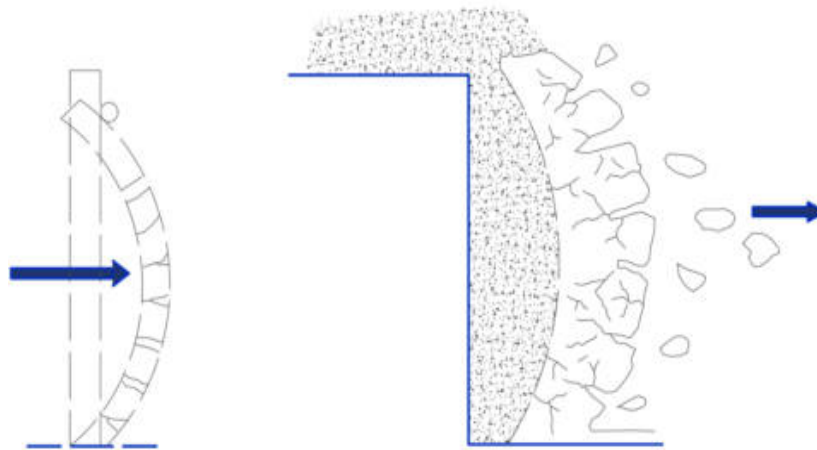


Figura 7— Modelo de flexión después de la detonación

Fuente — Ames Lara, V. (2012) Perforación y Voladura de Rocas I

3.2.9 Explosivo Quantex

El fabricante (Exsa, 2020) hace mención de que su producto QUANTEX 73 es una mezcla explosiva cuya composición es de 70% de emulsión gasificable; Slurrex Q, que a la vez se encuentra aumentada con un 30% de nitrato de amonio Quantex, a la que con posterioridad se le agrega una combinación gasificante; esto le confiere la sensibilidad requerida y la densidad deseada en concordancia con el diseño de voladura. La mezcla explosiva QUANTEX 73 fue creada técnicamente para rocas duras.

Los principales beneficios del agente explosivo QUANTEX 73 son:

- Éste presenta una elevada resistencia al agua.
- Al estar a granel presenta una más fácil operatividad en terreno (bombeado o vaciado).
- Es posible de adaptarlo a los diferentes tipos de terreno gracias a su alto rango de densidades
- Es un explosivo que no contamina el medio ambiente al momento de bajar en un 18% su huella de carbono, comparándose con otros agentes explosivos convencionales.

- Mejorar la voladura lo que maximiza el resultado en la fragmentación de roca.
- Su diseño le da la versatilidad para determinar de manera rápida si la gasificación se logró de forma adecuada
- Mejora lugares de almacenamiento, el Slurrex Q (inerte) no requiere distancias de seguridad mínima según la legislación peruana vigente.

3.2.10 Voladura

Se le conoce a la fragmentación o fracturar la roca, el terreno duro, el hormigón o a la acción de soltar algún elemento de interés económico, a través de la utilización de explosivos. Éstas mismas se realizan para lograr un determinado fin, pueden ser sometidas a control, como no también; ya sea a cielo abierto, en galerías, túneles o por debajo del agua. (Exsa, 2020).

Dentro de la voladura nos enfocaremos en los siguientes ítems, parámetros no controlables y controlables

3.2.10.1 Parámetros no controlables

Según (Eadic, 2019), en su página menciona que los parámetros que se controlan son a los que ya llegan dados por la geología del lugar, la geotecnia y la operación de la mina. Dichos parámetros son establecidos y no modificables, ya que no es posible interactuar sobre ellos, no son variable de nuestro sistema.

Es importante recordar que un trabajo de voladura es la acción en sí en el cual se genera una onda de choque a una gran rapidez, consiguiente por la expansión de los gases a altas presiones y temperaturas, por ende, una roca que de un elevado grado de fragmentación se transformara en un ámbito ideal para que dichos gases generados por la voladura puedan escapar por la red de grietas; el que lleva a provocar una disminución de intensidad y no llegar a fracturar el macizo rocoso. el agua viene a ser otro factor importante a tomar en cuenta al momento de seleccionar un agente explosivo, ya que es una parte que si no lo consideramos en cuenta y elegimos algún explosivo que no tenga resistencia al agua, generara inconvenientes para que el disparo se pueda realizase.

Tomando esto en cuenta que no es una regla en el diseño y realización de voladuras, tal como conocedores del rubro se puede realizar parámetros de diseño y en la adecuada elección del explosivo de acuerdo a los parámetros establecidos



Figura 8 — Equipos de perforación



Figura 9 — Proceso de Voladura

3.2.10.2 Parámetros controlables

Según (Eadic, 2019), en su página menciona que en el momento en que se quiere diseñar una voladura, solo se puede actuar sobre algunos parámetros que se detallan en lo siguiente:

- a) **Burden:** Se le dice a la distancia presente hasta la cara libre, es un parámetro de mucha importancia y que es referido por el tipo del macizo rocoso, el diámetro y también por el tipo del agente explosivo, tal como se puede visualizar con la excepción del tipo de roca, los demás parámetros se pueden alterar o elegir.
- b) **Índice de rigidez:** Relación que existe con la altura de banco y burden (H/B) cuando es un dato elevado, que lo normal es que sea mayor a 3, el movimiento y la fragmentación de la roca es fácil, por el contrario, en el caso de que los valores sean aproximados a 1 se pueden tener como resultados no adecuados, con repiés y tamaños considerables.
- c) **Espaciamiento:** Se considera al espacio presente entre los taladros de una misma fila, un parámetro que está involucrado con el burden. Un espacio corto implica un aumento en la trituración de la roca y también un exceso de magnitudes en el espacio del burden. Espaciamientos amplios representan un mal uso de la energía del agente explosivo.
- d) **Retacado:** Es el de mayor importancia de la voladura. Cuando un taladro ya está saturado de explosivos lo más conveniente es taparlo con los mismos detritus generador por la perforación o con algún otro agente arcilloso que tenga una buena compactación, que sea estéril y la dimensión de este depende de muchos factores, variando del 20% al 30% de la profundidad el taladro. Éste es un parámetro que nos es posible y que debe realizar bien, Un defectuoso recatado genera que todo o parte considerable del poder del explosivo fugue por el taladro,

haciendo que pierda el rendimiento y teniendo como resultado una fragmentación muy irregular.

- e) **Diámetro del taladro:** de acuerdo al diseño de malla de voladura, en la unidad minera Chinalco para taladros de precorte se usa diámetros de 5 pulgadas, en taladros de Buffer y producción se usa diámetros de 12 ¼ pulgadas.
- f) **Longitud de perforación:** La longitud de taladro depende de la altura de banco, de la inclinación, que suele ser de 15 a 20 °, y de la sobreperforación que se necesita según la resistencia del macizo rocoso.
- g) **Inclinación del taladro:** En las voladuras en banco los taladros inclinados presentan numerosas ventajas, pero también algunos inconvenientes, mejora la fragmentación, desplazamiento, esponjamiento del material, menores problemas de descabezamiento de brocas, taludes más sanos y seguros, mayor rendimiento de las palas cargadoras, menor sobreperforación y mejor distribución de la energía del explosivo. Por lo contrario, los inconvenientes son: Mayor desviación de los taladros, aumenta la longitud de perforación, dificulta el posicionamiento de las perforadoras, mayor tiempo de Emboquillamiento, mayor desgaste de accesorios y aceros de perforación.
- h) **Explosivo:** Es recomendable recordar también que la selección del agente explosivo es otro parámetro importante que está en potestad de seleccionar de acuerdo a los requerimientos deseados.

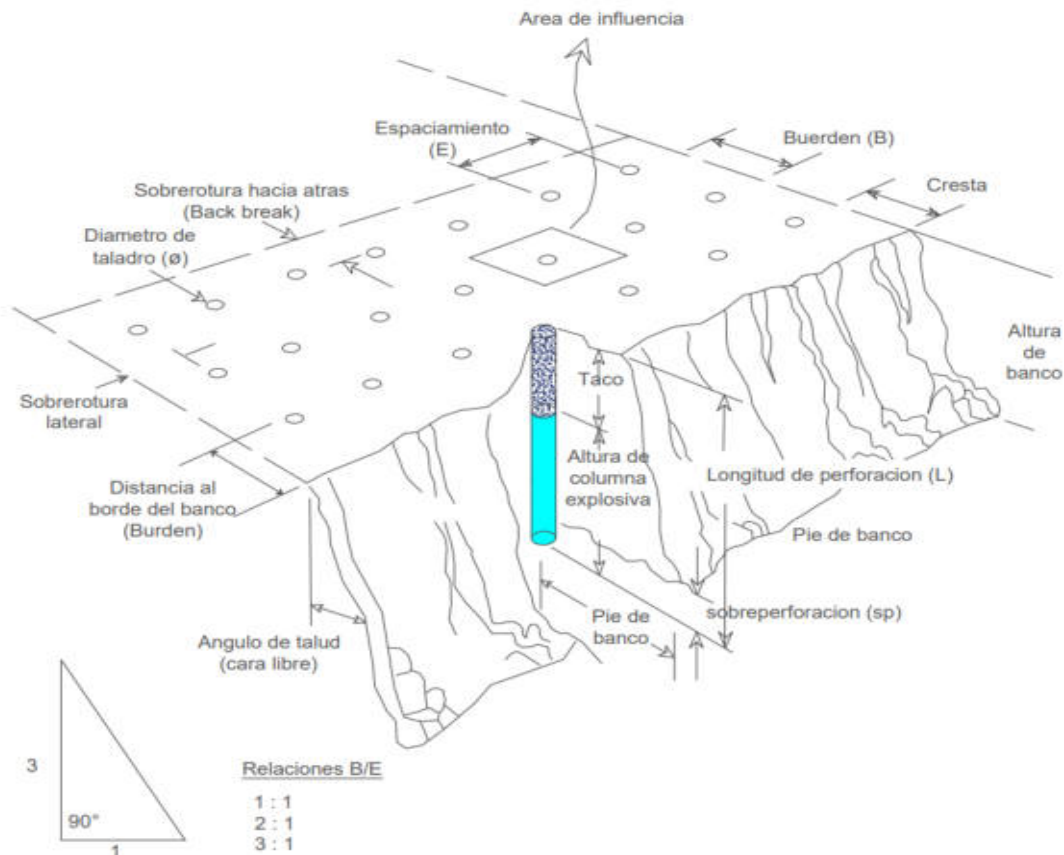


Figura 10 — Variables controlables de la voladura

Fuente — Página web <https://www.eadic.com/voladuras-parametros-de-diseno>

3.2.10.3 Diseño de voladura

De acuerdo con él (Minem, 1995) en su publicación menciona que, considerando ciertas circunstancias, aquellos diseños de voladura que son solitarios tendrán que desarrollarse y mencionarse en el área específico de la unidad minera, además se deberán aprobar por el encargado responsable de la actividad de voladuras. La especificidad de las condiciones bajo las cuales se necesita dichas acciones son cuando los trabajos de voladura se llevan a cabo dentro de las siguientes distancias.

- A 1000 pies (305m) de toda edificación, que tenga fines comunitarios o institucionales.
- A 500 pies (150m) de actividades mineras que se realizan en subterránea que estén en actividad o abandonadas.

El diseño de la voladura que se utilizará tendrá que tener en sí el grafico de aquellas mallas de perforación y voladura. Los períodos que se tardan

y la separación de las mezclas explosivas; así mismo, también tendrá que decir cuál es el tipo y la cantidad de explosivos que se utilizarán, las dimensiones críticas y también la ubicación y descripción general de las estructuras a proteger.

3.3 Marco conceptual

- a) **Combustión.** De acuerdo con (Exsa, 2020), define a la combustión como cualquier reacción química que tenga la capacidad de desprender calor, siendo posible, como también no, de ser percibida a través de nuestros sentidos y que, además, presenta un determinado tiempo de reacción bastante lento.
- b) **Deflagración.** Según (Bernaola, y otros, 2013), en su publicación de “Perforación y voladura de rocas en minería”, menciona que la deflagración es que se quema súbitamente con la presencia de llama a una reducida rapidez de expansión, sin explosión. Es habitual que se le asocie equivocadamente con las explosiones ya que a veces las utilizan como sinónimos.
- c) **Detonación.** De acuerdo con (Exsa, 2020), se denomina a una acción físico-químico que está dada por su enorme rapidez de reacción y a la vez por la creación de gran cantidad de elementos gaseosos a una muy alta calor, se obtienen una enorme potencia de expansión (que quiere decir, presión sobre el área circundante).
- d) **Explosivo.** Se les denominan a sustancias químicas que, estando en condiciones de temperatura y presión normales, son inocuas, pero que, a través de un medio a modo de iniciador, pasan violentamente al estado gaseoso, llegando a producir un elevado aumento de volumen, elevadas temperaturas y presiones. (Sinargeomin, 2018) .
- e) **Accesorio de voladura.** Se llama así a los dispositivos que se emplean ensamblar los explosivos, para dotar o para dar una chispa que llegue a iniciar la detonación, lleva una onda de detonación de un determinado punto a otro y los mecanismos para probar las conexiones y así realizar las explosiones para que pueda realizarse a cabo la voladura. (Uson, 2016).

