

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

Aplicación de Tecnología Quantex en Tajo Ferrobamba para optimizar costos de voladura
empresa Exsa S.A. minera Las Bambas - 2016

Presentado por:

Constantino Huamani Barrios

Para optar el Título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2023



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



TESIS

“APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA QUANTEX EN TAJO FERROBAMBA PARA
OPTIMIZAR COSTOS DE VOLADURA EMPRESA EXSA S.A. MINERA LAS
BAMBAS - 2016”

Presentado por **CONSTANTINO HUAMANI BARRIOS**, para optar el Título de:
INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el 02 de julio del 2019, ante el jurado evaluador:

Presidente:



Ing. José A. Cárdenas Catalán

Primer Miembro:



Ing. Giovanni Frisancho Triveño

Segundo Miembro:



Ing. Walquer Huacani Calsin

Asesor:



Ing. Edgar C. Huacac Farfan

Agradecimiento

Al señor mi Dios por brindarme la maravillosa oportunidad de vivir y a mis padres por haberme sabido guiar en este largo camino, a mis hermanos Alcides, Elesván, Roberto y Vilma, quienes como mayores supieron tomar las riendas en los momentos más difíciles y supieron guiarnos, a toda mi familia por creer en mí y darme fortaleza para crecer día a día, a mis tíos por su apoyo incondicional, a mis amigos por permitirme compartir experiencias de vida, a mis profesores por su constante apoyo y haber compartido sus conocimientos y todos a los que de una u otra forma supieron extender sus brazos para forjar la carrera que empiezo, les estaré eternamente agradecido



Dedicatoria

Esta tesis se lo dedico en especial a la memoria de mi madre Paulina por todo el esfuerzo y sacrificio que hizo, para brindarme todo el apoyo incondicional y la confianza en cada momento de mi vida.

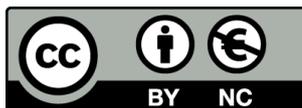
A mi padre Néstor y a mi hermano por todo el esfuerzo y sacrificio que hizo, para brindarme todo el amor y la comprensión, el apoyo incondicional y la confianza en cada momento de mi vida y sobre todo en mis estudios universitarios.



“Aplicación de Tecnología Quantex en Tajo Ferrobamba para optimizar costos de voladura
empresa EXSA S.A. minera Las Bambas - 2016”

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	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 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.....	6
2.3.1 Variable independiente.....	6
2.3.2 Variable dependiente.....	6
CAPÍTULO III	8
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
3.1 Antecedentes	8
3.2 Generalidades	9
3.2.1 Ubicación geográfica – política de Minera las Bambas	9
3.2.2 Ubicación Política	9
3.2.3 Ubicación Geográfica.....	10
3.2.4 Accesibilidad	12
3.2.5 Clima	12
3.2.6 Topografía	12
3.2.7 Recursos	13
3.1.7.1 Flora.....	13
3.1.7.2 Fauna.....	13
3.2.8 Geología	14