- f) **Emulsión.** Se refiere a un sistema que está en dos fases líquidas inmiscibles una con la otra, una de las cuáles llega a dispersarse en forma de gotículas (fase discontinua) contenida en otra (fase continua) el sistema necesita, además, de otras diferentes sustancias (emulsificantes) que optimiza su estabilidad (Cao, 2016).
- g) **Anfo.** El ANFO (Ammonium Nitrate - Fuel Oil) que es una sustancia explosiva que está constituida por la combinación de nitrato de amonio y combustible que es petróleo Diesel. Donde estas combinaciones son ampliamente utilizadas, primordialmente por empresas mineras. (Exsa, 2020).
- h) **Fulminantes.** El fulminante común vendría a ser un componente accesorio para la voladura que está constituida por una cápsula en forma de cilindro de aluminio cerrado por uno de sus lados, en cuyo interior contiene un explosivo primario muy sensible al fuego y otro que es secundario que tiene un alto poder explosivo. (Famesa, 2020).
- i) **P80 (diámetro de fragmentación).** Refiere al índice que es la fragmentación que presenta mayores dimensiones, del cual el 80% del resto de los fragmentos de la voladura están por debajo de su medida y el otro 20% restante está por encima del tamaño. (Mamani, 2019).

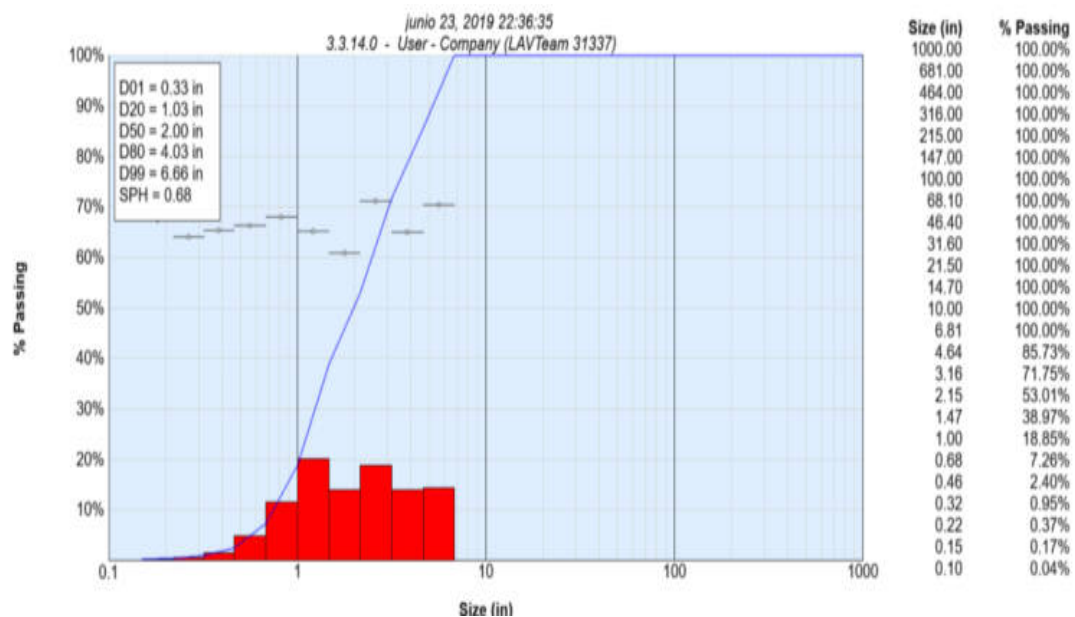


Figura 11— Definición de fragmentos porcentaje pasante.

Fuente — Wipfrag.



- j) **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 voladura. (Exsa, 2020).
- k) **Densidad de carga lineal.** La densidad de carga lineal es cuanto de explosivo se está cargando en un metro lineal en el taladro, en eso influye mucho el diámetro de taladro. (Gaona, 2015).
- l) **Balance de oxígeno.** El balance de oxígeno de un explosivo valora la suficiencia o no de oxígeno en la molécula de explosivo para lograr que todo su contenido en C se convierta a CO₂ y todo el contenido en H se convierta a H₂O. La fuerza y la potencia rompedora de un explosivo aumentan con el balance de oxígeno. (Orozco, 2011).
- m) **Emulsión gasificada.** La emulsión gasificada, viene a ser una emulsión que representa una compleja química dentro de la generación del N₂, y son los que la componen, aquellos que determinan la performance de la emulsión. Dicha emulsión representa ser una efectiva alternativa, ante otros explosivos, debido a sus características. (Alcocer, 2013).
- n) **Factor de Carga.** Determina la cantidad de explosivo utilizado por cada metro cúbico o tonelada de roca fragmentada. (Ryan, 2020).
- o) **Booster.** Se llama así a un agente explosivo muy potente de elevada densidad, gran rapidez y presión de detonación; por ello es que la columna con la carga explosiva en la que será activada con éste, logrará maximizar su desarrollo energético, lo cual redundará de forma favorable en el resultado obtenido de la voladura. (Famesa, 2020).
- p) **Detonador electrónico.** Se denomina detonador electrónico a aquel en que un detonador viene a ser encendido a través de un impulso de energía eléctrica por medio de un alambre de alta resistencia. Este detonador eléctrico instantáneo tec, consiste en un casquillo de cobre (u otras veces aluminio) en cuyo fondo se han agregado dos tipos de explosivos en diferentes capas sucesivas. (Harseim, 2020)

- q) **Numero de taladros** Es la cantidad total de taladros que se realiza en el diseño de una voladura, su disposición y características están ligadas al diseño de la voladura que se realizara. (Yana, 2017).
- r) **Burden.** Es la distancia más corta al taladro de alivio en el momento en que el taladro cargado detona; es uno de los principales factores en el diseño de la voladura; la variación de éste burden es bastante mayor que en las otras variables. (Enrique, 2020)
- s) **Espaciamiento.** Es la distancia que existe entre talado y taladro, las cuales este espaciamiento es determinada por la dureza del terreno a intervenir. (Lujan, 2017).
- t) **Malla de voladura.** Es el diseño que tiende a aplicarse en el terreno a volar, es la disposición o distribución de taladros en el banco que se volara. (Gaona, 2015).
- u) **Diámetro del taladro.** Es el ancho del orificio o taladro realizado, donde se alojará el agente explosivo estos también tienden a diferir por las dimensiones del banco a volar. (Orozco, 2011).
- v) **Longitud de taladro.** Es la profundidad del orificio o taladro, donde se alojará toda la columna explosiva (Condori, 2015).
- w) **Longitud de taco.** Es una distancia que refiere a la porción superior del taladro que usualmente se rellena con material estéril, esto con el propósito de que se confine la fuga de los gases en el instante que se dé la reacción química de los explosivos. (Unam, 2016).
- x) **Carga de columna.** Se refiere a la parte activa de la columna que contiene la carga explosiva, en donde se llegan a producir las reacciones de explosión y la presión que está presente de los gases contra el taladro. Es de mucha importancia el adecuado espaciamiento del explosivo a lo largo de la longitud de taladro, de acuerdo a las condiciones de la roca insitu. Que generalmente esta de 1/2 a 2/3 de la longitud total. (Mamani, 2019).

- y) **Sobreperforación.** Es la actividad de perforar un determinado tramo o longitud de taladro, lo cual sirve para mantener perfilado y de las dimensiones esperadas al banco para continuar la explotación (Raing, 2020).



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Definición de variables

4.2 Tipo y nivel de investigación

En cuanto al diseño general de la investigación es de tipo descriptivo, experimental y comparativo.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

Se toma como universo poblacional las mallas de voladura de la unidad minera Toromocho.

4.3.2 Muestra

Se toma como muestra las mallas de voladura de la fase 2 del Tajo Toromocho, comprendidas del nivel 4300 al nivel 4550.

4.4 Procedimiento de la investigación

Se realizarán pruebas del explosivo, mediante carguío de los taladros con mezcla explosiva Quantex 73 realizando un control exhaustivo de las propiedades físicas de los componentes en el caso de la emulsión verificando la densidad con la que se está cargando, el porcentaje de finos del nitrato de alta densidad, siempre en coordinación con los operadores de camión fabrica para evitar errores en el proceso, todo esto específicamente con el proceso de carguío del explosivo dentro de las mallas de voladura.

Posterior a ello se evaluará el resultado en los siguientes aspectos:

- Fragmentación de roca.
- Densidad de carga lineal
- Gases nitrosos de voladura

4.4.1 Fragmentación de roca

En cuanto a la fragmentación evaluaremos fotografías del frente de minado tomadas en el cambio de guardia ya que tendremos una parada de la pala, las

fotografías serán importadas al software Split donde se procesarán mediante un algoritmo de contorno de fragmentos y analizaremos la fragmentación promedio del frente te minado obteniendo el P80 de la fragmentación que nos ayudara a determinar el objetivo direccionado a la optimización de la fragmentación.

4.4.2 Densidad de carga lineal

Con referencia a la densidad de carga lineal buscaremos analizar los kilogramos que se optimizan producto de la gasificación del Quantex en kg/m, ya que como hipótesis planteamos un ahorro de carga producto del aumento de la carga de columna y su posterior disminución del taco final, para lo cual usaremos un modelo matemático formulado “densidad de carga lineal” (Lopez 1987) que nos ayuda a determinar los kilogramos por metro teniendo en cuenta la densidad del explosivo y el diámetro de los taladros a cargar.

4.4.3 Gases nitrosos de voladura

Para determinar la intensidad de gases usaremos la escala de rango visual de gases nitrosos implementado por AEISG Australian Explosives Industry and Safety Group (Grupo Australiano de Seguridad e Industria de Explosivos), esta escala muestra cinco niveles de gases nitrosos, dentro de las cuales se subdivide en tres tipos según la cantidad de taladros que emiten los gases, y realizaremos una comparativa visual del nivel de gases con la rigurosidad de la situación.

4.5 Material de investigación

Los materiales de la investigación en primera instancia estarán referidos netamente a carácter bibliográfico, fichas técnicas de explosivos y accesorios utilizados en las pruebas de voladura; Posterior a ello se recurrirá a materiales más específicos como: Planos de voladura.

- Monitoreo de vibraciones a campo lejano.
- Reporte de carguío por camión fabrica para zonificar el área de carguío.

- Reporte de VOD insitu, mediante la instalación de un cable resistivo e instalado al dispositivo denominado Microtrap para el análisis de VOD (Velocidad de onda de detonación)
- Reporte post Voladura.
- Reporte de fragmentación.

4.6 Instrumento de investigación

Los instrumentos están ligados directamente a la medición de las propiedades en los distintos procesos de carguío del explosivo, a su vez medir los resultados post voladura, detallando a continuación:

- Balanza, baso de acero, cuchara, viscosímetro.
- Cámara fotográfica.
- Software Split.
- Software Jk Simblast
- Software Blastware
- Sismógrafo
- Laptop personal
- Microtrap

4.7 Plan de tratamiento de datos

Para la obtención de los datos se procederá a tomar registro de los trabajos de campo, tomando registros fotográficos y apuntes, mediciones, etc. Una vez que se tengan los datos necesarios se procederá a realizar trabajos en gabinete donde se podrá determinar la diferencia con la utilización con otros productos de voladura, donde se podrá medir o cuantificar las diferencias. Posteriormente se procederá a dar forma a la estructura del informe final de tesis.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Diseño del block a explotar

Para este proyecto el principal objetivo es el control de dilución, ya que se presentaban tres polígonos con diferentes leyes de Cu:

- a) Polígono 4530-11-0258 (0.66%) Destino: Proceso
- a) Polígono 4530-11-0259 (0.51%)
- a) Polígono 4530-11-0260 (0.41%) Destino: Stock

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado y la información adicional como:

- Litología: Intrusivo
- Alteración: Potásica
- Dureza: Duro/Muy duro.

Se realizaron los siguientes controles para disminuir la dilución:

Para el diseño de la secuencia de salida, se agrupo los tres polígonos sectorizados por geología en dos polígonos, en función a su destino (Proceso o Stock).