3.2.8.1	Geología regional	14
3.2.8.2	Geología local.....	14
3.2.8.3	Geología estructural	18
3.2.9	Estimación de Reservas de proyecto Las Bambas	19
3.3	Marco teórico	20
3.3.1	Explosivos	20
3.3.1.1	Combustión	20
3.3.1.2	Deflagración	21
3.3.1.3	Detonación.....	21
3.3.2	Clasificación de explosivos	21
3.3.2.1	Explosivos nucleares	21
3.3.2.2	Explosivos químicos.....	21
3.3.3	Agentes de voladura acuosos	22
3.3.3.1	Explosivos hidrogel.....	22
3.3.3.2	Emulsiones	22
3.3.3.3	Agentes mixtos (emulsiones/anfo o pesados)	23
3.3.3.4	Características y propiedades de los explosivos.....	24
3.3.3.5	Características prácticas de los explosivos.....	26
3.3.3.6	Voladura de rocas	27
3.3.3.7	Voladura en superficie.....	28
3.3.3.8	Voladura controlada	29
3.3.3.9	Seguridad en el uso de explosivos en voladura	29
3.3.3.10	Gases nitratos en la voladura de rocas.....	33
3.3.4	Tecnología de Quantex.....	34
3.3.5	Los agentes de voladura y sus mezclas	35
3.3.5.1	Mezcla explosiva (ME)	35
3.3.5.2	Anfo pesado (AP).....	35
3.3.5.3	Anfo pesado Gasificado (APG).....	35
3.3.5.4	Mezcla explosiva quantex (MEQ).....	35
3.3.5.5	Nitrato de amonio quantex	35
3.3.5.6	Solución gasificante nitrato de sodio.....	36
3.3.5.7	Obtención de la mezcla explosiva quantex	37
3.3.6	Escala de humos según la mina las Bambas.....	39
3.4	Marco conceptual	40
CAPÍTULO IV.....		42
METODOLOGÍA.....		42
4.1	Tipo y nivel de investigación	42
4.2	Diseño de la investigación.....	42

4.3	Población y muestra	42
4.4	Procedimiento.....	43
4.1	Técnica e instrumentos	43
CAPÍTULO V		44
RESULTADOS Y DISCUSIONES		44
6.1	Análisis de los resultados	44
6.1.1	Descripción de la propuesta	44
6.1.2	Voladuras realizadas con Heavy Anfo	44
5.1.2.1	Reporte de voladura 3885 – 035 Tajo Ferrobamba.....	44
5.1.2.2	Reporte de voladura 3795 – 036 (Jahuapaylla baja) Tajo Ferrobamba.....	48
5.1.2.3	Reporte de voladura 3885 – 047 Mini Tajo Ferrobamba	52
5.1.2.4	Trabajos realizados con Heavy Anfo	54
5.1.2.5	Reporte de humos de los trabajos realizados con Heavy Anfo	55
6.1.3	Voladuras realizadas con Tecnología Quantex	56
5.1.3.1	Calibración del camión en campo	56
5.1.3.2	Control de densidad en campo	57
5.1.3.3	Voladuras realizadas con Tecnología Quantex	59
5.1.3.4	Tapado de taladros.....	66
5.1.3.5	Diseño de carga	67
5.1.3.6	Rendimiento de equipos de carguío	68
5.1.3.7	Trabajos realizados con Tecnología Quantex	69
6.2	Discusión de los resultados	71
6.3	Densidad de las mezclas explosivas.....	71
6.3.1	Heavy Anfo	71
6.3.2	Tecnología Quantex (MEQ).....	71
6.4	Factor de potencia de las mezclas explosivas	72
6.4.1	Heavy Anfo	72
6.4.2	Tecnología Quantex (MEQ).....	72
6.5	Velocidad de Detonación (VOD).....	73
6.5.1	Heavy Anfo	73
6.5.2	Tecnología Quantex (MEQ).....	73
5.6.3.1	Hoja de cálculo	74
6.5.3	Datos de campo	75
6.5.4	Calculando carga lineal	76
6.5.5	Factor de carga	76
6.5.6	Factor de potencia	76
6.5.7	Presión de Detonación.....	77
6.5.8	Análisis Técnico Económico entre Heavy Anfo y Tecnología Quantex.....	78

6.6	Registro de humos	80
6.6.1	Heavy Anfo	80
6.6.2	Tecnología Quantex	80
6.7	Contrastación de hipótesis.....	80
6.7.1	Hipótesis estadístico (s).....	80
5.7.3.1	Hipótesis estadístico nula y alterna	80
6.7.2	Análisis estadístico mediante el Statgraphics Centurión	81
6.7.3	Cálculo de correlación.....	81
5.7.3.2	Resumen estadístico mediante Statgraphics Centurión	81
6.7.4	Comprobación del cálculo de la correlación de Pearson mediante el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)	82
6.7.5	Análisis, interpretación y discusión de los resultados costo de voladura.....	83
6.7.6	Para el análisis estadístico de emisión de gases nitrosos.....	85
5.7.6.1	Hipótesis Estadístico nula y alterna.....	85
5.7.6.2	Análisis estadístico mediante t de Student.	85
6.7.7	Análisis, interpretación y discusión de los resultados costo de voladura.....	86
CAPÍTULO VI.....		87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		87
9.1	Conclusiones	87
9.2	Recomendaciones.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		89
ANEXOS.....		91

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	7
Tabla 2 — Coordenadas de concesión minera Las Bambas.....	11
Tabla 3 — Área de la concesión minera Las Bambas	11
Tabla 4 — Accesibilidad a minera Las Bambas.....	12
Tabla 5 — Reservas de recursos minerales Las Bambas	19
Tabla 6 — Estimación de reserva mineral Las Bambas	20
Tabla 7 — Escala de Humos elaborado por MMG – Las Bambas.....	40
Tabla 8 — Toma de densidad en campo	44
Tabla 9 — Consumo de explosivos proyecto 3885 – 035	45
Tabla 10 — Datos del disparo proyecto 3885 – 035	46
Tabla 11 — Datos de densidades del proyecto 3795 – 036.....	49
Tabla 12 — Consumo de agentes de voladura proyecto 3795 – 036	50
Tabla 13 — Datos de voladura proyecto 3795 – 036	50
Tabla 14 — Parámetros de voladura proyecto 3795 – 036	50
Tabla 15 — Consumo de explosivo por disparo proyecto 3885 – 047	53
Tabla 16 — Datos de disparo proyecto 3885 – 047	53
Tabla 17 — Datos de los disparos realizados con Heavy Anfo	55
Tabla 18 — Reporte de gases nitrosos de los trabajos realizados con Heavy Anfo.....	56
Tabla 19 — Consumo de explosivo de proyecto 3765 – 011.....	59
Tabla 20 — Consumo de explosivo de proyecto 3765 – 011.....	60
Tabla 21 — Toma de densidades de proyecto 3765 - 011	62
Tabla 22 — Consumo de accesorios de voladura.....	64
Tabla 23 — Datos de las voladuras realizadas con Tecnología Quantex.....	69
Tabla 24 — Resumen de los gases nitrosos de los trabajos realizados con Tecnología Quantex.....	70
Tabla 25 — Densidades de mezclas explosivas de Heavy Anfo y Tecnología Quantex	71
Tabla 26 — Factor de potencia de mezclas explosivas de Heavy Anfo y Tecnología Quantex	72
Tabla 27 — Datos de campo	75
Tabla 28 — Comparativo de costos de mezcla explosiva por taladro.....	78
Tabla 29 — Data de análisis para calcular correlación	81
Tabla 30 — Resumen estadístico	81
Tabla 31 — Nivel de confianza al 95%	82



Tabla 32 — Resumen de r de Pearson y p valor.....	82
Tabla 33 — Resumen estadístico con SPSS.....	82
Tabla 34 — Escala de valores del coeficiente de correlación	83
Tabla 35 — Data de Análisis de humos	85
Tabla 36 — Resumen estadístico con t de Student.....	85