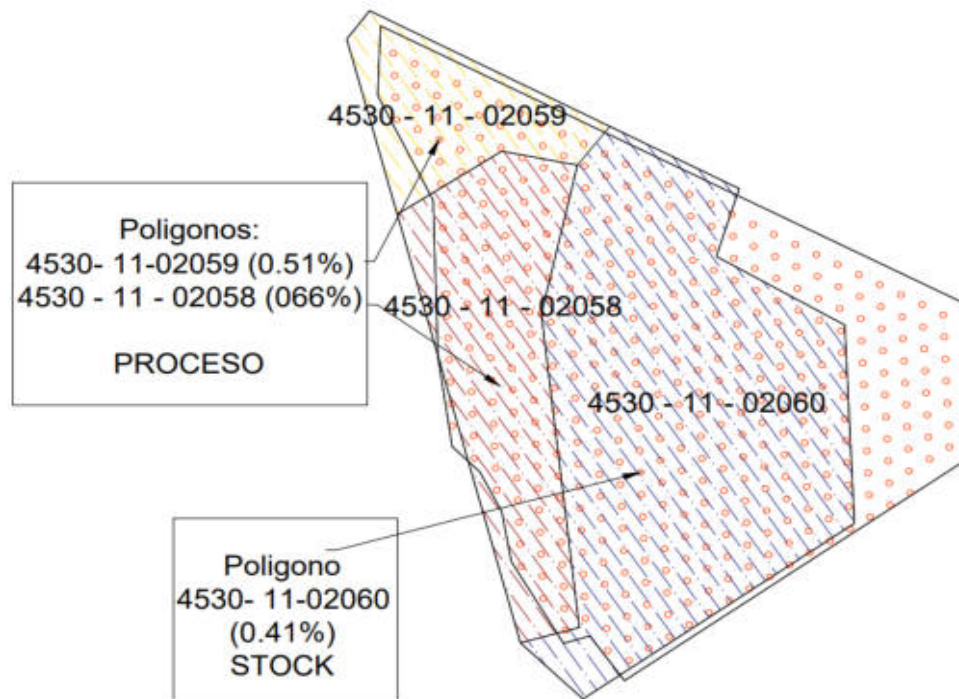


Figura 12 — Controles para la disminución de la dilución



Figura 13 — Controles para la disminución de la dilución

5.2 Diseño de Perforación y voladura aplicando ME Quantex 73

5.2.1 Parámetros de perforación

5.2.1.1. Equipos de perforación

En marzo del 2019 se puso en operación la perforadora CAT MD6640 que se compró en el año 2018, a continuación, se muestran las principales características.

Cat MD 6640

Drilling Range : 9,6" a 16"

Drilling Diameter : 12 ¼"

Mine Production : 10'000'000 t/month

El diámetro de taladro a perforar es de 12 ¼".



Figura 14 — Perforadora CAT MD6640

Tabla 2 — Ratio de perforación ROP según dureza de roca

Tipo de Roca (por Dureza)	ROP (m/hr)
Muy Duro	<44
Duro	[44,105>
Medio	[105,131>
Suave	>131

5.2.1.2. Identificación de vacíos por ROP

La velocidad de penetración en vacíos puede ir hasta 6000 m/h, a continuación, se muestran 3 escenarios en donde se pueden encontrar velocidades altas.

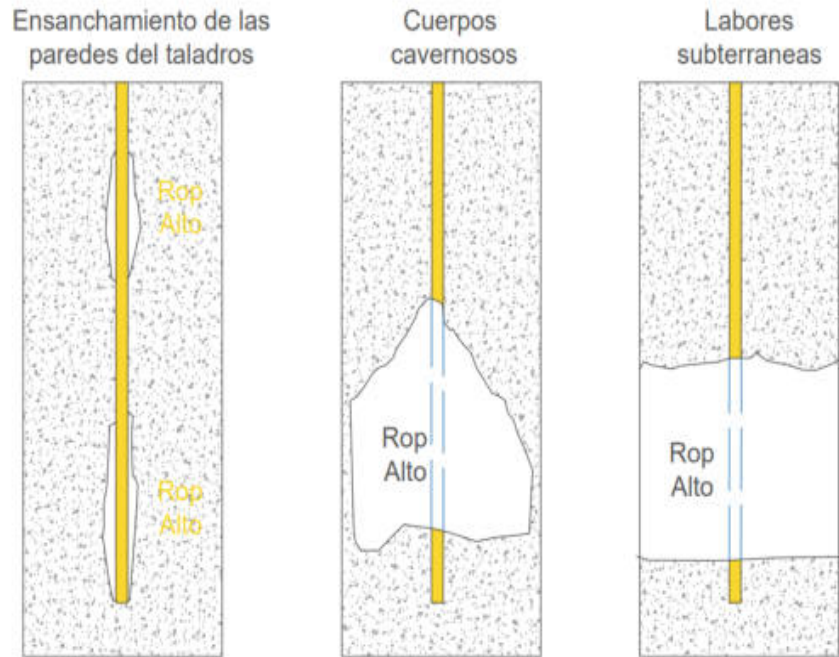


Figura 15 — Identificación de vacíos por ROP

5.2.1.3. Identificación de vacíos por ROP

La secuencia de salida del proyecto se realizó con dos puntos de inicio contrarios con el fin de lograr separar los polígonos, también se tuvo en cuenta las condiciones y el área en donde se encontraba ubicado el proyecto (Vía de tránsito, plataforma de perforación, talud y cresta/cara libre).

En ambos polígonos se utilizaron los mismos tiempos entre taladros y entre filas 6 y 120 ms respectivamente.

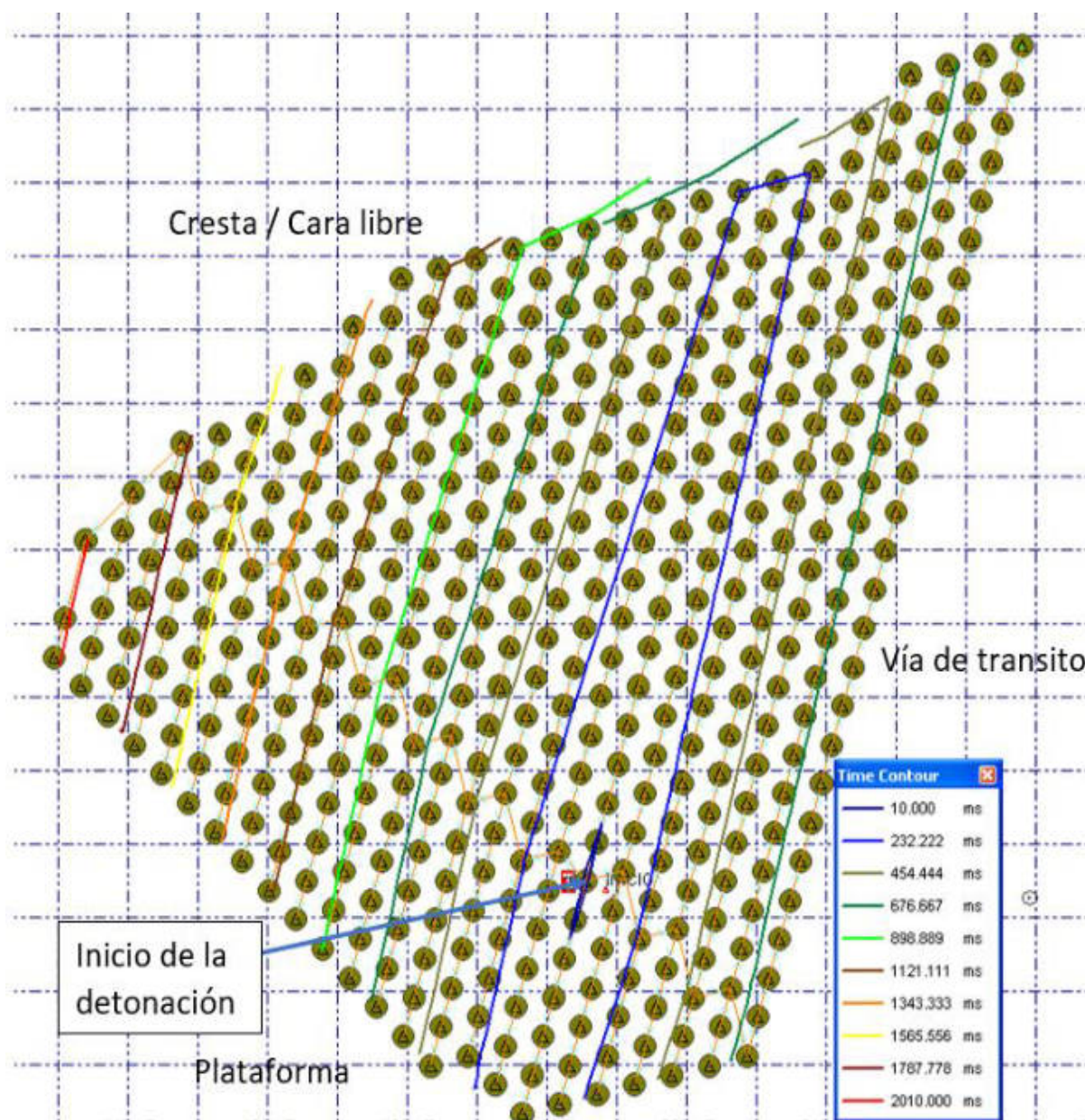


Figura 16 — Diseño de secuencia de salida

Proyecto : 02011
 Nivel : 4530
 B x E : 4.8 x 5.5 m
 Zona : FASE 2
 Tiempo entre Taladros : 6 ms
 Tiempo entre Filas : 120 ms
 Nro. De Taladros : 461

5.2.2 Parámetros de voladura anteriores

Para la voladura en roca suave se usa Slurex LC.

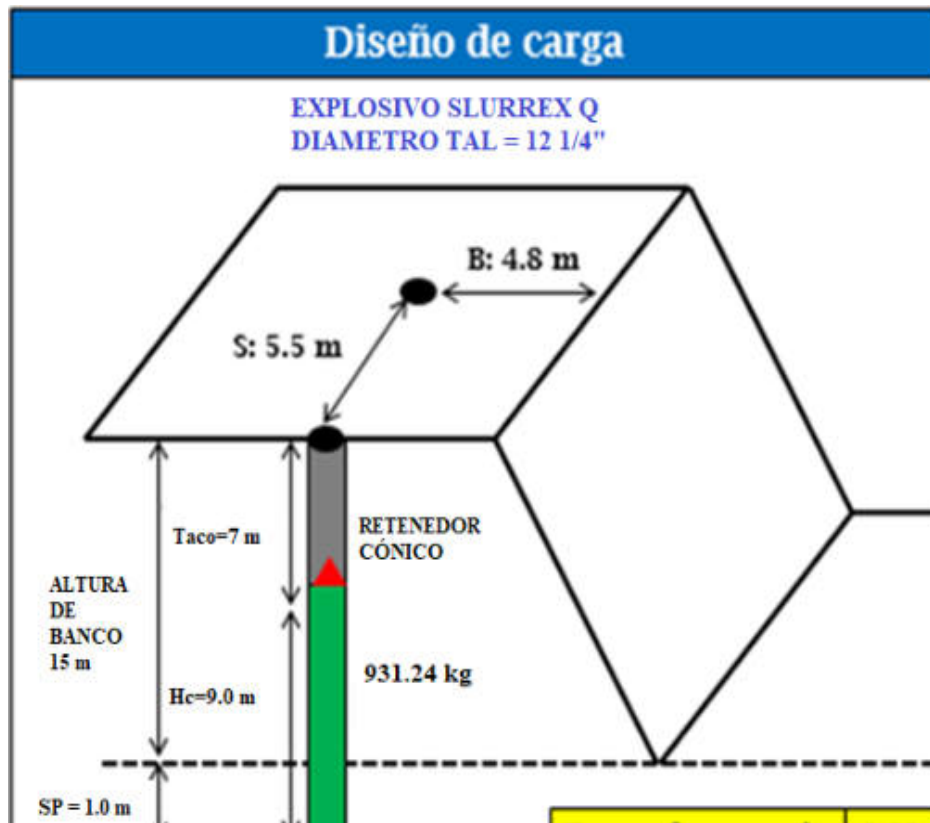


Figura 17 — Parámetros de voladura anteriores

5.2.3 Diseño de Taco

El taco aumenta la fragmentación y el desplazamiento de la roca reduciendo la descarga prematura hacia la atmósfera de gases de explosión a alta presión. La longitud óptima de un taco depende principalmente del diámetro del pozo, material del taco y de las propiedades de las rocas cercanas.

Como regla general, la longitud del taco no debería ser más corta que la distancia del burden (B). Sin embargo, la longitud óptima de taco depende de las propiedades de la roca, y puede variar de alrededor de $0.6B$ a $2B$. Las columnas más cortas que $0.6B$ generalmente provocan ruido, airblast, fragmentos de roca y sobrequebre.

Tabla 3 — Longitud de taco según diámetro de taladro y tipo de roca

Tipo de perforación	roca dura	roca fracturada
perforación recta	22d-26d	28d-33d
perforación inclinada	19d-23d	24d-28d

Fuente — Manual de Voladura EXSA

5.2.4 Aplicación de Quantex 73

Se usaron inicialmente los Heavy Anfo hasta marzo del 2017 donde se cambia a la tecnología Quantex como producto estándar en las voladuras. En mayo y septiembre del 2018 se realizaron pruebas del Quantex Aluminizado incrementando la velocidad de detonación.

5.3 Optimización de fragmentación aplicando mezcla explosiva Quantex 73

5.3.1 Impedancia de explosivo Quantex 73.

Varios autores han sugerido que, para la utilización máxima de la energía producida por una MEC en el proceso de fragmentación de las rocas, es necesario que la impedancia del explosivo sea lo más cercanamente posible a la impedancia de la roca.