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Ubicación geográfica minera Las Bambas.....	9
Figura 2 — Comunidades asentadas en el área del proyecto Las Bambas	10
Figura 3 — Concesión minera Las Bambas	11
Figura 4 — Columna estratigráfica de Cordillera Oriental	15
Figura 5 — Fotografía de Tajo Ferrobamba (mirando al Norte).....	15
Figura 6 — Alteraciones Tajo Ferrobamba.....	17
Figura 7 — Modelo en 3D geológico del Tajo Ferrobamba	18
Figura 8 — Metalogénia del Perú, principales franjas mineralizadas.....	19
Figura 9 — Evolución de la mezcla explosiva.....	34
Figura 10 — Mezcla Explosiva Quantex (MEQ).....	35
Figura 11 — Nitrato de amonio Quantex (MEQ)	36
Figura 12 — Nitrito de sodio en la mezcla explosiva Quantex.....	36
Figura 13 — Obtención de la mezcla explosiva sin nitrito de sodio.....	37
Figura 14 — Reacción de la mezcla explosiva con nitrito.....	37
Figura 15 — Reacción de Gasificación (Esponjamiento) de mezcla.....	38
Figura 16 — Rango de densidades de carguío de la mezcla explosiva.....	38
Figura 17 — Carguío selectivo de acuerdo al tipo de roca.	39
Figura 18 — Carguío de taladros con Quantex	39
Figura 19 — Diseño de carga proyecto 3885 – 035.....	46
Figura 20 — La secuencia de salida en “V” proyecto 3885 – 035.....	47
Figura 21 — Pos voladura proyecto 3885 – 035.....	47
Figura 22 — Voladura de proyecto 3885 – 035	48
Figura 23 — Diseño de carga proyecto 3795 – 036.....	51
Figura 24 — Pos voladura proyecto 3795 – 036.....	51
Figura 25 — Voladura proyecto 3795 – 036.....	52
Figura 26 — Diseño de carga proyecto 3885 - 047.....	54
Figura 27 — Voladura proyecto 3885 – 047.....	54
Figura 28 — Calibración de mezclador en campo	57
Figura 29 — Control de densidades en campo.....	57
Figura 30 — Gasificación de la mezcla explosiva Quantex.....	58
Figura 31 — Esponjamiento de mezcla explosiva Quantex en mineral.....	58
Figura 32 — Esponjamiento de mezcla explosiva Quantex en desmonte.....	58
Figura 33 — Diseño de carga proporcionado por la mina	60

Figura 34 — Fotografía Pre voladura de proyecto 3765 – 011	61
Figura 35 — Evaluación de humos proyecto 3765 – 011	61
Figura 36 — Ubicación de equipos para medición de VOD.....	63
Figura 37 — Diseño de carga triple y doble iniciación.....	63
Figura 38 — Curva de gasificación de mezcla explosiva Quantex.....	64
Figura 39 — Comportamiento de VOD régimen contante ME Quantex.....	65
Figura 40 — Análisis de granulometría en software Split Engineering.....	65
Figura 41 — Análisis de granulometría y representación gráfica	66
Figura 42 — Pos voladura de proyecto 3855 – 021	66
Figura 43 — Tapado de taladro con mini cargador.....	67
Figura 44 — Diseño de carga para mezcla explosiva Quantex.....	67
Figura 45 — Tabla de rendimiento de la pala	68
Figura 46 — Velocidad de detonación de Heavy Anfo	73
Figura 47 — Velocidad de onda de detonación de Tecnología Quantex.....	73
Figura 48 — Representación gráfica de correlación con SPSS	83
Figura 49 — Representación gráfica de correlación con Excel	84
Figura 50 — Representación gráfica en Excel de resultados obtenidos de humos en voladuras.....	86
Figura 51 — Secuencia de voladura 3855 – 050 Mini Tajo Ferrobamba	92
Figura 52 — Secuencia de voladura proyecto 3765 – 011.....	92
Figura 53 — VOD en la columna de taladro proyecto 3855 – 050 Mini Tajo Ferrobamba ...	93
Figura 54 — Humos de proyecto 3840 – 030 Mini Tajo Ferrobamba.....	93
Figura 55 — Calibración del camión mezclador en proyecto 3765 – 011.....	94
Figura 56 — Camión Komatsu 930E	94
Figura 57 — Pala eléctrica realizando carguío en proyecto 3765 – 011 Jahuapaylla Baja....	95
Figura 58 — Tajo Ferrobamba (mirando al Norte)	95

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las operaciones mineras se desarrollan empleando tecnologías de punta para ello en áreas de perforación y voladura trabajar con qué tipo de explosivo es determinante. Para alcanzar mayores beneficios y utilidades, esto influye a la oferta y la demanda que poseen los precios de los metales.

Por lo tanto, todos estos procesos tienen un costo elevado de producción que involucra diferentes áreas en las operaciones mineras, en área de voladura se trabaja con diferentes mezclas explosivas como Anfo pesado, emulsiones gasificable y otros, que de alguna otra forma ha sido mejorado en su momento.

En el área de Perforación y Voladura (P&V) de Minera Las Bambas, busca hacer todas las mejoras posibles, en los procesos operativos sin alterar la productividad de los equipos de minado. Por lo que, la idea fundamental es trabajar en terreno en el Tajo Ferrobamba aplicando Tecnología Quantex para reducir costos de voladura y al mismo tiempo reducir al mínimo la emisión de gases nitrosos en el proceso de voladura de esta forma realizar comparaciones con los resultados actuales.

Este nuevo tipo de explosivos de alta energía a utilizar llamados, Tecnología Quantex, son nuevos productos explosivos a granel que la empresa Exsa S.A. ha desarrollado para el mercado. El primero corresponde al tipo ANFO pesado y el segundo a emulsiones gasificable. Estos productos proporcionan altos grados de energía, muy superior al cualquier explosivo a granel existente. Fueron especialmente diseñados para lograr altos grados de fragmentación, cuyo propósito principal es alcanzar mayores contenidos de finos en las voladuras, para así aumentar el desempeño de los procesos de minado (EXSA S.A., 2016).



RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica, económica, operativa y mitigación de gases nitrosos, de un nuevo producto denominado Tecnología Quantex, componente principal nitrato Quantex.

Este nuevo producto es una mezcla explosiva gasificable de mejor calidad y menor costo con referencia de Heavy Anfo que se utiliza actualmente. La principal ventaja y motivo de investigación es su capacidad de gasificar por la adición de un agente químico. Ello permite variar su densidad y como consecuencia variar la velocidad de detonación, poder rompedor y otras propiedades, dependiendo de las características del tipo de material.

Con este propósito, en el área de Perforación & Voladura se diseñó un plan para determinar y cuantificar las posibles ventajas que presenta el nuevo producto. Se inició con la instalación de los equipos para gasificar en los camiones fábrica, posteriormente se transportó la mezcla explosiva Quantex a la mina y finalmente se hicieron las pruebas in situ para medir sus parámetros antes, durante y después de la voladura. Estas pruebas son motivo del presente estudio.

El parámetro que se midió antes de la voladura fue la densidad, un aspecto crítico para determinar los costos y la calidad del explosivo. Durante la voladura, se midió la velocidad de detonación que es el mejor parámetro que representa la calidad del explosivo en cuanto a poder rompedor. Finalmente, post voladura se analizó la fragmentación del material, presencia de humos y rendimiento de los equipos de minado.

Tras realizar las pruebas mencionadas, se hizo el análisis correspondiente y se determinó que el producto tiene ventajas desde el punto de vista económico y operativo. Se logró un ahorro importante sin afectar el rendimiento de los equipos de minado, además de disminuir la generación de gases nitrosos y también por la facilidad de manipulación.

Palabras clave: *Tecnología quantex, costos de voladura, tajo Ferrobamba.*



ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the technical, economic, operational and mitigation of nitrous gases, a new product called Quantex Technology, the main Quantex nitrate component.

This new product is a gasificable explosive mixture of better quality and lower cost with Heavy Anfo reference that is currently used. The main advantage and reason for research is its ability to gasify by the addition of a chemical agent. This allows to vary its density and as a consequence to vary the speed of detonation, breaker power and other properties, depending on the characteristics of the type of material.