La impedancia se puede definir como el producto de la velocidad y la densidad.

Así, por ejemplo, para el explosivo la impedancia se refiere al producto de la densidad del explosivo cargado dentro del taladro y su velocidad de detonación (VOD), mientras que, para la impedancia de la roca, es definida como el producto de la velocidad de la onda P y la densidad del macizo rocoso.

Entonces para obtener una fragmentación máxima, se debe cumplir lo siguiente:

$$\rho_{\text{explosivos}}VOD = \rho_{\text{roca}}V_P$$

Donde:

ρ : densidad

VOD : Velocidad de detonación del explosivo

Vp : Velocidad de onda P dentro del macizo rocoso

Tomando en cuenta el objetivo del balance que debe existir entre la resistencia de la roca (típicamente con velocidad de la onda P, en el rango de 4500 a 6000 m/sec.), se obtendrá mejor fragmentación cuando se use un explosivo con alta densidad y alta velocidad de detonación.

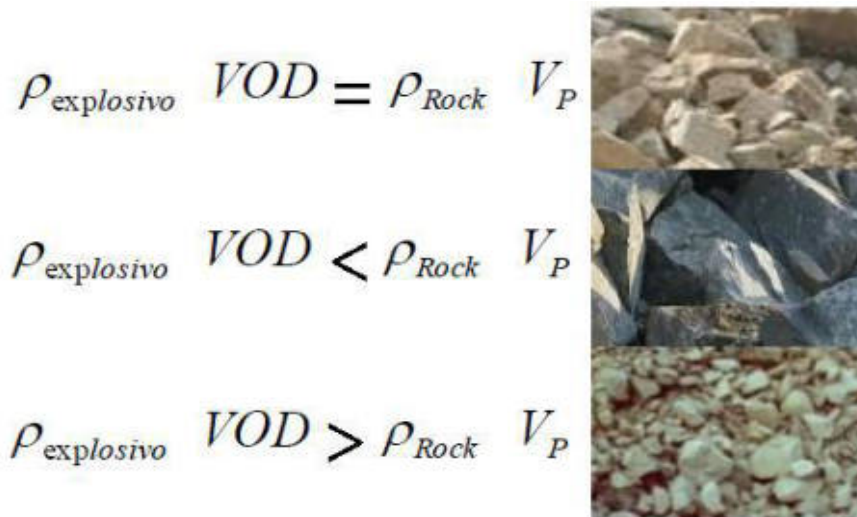


Figura 18 — Efecto de la densidad y VOD sobre la fragmentación

Fuente — Capacitación Voladura Primaria EXSA. S.A

5.3.2 Análisis de granulometría

Por granulometría o análisis granulométrico del macizo rocoso se entenderá todo procedimiento manual o mecánico o mediante proceso de voladura, de tal manera se pueda conocer las medidas de los fragmentos de mineral, para nuestro caso colocaremos boyas de 10 cm de diámetro, mediante fotografías analizaremos la medida de los fragmentos de mineral.

Mediante el software Wipfrag es posible modelar las imágenes tomadas de campo con la finalidad de obtener la curva granulométrica, se determinará el porcentaje pasante de finos P80.

FOTOS ANALIZADAS



Figura 19 — Fotografías a analizar en el frente de minado



Figura 20 — Posición de las boyas en el frente de minado

Tabla 4 —Tamaño de los fragmentos de la voladura con Quantex

Porcentaje Pasante	Tamaño (pulg.)
P10	0.05
P20	0.19
P30	0.33
P40	0.60
P50	0.91
P60	1.50
P70	2.00
P80	2.36
P90	3.33
Topsize (99.85%)	10.00

Realizando el análisis de fragmentación consideramos finos menores a 1 pulg. esta representa el 52.49 %.

Tabla 5 — Distribución de fragmentos mineral

Porcentaje pasante (%)	Menores a
80	2.36
60	1.5
20	0.19

Fuente: Asistencia técnica Exsa.

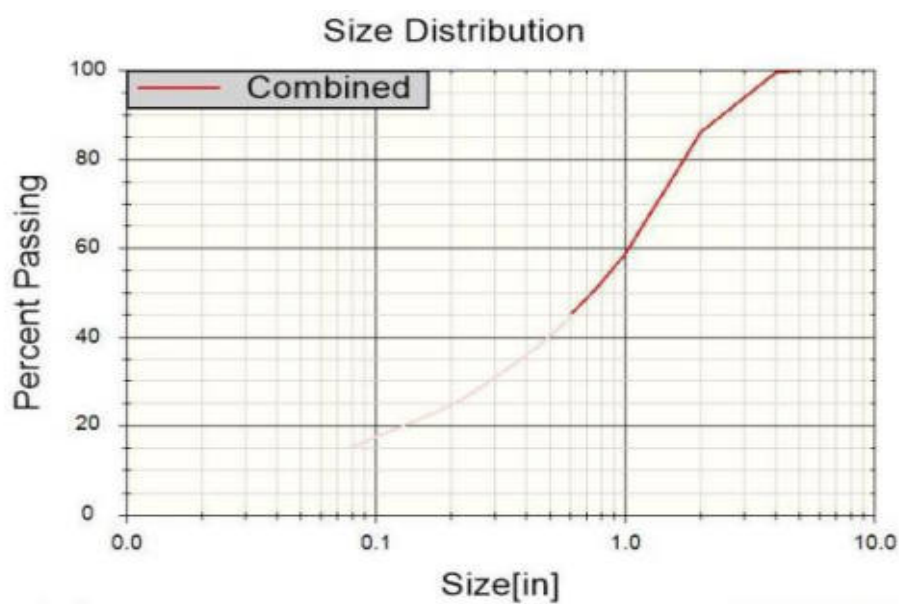


Figura 21 — Curva de fragmentación software Split

Las pruebas de la Mezcla Explosiva Quantex 73 de voladura arrojaron como resultado un promedio de $P_{80} = 2.36$ pulg. Se considera que los resultados a nivel de fragmentación son satisfactorios, porque el 80% de los fragmentos tienen tamaños menores a 2.36 pulgadas en mineral, lo cual es adecuado para el procesamiento en planta (el requerimiento de diámetro para planta es de 1 pulg para el 50 % del pasante)

Tabla 6 — Diámetro de fragmentos en porcentaje

Diámetro (pulg)	Pasante (%)
0.08	15.16
0.19	22.9
0.25	26.38
0.38	32.2
0.5	37.14
0.75	45.48
1	52.49
2	74.75
4	94.44
6	98.46
8	99.53
10	99.85
15	100
25	100

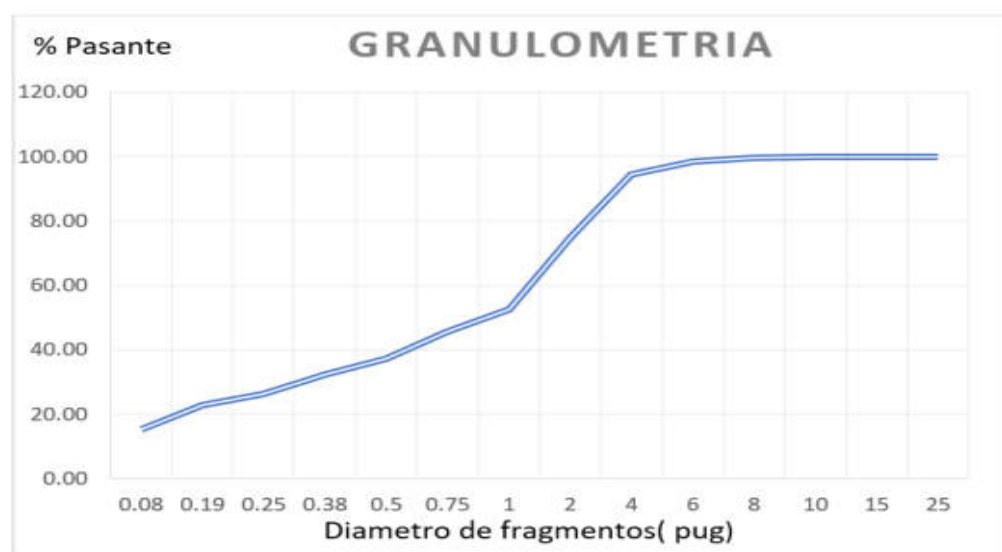


Figura 22 — Curva de fragmentación promedio



Figura 23 — Prevoladura



Figura 24 — Postvoladura

5.4 Optimización de la densidad de carga lineal

La densidad de carga lineal es la cantidad de explosivo que se va usar en un metro lineal del taladro perforado en el macizo rocoso, esta es expresada en kilogramos de explosivo por metro lineal, para el cálculo de este indicador tomaremos la fórmula de López Jimeno, el cual considera el diámetro del taladro y la densidad del explosivo.

$$Dl = Dexp * (Dtal)^2 * 0.507$$

Donde:

Dl : Densidad de carga lineal (kg/m)

Dexp : Densidad del explosivo (gr/cm³)

D tal : Diámetro del taladro (pulg)

5.4.1 Parámetros de Perforación

Para ensayos de voladura con la Mezcla Explosiva Quantex, no se han perturbado en lo absoluto las cuantificaciones de excavación, todos ellos se han sostenido con iguales dimensiones en cuanto a sus parámetros en todos los sectores de la mina.

Considerando a W. Crosby y M. Pinco, ambos científicos plantean un modelo matemático basado en la potencia relativa por volumen (RBS), que, en el caso de no cambiar el diámetro del taladro, se puede determinar nuevas dimensiones del burden y el espaciamiento, utilizando un nuevo explosivo de una potencia relativa por volumen en particular en vez del explosivo en uso, para el cálculo de estos parámetros consideramos la siguiente expresión.

$$RWS = \left(\frac{RBSa}{RBSu} \right)^{1/3} * Du = Da$$

Donde:

RBSu = explosivo en uso.

RBSa = explosivo a usar.

Du = dimensión en uso.

Da = dimensión a usar.



Burden

$$RWS = \left(\frac{1.02}{0.96} \right)^{1/3} * 4.8 = 4.9 \text{ m}$$

Espaciamiento:

$$RWS = \left(\frac{1.02}{0.96} \right)^{1/3} * 5.6 = 5.7 \text{ m}$$

En base a los resultados, los principales parámetros de perforación se muestran a continuación.

Tabla 7 — Características técnicas de diseño de perforación

Ítem	unidad	cantidad
Diámetro de taladro	pulgadas	12.25
Burden	metros	4.9
Espaciamiento	metros	5.7
Altura de banco	metros	15
Sobreperforación	metros	1

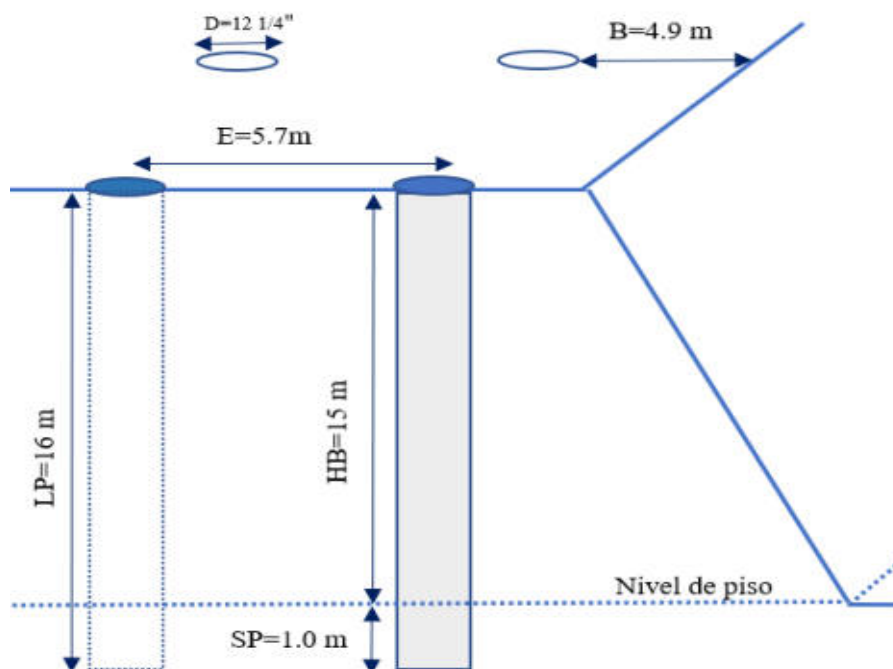


Figura 25 — parámetros controlables en la perforación

5.4.2 Parámetros de Voladura

Dentro de los parámetros controlables de la voladura tenemos los siguientes:

- a) **Longitud de carga:** De acuerdo a diseño de asistencia técnica se considera una altura de carga sin esponjamiento 7.8 m, considerando el esponjamiento del explosivo 8.80 m.
- b) **Longitud de taco:** Conocido también como retacado es el volumen del taladro relleno de material inerte, para nuestro caso la longitud de taco es 7.20 m.

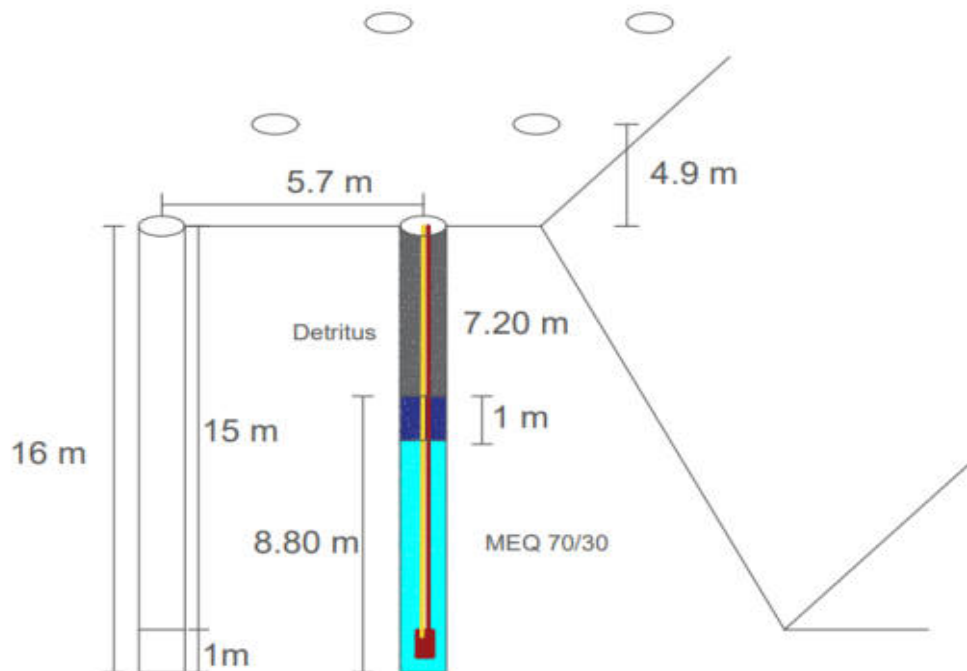


Figura 26 —Parámetros controlables de voladura

- c) **Tiempo de retardo y sistema de iniciación:** Los tiempos de retardo entre taladros y las secuencias de encendido juegan en las voladuras un papel muy importante puesto que pueden disminuir las cargas operantes y por consiguiente los niveles de vibración producidos y hacer que se consiga una mayor efectividad en el proceso de voladura. Ver figura N° 15.

5.4.3 Densidad de carga lineal Slurrex Q

Para realizar el cálculo de densidad de carga lineal del Slurrex Q, se considera los siguientes datos.

Diámetro de taladro = 12 ¼ pulg.

Densidad del Slurrex Q = 1.36 gr/cm³

Altura de carguío = 9.0 m

Reemplazamos en la formula:

$$Dl = Dex p * (Dtal)^2 * 0.507 \text{ (López, 1987)}$$

$$Dl = 1.36 \text{ gr/cm}^3 * (12.25 \text{ pulg})^2 * 0.507$$

$$Dl = 103.47 \text{ kg/m}$$

Calculamos los kilogramos de explosivo por taladro.

$$\frac{Kg}{tal} = \left(103.47 \frac{kg}{m}\right) * 9.0 \text{ m}$$

$$\frac{Kg}{tal} = 931.24 \text{ kg}$$

5.4.4 Componentes del Quantex 73

La Mezcla explosiva Quantex 73 está compuesta por 70% de emulsión gasificable, Slurrex Q, potenciada con 30% de nitrato de amonio Quantex, a la que posteriormente se le agrega una la solución gasificante que le brindará la sensibilidad y densidad requerida.





Figura 27 — Componentes del Quantex

Fuente — Ficha técnica Exsa.

- a) **Nitrato de amonio Quantex.** Es un nitrato de amonio de alta densidad, que aporta mayor energía a la mezcla sensibilizada logrando fragmentar la roca.

Tabla 8 — Características técnicas de nitrato de amonio Quantex

Especificaciones	unidades	Nitrato de amonio Quantex
Densidad	g/cm ³	0.94 ± 0.04
Humedad	%	0.50 máximo
Insolubles en agua	%	0.50 máximo
Finos	%	<10

Fuente — Ficha técnica Exsa S.A

- b) **Slurrex Q.** Es una emulsión a granel especialmente diseñada para ser usado con el nitrato de amonio grado Quantex.

Tabla 9 — Características técnicas de Slurrex Q

Especificaciones técnicas	unidades	Slurrex Q
Densidad	g/cm ³	1.36 ± 5%
VOD	m/s	No aplica
RWS*	—	103
RBS	%	153
Resistencia al agua	—	Excelente

Fuente — Ficha técnica Exsa S.A.

- c) **Nitrito de sodio.** Es una solución formulada para el uso con emulsiones gasificables (NaNO₂), en voladura de rocas sirve como regulador de densidad de emulsiones gasificables, brindando coloración verde cuando es mezclado, facilitando homogeneidad del mezclado.

Tabla 10 — Características técnicas del Nitrito de sodio

Especificaciones técnicas	unidades	Solución gasificante
Densidad	g/cm ³	1.13 ± 0.02
Punto de congelación	°C	-6
Color	verde	verde
PH	—	7.5
Solubilidad en el agua	—	completamente miscible

Fuente — Ficha técnica Exsa S.A.

5.4.5 Proceso de Gasificación del Quantex 73

El proceso de mezcla del nitrato de amonio Quantex, Slurrex Q y nitrito de sodio se genera en el camión fabrica momentos antes de ser vaciado al taladro, la adición de este último componente genera burbujas de nitrógeno en la matriz, estas burbujas actúan como hot spots, ello permite variar su densidad y demás características.

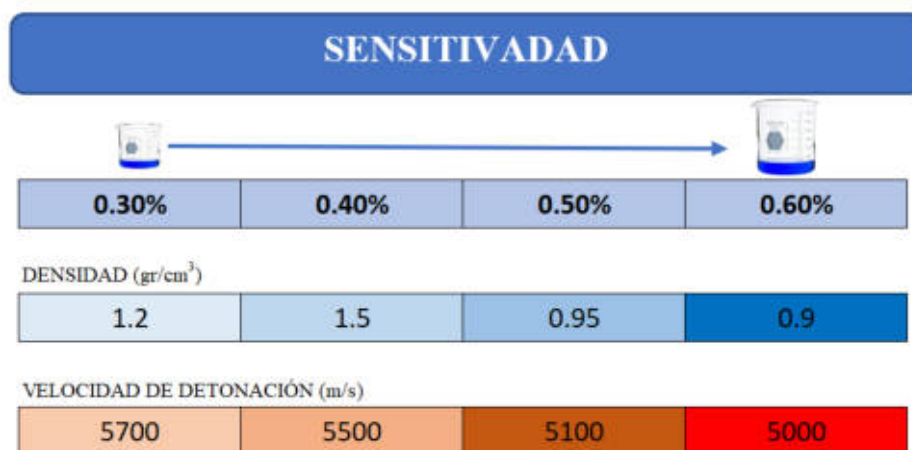


Figura 28 — Porcentaje de nitrito de sodio para obtener la densidad requerida.

Fuente — Portafolio técnico para clientes EXSA (2016).

En laboratorio se hizo prueba con diferentes porcentajes de nitrito de sodio, dando como resultado los siguientes valores.

Tabla 11— Variación de densidad del Quantex 73

Densidad inicial de MEQ 73 (g/cm ³)	Porcentaje de Nitrito de Sodio	Densidad final de MEQ 73 (g/cm ³)
1.38	0.1	1.21
1.38	0.15	1.17
1.38	0.18	1.16
1.38	0.20	1.14
1.38	0.25	1.10
1.38	0.3	1

5.4.6 Tiempo de gasificación Quantex 73

Es el tiempo en el que la mezcla explosiva ya dentro del taladro empieza a esponjarse de manera que disminuye su densidad para incrementar su volumen y así su longitud de carga lineal.

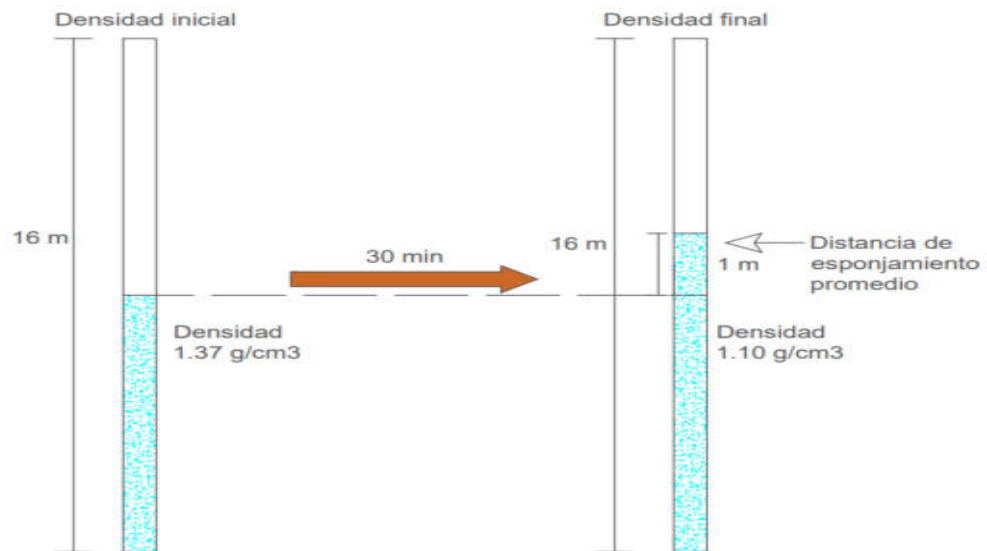


Figura 29 — Vista en perfil del proceso de gasificación Quantex 73

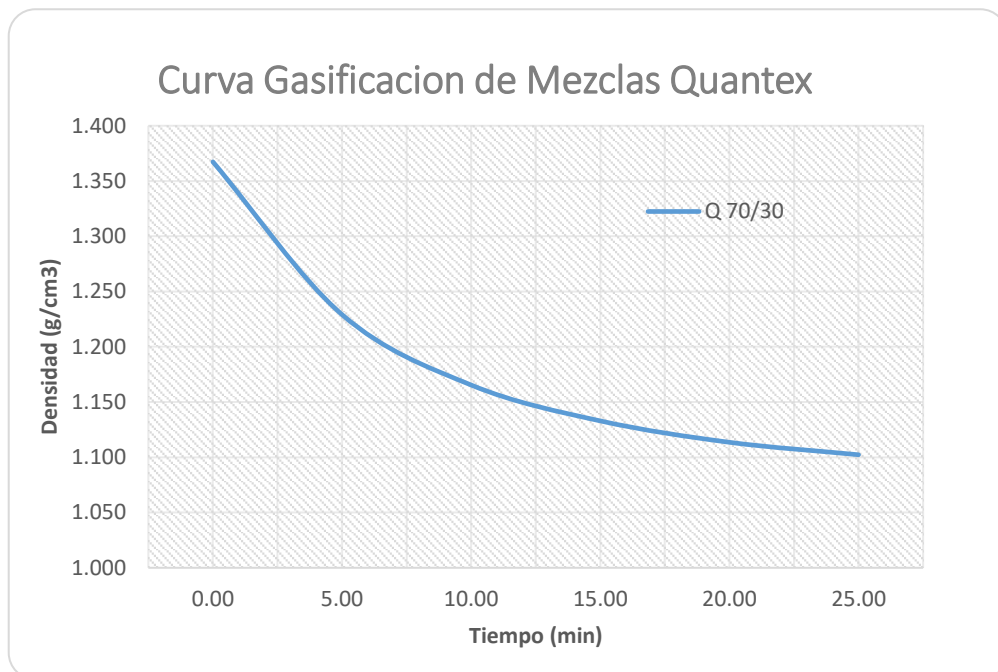


Figura 30 — Densidad Quantex 73 vs Tiempo en minutos

5.4.7 Densidad de carga lineal Quantex 73

Para realizar el cálculo de densidad de carga lineal del Quantex 73, debemos considerar dos escenarios, densidad de carga lineal inicial y densidad de carga lineal final.

a) **Densidad de carga lineal inicial**

Datos:

Diámetro de taladro = 12 ¼ pulg.

Densidad inicial = 1.37 gr/cm³

Altura de carguío = 7.80 m

$$Dl = Dexp * (Dtal)^2 * 0.507$$

$$Dl = 1.37 \text{ gr/cm}^3 * (12.25 \text{ pulg})^2 * 0.507$$

$$Dl = 104.23 \text{ Kg/m}$$

Cantidad de ME Quantex por taladro:

$$\text{Kg Quantex/tal} = Dl * Hc$$

Donde:

Hc : Longitud de taladro cargado (m)

$$\text{Kg Quantex/tal} = 104.23 \text{ kg/m} * 7.80 \text{ m}$$

$$\text{Kg Quantex/tal} = 812.99 = 813 \text{ kg/tal}$$

Con ello podemos saber que la cantidad de explosivo usado en cada taladro es de 812.99 kg. Sin embargo, para calcular la densidad de carga lineal final debemos considerar la densidad final del Quantex 73 y por defecto el esponjamiento del mismo.



b) Densidad de carga lineal final

Datos:

Diámetro de taladro = 12 ¼ pulg.