For this purpose, in the area of Drilling & Blasting a plan was designed to determine and quantify the possible advantages presented by the new product. It started with the installation of the equipment to gasify in the factory trucks, then the Quantex explosive mixture was transported to the mine and finally the on-site tests were done to measure its parameters before, during and after the blasting. These tests are the reason for the present study.

The parameter that was measured before the blasting was the density, a critical aspect to determine the costs and quality of the explosive. During the blasting, the detonation speed was measured, which is the best parameter that represents the quality of the explosive in terms of breaking power. Finally, post-blasting analyzed the fragmentation of the material, the presence of fumes and the performance of the mining equipment.

After carrying out the aforementioned tests, the corresponding analysis was made and it was determined that the product has advantages from the economic and operational point of view. Significant savings were achieved without affecting the performance of mining equipment, in addition to reducing the generation of nitrous gases and also the ease of handling.

Keywords: *Quantex technology, blasting costs, Ferrobamba pit.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La actividad minera involucra diferentes etapas y procesos, para lo cual, estas compañías mineras para cumplir con su normal desarrollo, solicitan el apoyo estratégico de las empresas contratistas. Tomando en cuenta diferentes parámetros o ventajas como costos, impacto al medio ambiente, experiencia laboral entre otros. Hoy en día la industria minera se desarrolla acorde al avance de la tecnología, por tanto, en todo momento está a la expectativa de innovar sus diferentes etapas y áreas. En nuestro país el sector minero tiene una importante contribución en la generación de empleo y desarrollo. Se puede observar en nuestro país, importantes empresas líderes a nivel mundial, como es el caso de MMG Ltd. estas empresas son líderes a nivel mundial por tanto contratan como socio estratégico a la empresa que está acorde del avance de la tecnología. En operaciones mina tiene diferentes áreas, una de ellas es voladura en esta área el reto es cada vez más, las empresas contratistas para brindar servicio fabrican diferentes mezclas explosivas con el objetivo de reducir costos, mitigar el impacto al medio ambiente, reducir riesgos en seguridad. A la actualidad si bien es cierto se ha mejorado considerablemente tanto en costos como emisión de gases nitroso, pero se sigue teniendo problemas con respecto de emisión de gases nitrosos al medio ambiente, esto originada por el mal balance de oxígeno en la mezcla explosiva y presencia de agua en los taladros. La presente investigación, tuvo su origen en las siguientes razones:

Elevados costos de voladura en operaciones mina por el uso de mezclas explosivas heavy ANFO o ANFO Pesado, por la presencia de agua en los taladros se generan gases nitrosos que contaminan al medio ambiente en operaciones de mina Tajo Ferrobamba minera las Bambas 2016.

1.2 Enunciado del Problema

En un mundo caracterizado por rápidos cambios, la explotación de recursos minerales cada vez se les plantean problemas más difíciles que afectan no solo la organización si no que tienen impacto en los costos de producción generados por la voladura.

Por esto, cada vez las empresas proveedoras del área de voladura tendrán mayor necesidad de innovar y estar acorde al avance de la tecnología para lograr satisfacer el cliente, de esa forma garantizar permanencia en el mercado.



1.2.1 Problema general

¿De qué manera la aplicación de la Tecnología Quantex en la voladura del Tajo Ferrobamba mejorará los parámetros de voladura en la mina Las Bambas?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera la aplicación de la Tecnología Quantex en la voladura del Tajo Ferrobamba mejorará los parámetros de voladura en la mina Las Bambas?
- ¿De qué manera la Tecnología Quantex reducirá la emisión de gases nitrosos al medio ambiente en la voladura del Tajo Ferrobamba de la mina Las Bambas?