Densidad final = 1.10 gr/cm³

Altura de carguío + esponjamiento = 7.80 m +1.0 m =8.80 m.

$$Dl = Dexp * (Dtal)^2 * 0.507$$

$$Dl = 1.10 \text{ gr/cm}^3 * (12.25 \text{ pulg})^2 * 0.507$$

$$Dl = 83.68 \text{ Kg/m}$$

Cantidad de ME Quantex por taladro:

$$Kg \text{ Quantex/tal} = Dl * Hc$$

$$Kg \text{ Quantex/tal} = 104.23 \text{ kg/m} * 7.80 \text{ m}$$

$$Kg \text{ Quantex/tal} = 812.99 = 813 \text{ kg/tal}$$

5.4.8 Medición de densidades en laboratorio y Campo

La medición en campo de la densidad final es determinante para el correcto desempeño de la MEQ73 así sabremos qué porcentaje de sensibilizante necesita nuestra mezcla explosiva. Se debe calibrar el camión a la densidad requerida al inicio de su operación y se debe comprobar durante todo el carguío.

- “A mayor porcentaje de sensibilizante se tiene menor densidad de la emulsión y a menor porcentaje mayor densidad”
- “A mayor temperatura se alcanza menor densidad de la emulsión gasificada y a menor temperatura mayor densidad de la misma”
- Mediante pruebas realizadas en laboratorio se tiene los siguientes resultados:

Tabla 12 — Relación de la densidad final respecto al velocidad de detonación

Densidad inicial de MEQ 73 (g/cm ³)	Porcentaje de Nitrito de Sodio	Densidad final de MEQ 73 (g/cm ³)	VOD
1.38	0.1	1.21	5200
1.38	0.15	1.17	5383
1.38	0.18	1.16	5453
1.38	0.20	1.14	5613
1.38	0.25	1.10	5800
1.38	0.3	1.0	4954

5.4.9 Diseño de carga lineal

Entonces, el diseño de la columna explosiva terminaría siendo de la siguiente forma.

Tabla 13 — Parámetros de diseño de taladro

Parámetros de Carguío	Unidades	Medida
Diámetro de taladro	pulg.	12.25
altura de carga	m	7.8
Esponjamiento	m	1
Taco final	m	7.2
Densidad ME Quantex inicial	gr/cm ³	1.37
Densidad ME Quantex final	gr/cm ³	1.10
Densidad de carga lineal inicial	kg/m	104.23
Densidad de carga lineal final	kg/m	83.68
Burden	m	4.9
Espaciamiento	m	5.7
Altura de banco	m	15
Densidad de roca	gr/cm ³	2.65
Tonelaje fragmentado	Tn	1110.21
Factor de potencia	kg/Ton	0.66

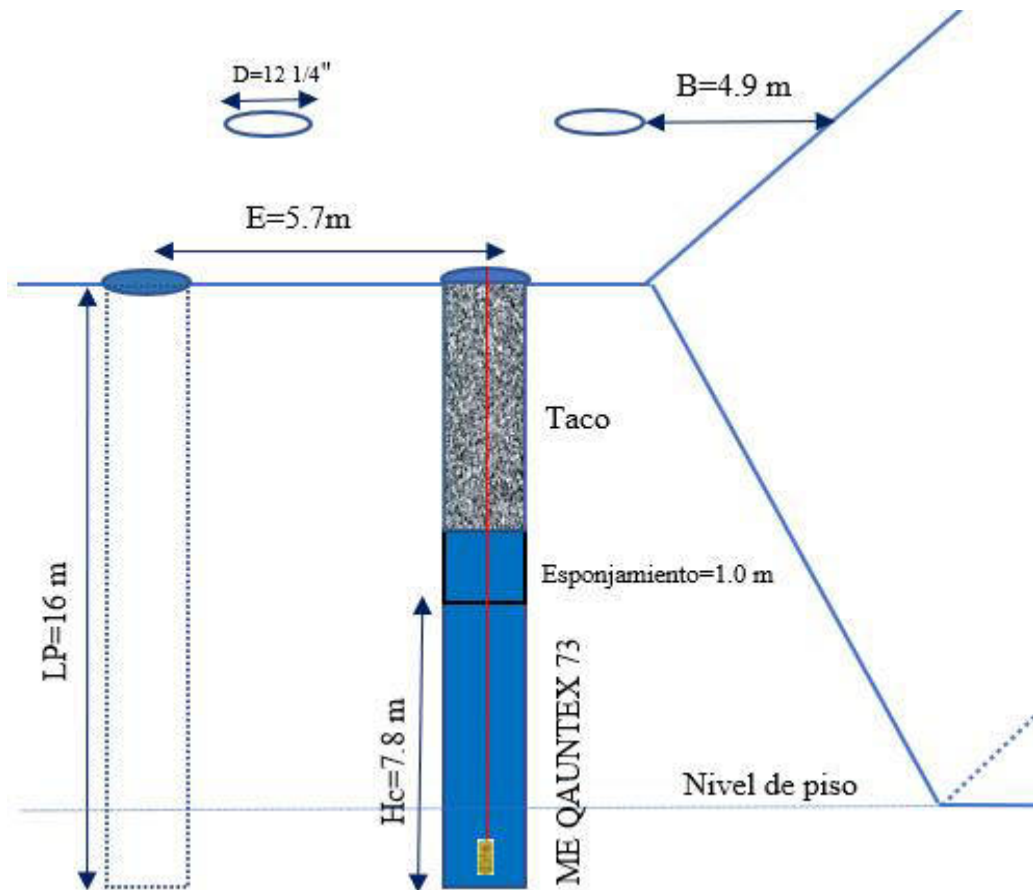
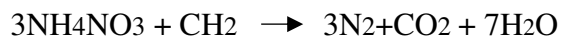


Figura 31— Diseño de carga lineal para Quantex 73

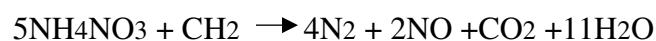
5.5 Optimización de gases nitrosos aplicando mezcla explosiva Quantex 73

5.5.1 Química de los humos rojos en explosivos a base de nitrato de amonio

Si las condiciones de la detonación son ideales, los gases producidos son dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂) y vapor de agua, todos incoloros, según la siguiente ecuación.

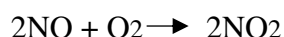


En el caso particular del ANFO, bajo condiciones de poco o nulo combustible en el producto, se obtiene un balance de **oxígeno positivo**, razón por la cual la mezcla de ANFO tiende a **deflagrar**. Esta reacción produce NO₂, que corresponde al gas color naranja/marrón al que denominamos humos rojos, como se indica en la siguiente ecuación.



La cual tiene un balance de oxígeno positivo de +7.3, 3.5% de petróleo

En estas condiciones, no toda la mezcla de ANFO podría deflagrar. Así, otro tipo de productos podrían generarse como consecuencia de una combustión incompleta. En este caso, se genera monóxido de nitrógeno (NO), el que se oxida fácilmente con el aire de la atmosfera, transformándose en dióxido de nitrógeno (NO₂). Las siguientes reacciones químicas representan estos procesos:










5.5.2 Escala de gases nitrosos

Se toma como base de referencia la escala de rango visual de gases nitrosos implementado por AEISG Australian Explosives Industry and Safety Group (Grupo Australiano de Seguridad e Industria de Explosivos), esta escala muestra cinco niveles de gases nitrosos, dentro de las cuales se subdivide en tres tipos según la cantidad de taladros que emiten los gases, siendo:

- A: para pocos taladros menores al 50 % del total de los taladros.
- B: Para más del 50 % del total de taladros.
- C: Para todos los taladros

Tabla 14 — Escala de gases nitrosos para valoración visual

Nivel	Apariencia típica
NIVEL 0: Gases nitrosos NOx	
Nivel 1: Gases nitrosos NOx leves	
1A: Localizado	
1B: Medio	
1C: Extensa	
Nivel 2: Amarillo / gas naranja	
2A: Localizado	
2B: Medio	
2C: Extensa	
Nivel 3: gases naranjas	
3A: Localizado	
3B: Medio	
3C: Extensa	
Nivel 4: naranja/gases rojos	
4A: Localizado	
4B: Medio	
4C: Extensa	
Nivel 5: Rojo/gases purpura	
5A: Localizado	
5B: Medio	
5C: Extensa	

Fuente — Grupo Australiano de Seguridad e Industria de Explosivos





Figura 32 — Emisión de gases nitrosos Proyecto 4350-04003- Quantex 73 / valoración de acuerdo a AEISG Nivel 1 clase 1 A



Figura 33 — Emisión de gases nitrosos proyecto 4350-04006 Quantex 73 / valoración de acuerdo a AEISG Nivel 2 clase 2 A



Figura 34 — Emisión de gases nitrosos Proyecto 4330-04004 Quantex 73 / valoración de acuerdo a AEISG Nivel 0



Figura 35 — Emisión de gases nitrosos proyecto 4330-04005 Quantex 73/ valoración de acuerdo a AEISG Nivel 0

Tabla 15 — Valoración de gases nitrosos explosivo Slurrex Q vs Quantex 73

Proyecto	Fecha	Nivel de gas	Explosivo	Proyecto	Fecha	Nivel de gas	Explosivo
4590-04001	18/10/2019	2	Slurrex Q	4350-04001	17/01/2020	1	Quantex 73
4590-04002	19/10/2019	3	Slurrex Q	4350-04002	17/01/2020	2	Quantex 73
4590-04003	20/10/2019	2	Slurrex Q	4350-04003	18/01/2020	1	Quantex 73
4590-04006	25/10/2019	2	Slurrex Q	4350-04006	19/01/2020	0	Quantex 73
4590-04007	26/10/2019	1	Slurrex Q	4350-04007	2/02/2020	1	Quantex 73
4600-04001	27/10/2019	2	Slurrex Q	4330-04001	3/02/2020	0	Quantex 73
4600-04002	2/11/2019	1	Slurrex Q	4330-04002	4/02/2020	0	Quantex 73
4600-04003	3/11/2019	2	Slurrex Q	4330-04003	24/02/2020	0	Quantex 73
4600-04004	4/11/2019	1	Slurrex Q	4330-04004	25/02/2020	1	Quantex 73
4600-04005	12/12/2019	3	Slurrex Q	4330-04005	3/03/2020	2	Quantex 73
4600-04006	13/12/2019	2	Slurrex Q	4330-04006	4/03/2020	1	Quantex 73

Cuadro comparativo del nivel de rango visual de gases nitrosos de acuerdo al grupo australiano de seguridad e industria de explosivos, donde se evidencia una mejora significativa en la valoración de emisión de gases color naranja del explosivo Quantex 73 vs el Slurrex Q.

5.6 Discusión

5.6.1 Análisis de parámetros de perforación y voladura

Tabla 16— Cuadro comparativo parámetros de Slurrex Q y Quantex 73

Parámetros de P&V	UND	Slurrex Q	Quantex 73
Diámetro de taladro	pulg.	12.25	12.25
Burden	m	4.90	4.90
Espaciamiento	m	5.70	5.70
Altura de banco	m	15.00	15.00
Sobreperforación	m	1.00	1.00
altura de carguío	m	9.00	7.80
Esponjamiento	m	-	1.00
Taco final	m	6.00	7.20
Densidad	gr/cm ³	1.36	1.10
Densidad de carga lineal	kg/m	103.47	83.68
Densidad de roca	gr/cm ³	2.65	2.65
Tonelaje fragmentado	tn	1110.21	1110.21
Factor de potencia	kg/ton	0.83	0.66

Podemos observar que los parámetros de perforación se mantienen, lo que varía son las variables controlables de la voladura, en este caso la característica principal del Quantex 73 se ve reflejado en el esponjamiento, densidad final, densidad de carga lineal y por lo tanto un factor de carga menor, parámetros de perforación y voladura aplicables para las condiciones geológicas de unidad minera Chinalco.

5.6.2 Análisis de fragmentación de mineral

Tabla 17 — de Fragmentación del Slurrex Q

Proyecto	Fecha	Promedio del P80	Promedio P50
4590-04001	18/10/2019	3.970	1.450
4590-04002	19/10/2019	4.120	1.380
4590-04003	20/10/2019	3.850	1.360
4590-04006	25/10/2019	3.990	1.400
4590-04007	26/10/2019	3.950	1.310
4600-04001	27/10/2019	4.150	1.440
4600-04002	2/11/2019	4.150	1.400
4600-04003	3/11/2019	4.080	1.390
4600-04004	4/11/2019	3.970	1.350
4600-04005	12/12/2019	4.050	1.360
4600-04006	13/12/2019	4.020	1.380

Fuente — Cia Minera Chinalco

Tabla 18 — Resultados de fragmentación del Quantex 73

Proyecto	Fecha	Promedio del P80	Promedio P50
4350-04001	17/01/2020	2.243	1.080
4350-04002	17/01/2020	2.266	0.810
4350-04003	18/01/2020	2.230	0.910
4350-04006	19/01/2020	2.450	0.980
4350-04007	2/02/2020	2.360	1.070
4350-04001	3/02/2020	2.058	0.500
4350-04002	4/02/2020	2.252	0.850
4350-04003	24/02/2020	2.355	1.020
4350-04004	25/02/2020	2.350	0.720
4350-04005	3/03/2020	2.672	1.000
4350-04006	4/03/2020	2.603	0.980

Fuente — Cia Minera Chinalco

De todos los resultados que se llegaron a obtener, se observa que, si se utiliza un explosivo de alta energía, lo que logramos obtener es un exitoso proceso en términos de optimización, debido a que es en este proceso donde se consigue reducir de manera sustancial la granulometría (P80).

5.6.3 Análisis de la velocidad de detonación VOD

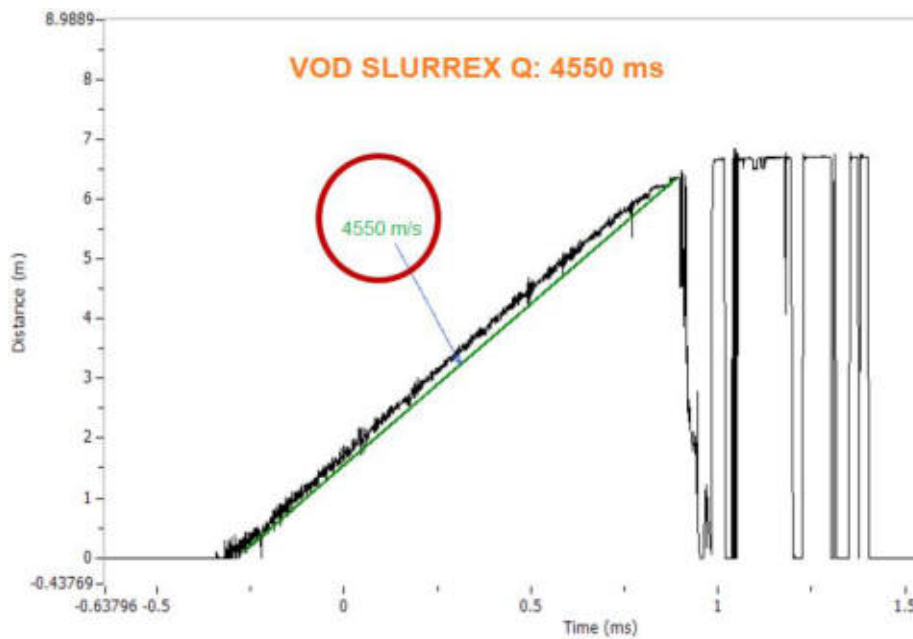


Figura 36 — Velocidad de detonación Slurrex Q

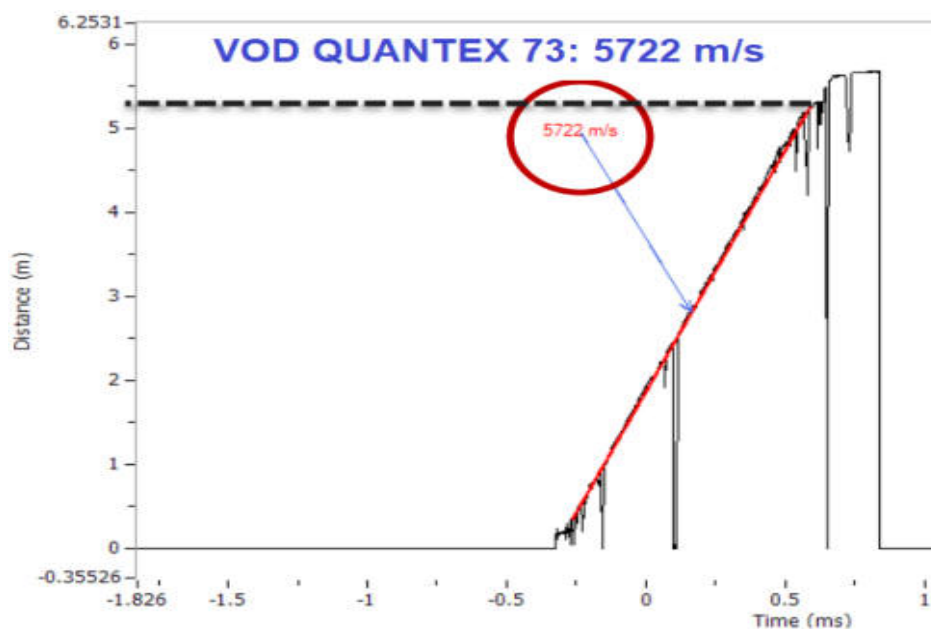


Figura 37 — Velocidad de detonación Quantex 73

Según la regresión lineal registrada por el equipo microTrap se obtiene un VOD de 5722 m/s para el Quantex 73 y 4550 m/s para el Slurrex Q.

5.6.4 Análisis de densidad de carga lineal

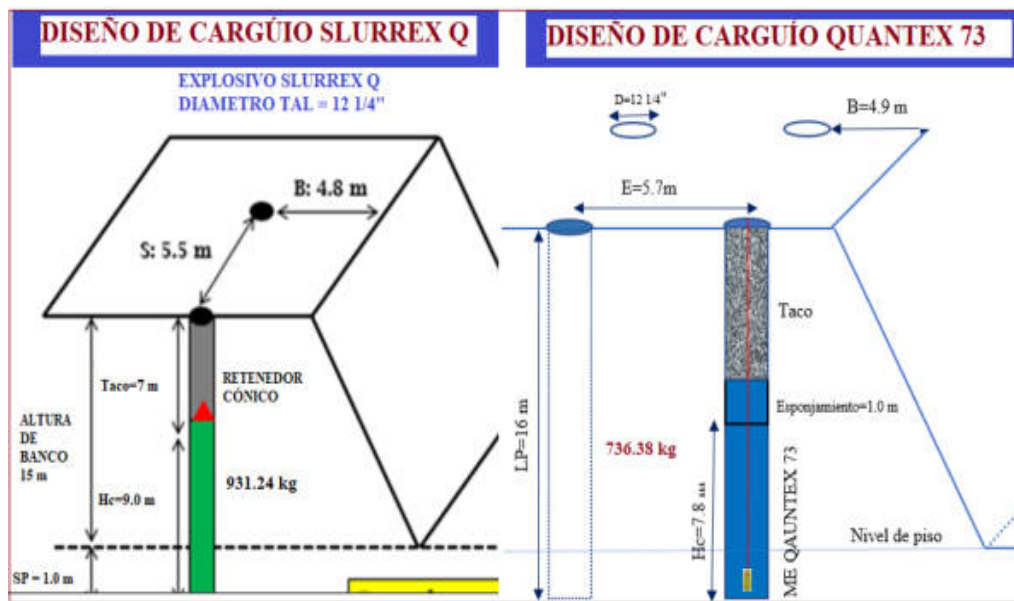


Figura 38 — Densidad de carga lineal del Slurrex Q vs Quantex 73

En la figura 38 se puede observar que gracias a las bondades del Quantex 73 se logra reducir la cantidad de explosivo a emplear para un taladro, para nuestro caso debemos especificar que la densidad de carga lineal del Slurrex Q es 103.47 kg explosivo/m y 83.68 kg explosivo/m para el caso del Quantex 73, logrando optimizar en 19.12 % el consumo de explosivo por metro lineal.

5.6.5 Análisis de emisión de gases nitrosos

Tabla 19 — Resumen nivel de gases nitrosos Slurrex Q vs Quantex 73

Proyecto	Nivel	Explosivo	Proyecto	Nivel	Explosivo
4590-04001	2	Slurrex Q	4350-04001	1	Quantex 73
4590-04002	3	Slurrex Q	4350-04002	2	Quantex 73
4590-04003	2	Slurrex Q	4350-04003	1	Quantex 73
4590-04006	2	Slurrex Q	4350-04006	0	Quantex 73
4590-04007	1	Slurrex Q	4350-04007	1	Quantex 73
4600-04001	2	Slurrex Q	4330-04001	0	Quantex 73
4600-04002	1	Slurrex Q	4330-04002	0	Quantex 73
4600-04003	2	Slurrex Q	4330-04003	0	Quantex 73
4600-04004	1	Slurrex Q	4330-04004	1	Quantex 73
4600-04005	3	Slurrex Q	4330-04005	2	Quantex 73
4600-04006	2	Slurrex Q	4330-04006	1	Quantex 73

Fuente — Cia minera Chinalco



Figura 39 — Emisión de gases nitrosos Slurrex Q vs Quantex 73

Evidencias fotográficas de la emisión de gases nitrosos producto de voladuras del explosivo Slurrex Q vs el explosivo Quantex 73.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se concluye que mediante la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 se logra reducir el tamaño de fragmentos de mineral a una granulometría requerida por planta concentradora con un P80 equivalente a 2.36 pulgadas y un porcentaje pasante de finos menores a una pulgada igual 52.49 %, según registro de VOD se evidencia incremento de 1172 m/s en la velocidad de detonación en la columna explosiva.

Se comprobó que la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimiza en un 10.5% el consumo de explosivo por metro lineal en comparación de la densidad de carga lineal del Slurrex Q, se debe considerar que para obtener este resultado se consideró 0.2% de nitrito de sodio, tiempo de gasificación de 25-30 min y densidad final del Quantex 73 igual a 1.10 gr/cm³; datos obtenidos en las condiciones geológicas de la fase 2 del tajo Toromocho - Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.

La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 logra reducir le emisión de gases nitrosos en la voladura del nivel 3 al nivel 1 de acuerdo a la escala de rango visual de gases nitrosos implementado por AEISG Australian Explosives Industry and Safety Group (Grupo Australiano de Seguridad e Industria de Explosivos). No se realizó el cálculo de balance de oxígeno debido a que la formula del Quantex 73 es un secreto comercial de la empresa Exsa.

6.2 Recomendaciones

La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 es recomendable para voladura de terrenos duros, con presencia de agua, donde se requiera obtener buenos resultados en términos de fragmentación de material según requerimiento de planta concentradora, es recomendable para distintos tipos de terreno debido a su alto rango de densidades, debido a sus componentes el Quantex 73 brinda una alta velocidad de detonación, lo que directamente está relacionada con mayor poder rompedor y mayor capacidad de fragmentación, se recomienda controlar el factor de carga de acuerdo a diseño de asistencia técnica.

Para el correcto uso de la mezcla explosiva Quantex 73 se recomienda, realizar la correcta dosificación de los componentes Emulsión Q, Nitrato de amonio Quantex y nitrito de sodio, se debe verificar que el camión fabrica esté debidamente calibrado, es recomendable realizar la toma de densidades a partir del segundo taladro ya que la mezcla en ese punto llega a ser homogénea, para verificar el esponjamiento se debe esperar de 25 a 30 minutos, con la wincha verificar la longitud de taco esperada y proceder al tapado de taladros.

El uso de la mezcla explosiva Quantex es recomendable para aminorar la emisión de gases nitrosos color naranja/rojo en la voladura de rocas de Cia Minera Chinalco, puede variar por las condiciones geológicas, presencia de agua, incorrecto primado de taladros, agua muy fría $<5^{\circ}$ C o hielo, balance de oxígeno positivo, se recomienda que el camión fabrica esté correctamente calibrado, realizar buenas prácticas de carguío con taladros con presencia de agua (bombeable en vez de vaciable).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, García Andrés Alejandro. 2016. *Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el abra*. Universidad De Chile, SANTIAGO DE CHILE, Ed. Universidad De Chile, Chile : 2016.

—. 2016. repositorio.uchile.cl. *repositorio.uchile.cl*. [En línea] UNIVERSIDAD DE CHILE, 2016. [Citado el: 01 de Octubre de 2020.] <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139156/Optimizacion-de-parametros-de-tronadura-en-funcion-de-explosivos-de-alta-energia.pdf?sequence=1>.

Alcocer, Ramos Noe Felipe. 2013. *alicia.concytec.gob.pe. alicia.concytec.gob.pe*. [En línea] Iniversidad Nacional de Ingenieria, 2013. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_b8c114b572c045768a4ca662c45c1ba6#:~:t=ext=La%20emulsi%C3%B3n%20gasificada%2C%20es%20una,otros%20explosivos%2C%20por%20sus%20caracter%C3%ADsticas..

Armijos, Arteaga Oscar Alexander y Quinte, León Yasmin Alexandra. 2016. *Optimización del método de arranque por voladura en la mina San Guillermo, recinto Petrillo, provincia del Guayas*". Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador : 2016.

Bernaola, Alonso José, CASTILLA, gómez Jorge y HERRERA, Herbert Juan. 2013. *oa.upm.es. oa.upm.es*. [En línea] Instituto Tecnológico Superior de Ingenieros de Minas Madrid, 2013. [Citado el: 02 de Octubre de 2020.] http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf.

Berto, Zamora Alex Nestor. 2019. *repositorio.unsaac.edu.pe. repositorio.unsaac.edu.pe*. [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, 2019. [Citado el: 01 de Octubre de 2020.] http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4608/253T20190578_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Camiper. 2019. *camiper.com. camiper.com*. [En línea] Camiper, 31 de Octubre de 2019. [Citado el: 05 de Octubre de 2020.] <https://camiper.com/temppominero/tipos-voladura-y-perforacion-minera-especializacion/>.

Cao, Rodríguez Mauricio. 2016. *www.indumil.gov.co. www.indumil.gov.co*. [En línea] Enaex, Febrero de 2016. [Citado el: 02 de Octubre de 2020.] <https://www.indumil.gov.co/wp-content/uploads/2016/02/Emulsiones-Encartuchadas.pdf>.

Chugá, Pozo Alex Ricardo. 2017. 200.12.169.19/bitstream. 200.12.169.19/bitstream. [En línea] UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Junio de 2017. [Citado el: 05 de Octubre de 2020.] <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10417/1/T-UCE-0012-29.pdf>.

Condori, Castro Samuel. 2015. repositorio.unsa.edu.pe. *repositorio.unsa.edu.pe*. [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE, 2015. [Citado el: 05 de Octubre de 2020.] <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/154/B2-M-18207.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Eadic. 2019. www.eadic.com. *www.eadic.com*. [En línea] EADIC, 22 de Noviembre de 2019. [Citado el: 17 de Octubre de 2020.] <https://www.eadic.com/voladuras-parametros-de-diseno/>.

Enrique, Rubio Aldo Casali. 2020. *Seminario minería y metalurgia tema # 11 : Tronaduras en Minería a Cielo Abierto*. [Diapositivas] Santiago de Chile. : Universidad de Chile, 2020.

Exsa. 2020. *Manual Practico de Voladura*. Madrid : Exsa, 2020.—. 2020. www.exsa.net. *www.exsa.net*. [En línea] Exsa, 2020. [Citado el: 05 de Octubre de 2020.] <https://www.exsa.net/es/productos/quantex-73>.

Famesa. 2020. www.famesa.com.pe. *www.famesa.com.pe*. [En línea] Famesa, 2020. [Citado el: 03 de Octubre de 2020.] <http://www.famesa.com.pe/productos/sistemas-de-iniciacion/fulminante-comun-fulmesa/>.

Gaona, Gonzales Aderling Jesus. 2015. repositorio.unp.edu.pe. *repositorio.unp.edu.pe*. [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA, 2015. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/963/MIN-GAO-GON-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Guzmán, Montalván Juan Carlos. 2018. alicia.concytec.gob.pe. *alicia.concytec.gob.pe*. [En línea] CONCYTEC, 2018. [Citado el: 01 de Octubre de 2020.] https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_2e7664188bff87406783609852ff2699.

Harseim. 2020. obtienearchivo.bcn.cl. *obtienearchivo.bcn.cl*. [En línea] TEC HARSEIM S.A.I.C., 2020. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/73598/2/276017.pdf&origen=BDigital#:~:text=El%20detonador%20el%C3%A9ctrico%20es%20aquel,1%3F>.

J., López. 1987. *MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS*. ESPAÑA : INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1987.



Llacma, Llallacachi Oscar Magno Jesus. 2017. repositorio.unsa.edu.pe. repositorio.unsa.edu.pe. [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN, 2017. [Citado el: 01 de Octubre de 2020.] <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2988/MIllllo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Lujan, Ojeda Andersson. 2017. es.slideshare.net. es.slideshare.net. [En línea] 8 de Abril de 2017. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] <https://es.slideshare.net/anderssonlujanojeda/diseo-de-malla-de-perforacin#:~:text=ESPACIAMIENTO%20Es%20la%20distancia%20de%20taladro%20a%20taladro.&text=EL%20NUMERO%20DE%20TALADROS%20Para,quemado%2C%20formado%20por%20taladros%20paralelos..>

Mamani, Challco Percy. 2019. *OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN Y DISEÑO DE MALLA POR ALTERACIÓN EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DE U.E.A. VALERIA – ANABI S.A.C.* [Repositorio] Puno : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, 2019.

Manriquez, Nuñez Francisco Gonzalo y Valenzuela, Polanco Benjamin Andres. 2019. *Implementacion de explosivo vistan 200si en tronaduras de produccion para mejora de fragmentacion de roca.* Universidad De Atacama, Atacama, Chile : Ed. Universidad De Atacama, 2019.

Minem. 1995. www.minem.gob.pe. www.minem.gob.pe. [En línea] MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, septiembre de 1995. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/perforacion.pdf>.

Orozco. 2011. ocw.unican.es. ocw.unican.es. [En línea] Fundamentos de Química., 2011. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1599/course/section/2057/PA_6.pdf.

Raing. 2020. diccionario.raing.es/. diccionario.raing.es/. [En línea] Raing, 2020. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] <http://diccionario.raing.es/es/lema/sobreperforaci%C3%B3n#:~:text=Definici%C3%B3n%3A,produci%C3%A9ndose%20una%20p%C3%A9rdida%20del%20testigo..>

Romero, Paucar Royer. 2016. repositorio.uncp.edu.pe. repositorio.uncp.edu.pe. [En línea] UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2016. [Citado el: 01 de Octubre de 2020.]



<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3897/Romero%20Paucar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Romero, Royer. 2016. royer92voladura.blogspot.com. *royer92voladura.blogspot.com*. [En línea] Noviembre de 2016. [Citado el: 02 de Octubre de 2020.] <http://royer92voladura.blogspot.com/2016/11/teoria-de-voladura-fragmentacion-de-la.html>.

Ryan. 2020. www.docsity.com. *www.docsity.com*. [En línea] Universidad Politecnica de Madrid, 13 de Abril de 2020. [Citado el: 18 de Octubre de 2020.] <https://www.docsity.com/es/factor-de-carga-en-mineria/5426586/>.

Sinargeomin. 2018. www.sernageomin.cl. *www.sernageomin.cl*. [En línea] SINARGEOMIN, Agosto de 2018. [Citado el: 01 de octubre de 2020.] https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G3_ManejoExplosivos.pdf.

Sonami. 2016. www.sonami.cl. *www.sonami.cl*. [En línea] 06 de Marzo de 2016. [Citado el: 05 de Octubre de 2020.] <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>.

Unam. 2016. www.ptolomeo.unam.mx:8080. *www.ptolomeo.unam.mx:8080*. [En línea] Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2016. [Citado el: 17 de Octubre de 2020.] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/482/16/A16.pdf>.

Uson. 2016. tesis.uson.mx. *tesis.uson.mx*. [En línea] Universidad de Sonora, 2016. [Citado el: 02 de Octubre de 2020.] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11846/Capitulo3.pdf>.

Yana, Yana Francisco. 2017. *Evaluación del agente explosivo quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de los costos de voladura en tajo de la mina Toquepala*. [Tesis.] Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2017.



ANEXOS



ANEXO I MATRIZ DE CONSISTENCIA

“APLICACIÓN DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73 PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA PRIMARIA EN LA FASE 2 DEL TAJO TOROMOCHO - CIA MINERA CHINALCO MOROCOCHA JUNÍN 2020”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo la aplicación de la Mezcla Explosiva Quantex 73 optimizará la Voladura Primaria en la fase 2 del tajo Toromocho - Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar en qué medida la aplicación de la Mezcla Explosiva Quantex 73 optimizará la Voladura Primaria en la fase 2 del tajo Toromocho - Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La aplicación de la Mezcla Explosiva Quantex 73 optimiza la Voladura Primaria de la fase 2 del tajo Toromocho en la unidad minera Chinalco Morococha Junín 2020.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX.73</p>	<p>DIMENSIÓN (1) Agente Explosivo Indicadores: 1.- Densidad inicial 2.- Densidad final 3.-Tiempo de gasificación 4.- VOD 4.-Presion de detonación</p>
<p>Problema específico</p> <p>¿Cómo la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la fragmentación en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?</p> <p>¿En qué medida la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la densidad de carga lineal en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?</p> <p>¿Cómo la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la emisión de gases nitrosos en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020?</p>	<p>Objetivos específico</p> <p>Definir como la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la fragmentación en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.</p> <p>Analizar en qué medida la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la densidad de carga lineal en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.</p> <p>Determinar como la aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimizará la emisión de gases nitrosos en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.</p>	<p>Hipótesis específico</p> <p>La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimiza la fragmentación en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.</p> <p>La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimiza la densidad de carga lineal en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020.</p> <p>La aplicación de la mezcla explosiva Quantex 73 optimiza la emisión de gases nitrosos en la voladura primaria de la fase 2 del tajo Toromocho- Cia minera Chinalco Morococha Junín 2020</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>VOLADURA PRIMARIA</p>	<p>DIMENSIÓN (2) Perforación Indicadores: 5.- Numero de taladros 6.- Burden 7.-Espaciamiento 8.- Diámetro del taladro 9.- Longitud de taladro 10.- Sobreperforación</p> <p>DIMENSIÓN (3) Voladura Indicadores 11.-Malla de voladura 12.-Longitud de taco 13.-Carga de columna 14.-Factor de Carga 15.-Densidad de carga lineal 16.-Accesorios de voladura 17.-Emisión de gases 18.-P80 (diámetro de fragmentación)</p>

ANEXO II REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 40 — Polvorín de emulsión matriz y nitratos.



Figura 41 — Malla de perforación lista para realizar carguío.



Figura 42 — Malla de perforación lista para realizar carguío



Figura 43 — Camión fábrica transportador de la mezcla explosiva Quantex 73



Figura 44 — Taladros con sus respectivos accesorios de voladura



Figura 45 — Tapado de taladros utilizando mini cargador



Figura 46 — Mezcla explosiva iniciando el proceso de gasificación

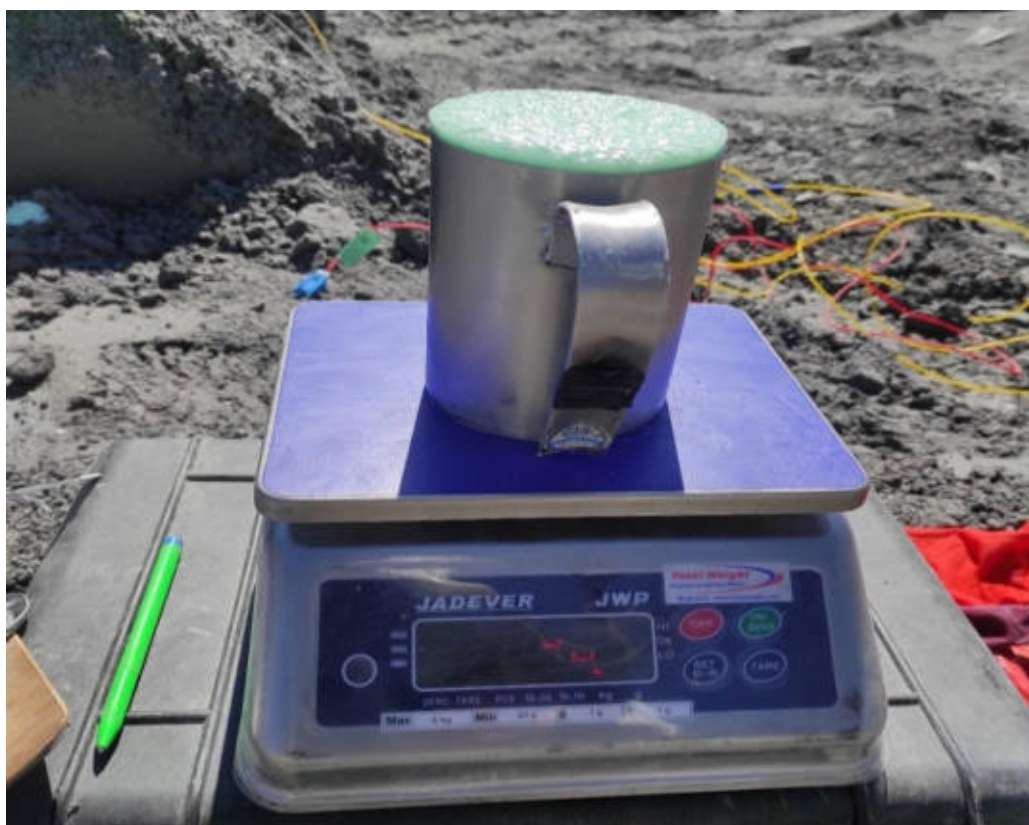


Figura 47 — Quantex 73 con mayor volumen reduciendo así su densidad



Figura 48 — Taladro 12 ¼” Listo para carguío



Figura 49 — Taladros cargados con mezcla explosiva Quantex 73



Figura 50 — Vista panorámica de equipos de perforación y carguío



Figura 51 — Vista panorámica polvorín de emulsión matriz y nitratos



Figura 52 — Detonación de proyecto de voladura con iniciación electrónica