1.3 Justificación de la investigación

Las operaciones mineras está conformado por varias áreas y una de ellas es perforación y voladura, la voladura es una de las actividad muy importantes que se desarrolla a grandes magnitudes en minería tajo abierto, por tanto, se trabaja con camiones mezcladores que se encargan de mezclar los agentes de voladura, para ello se calibra los camiones mezcladores para cada agente de voladura para tener producto como heavy ANFO o ANFO pesado, esto por la presencia del agua y el mal balance de oxígeno en los taladros se genera gases nitrosos contaminando al medio ambiente. Por consiguiente las empresas contratistas encargados de voladura fabrican camiones mezcladores con el objeto de que la calibración se ha óptima, para lograr un buen balance de oxígeno y la emisión de gases nitrosos disminuya, pero estas mezcla explosivas sigue teniendo problema en taladros con agua y los costos son elevados porque no tienen capacidad de esponjar la mezcla explosiva, en este proyecto de tesis plantearemos un producto nuevo de voladura de nombre Tecnología Quantex de empresa Exsa S.A. que será probada en Tajo Ferrobamba minera las bambas ofreciendo las ventajas de reducción de costos de voladura en operaciones mina, mejor fragmentación y al mismo tiempo disminución de emisión de gases nitrosos al medio ambiente.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Mejorar los parámetros de voladura aplicando la Tecnología Quantex en el Tajo Ferrobamba mina Las Bambas.

2.1.2 Objetivos específicos

- Reducir los costos de voladura con la Tecnología Quantex en Tajo Ferrobamba.
- Reducir la emisión de gases nitrosos generados en la voladura, con Tecnología Quantex.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Aplicando la Tecnología Quantex en la voladura del Tajo Ferrobamba reduciremos los costos y emisión de gases nitrosos en la minera Las Bambas.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Obteniendo un esponjamiento adecuado de la mezcla explosiva Tecnología Quantex reduciremos los costos de voladura en el Tajo Ferrobamba de la mina Las Bambas.
- Dosificando adecuadamente el combustible reduciremos la emisión de gases nitrosos al medio ambiente con Tecnología Quantex.

2.3 Operacionalización de variables

2.3.1 Variable independiente

Tecnología Quantex.

2.3.2 Variable dependiente

Costos de la voladura.



Tabla 1 — Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variables	Indicadores	Escala de medición
Independiente	Tecnología Quantex	Densidad	g/cc
		Poder rompedor	%
		Velocidad de detonación	m/s
		Sensibilidad	%
Dependiente	Costos de voladura	Costos de voladura	\$/Tm
		Reducción de emisión de gases	%
		Granulometría de fragmentación	%
		Voladura secundaria	\$/Tm
		Mezcla explosiva inadecuada	%
		Calibración inadecuada del camión mezclador	%
		Fly rock a los accesos de minado	\$/Tm
		Mal balance de oxígeno	%
		Presencia de agua en los taladros	Units

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

El uso de explosivos en la explotación de los recursos minerales son muchas y muy variadas, estableciendo así una jerarquía existente en el mercado como: Heavy Anfo, emulsiones gasificadas y otros, pudiendo costear miles de dólares, hasta poder obtener explosivo de dominio público, este tipo de explosivos están diseñados específicamente para el entorno minero, desde pequeñas minería a gran minería, caracterizando por su alto precio en el mercado y también por su alto complejidad en su manipulación.

La utilización de estos explosivos ha venido mejorando progresivamente en todo aspecto como: manipulación, transporte, poder rompedor y entre otros. En gran minería a cielo abierto los trabajos que se realizan son en grandes tonelajes para ello han tenido que adecuarse o estar acorde al avance de la tecnología para cumplir los objetivos planificados a corto, mediano y largo plazo.

El explosivo como Heavy Anfo, ha sido una mejora en su momento, pudiendo realizarse trabajos a gran escala, usando camiones mezcladores para el carguío, con este explosivo se obtenía buenos resultados en lugares donde no había presencia de agua, en caso de presencia de agua se tenía problemas como emisión de gases nitros al medio ambiente y también por elevado costo.

La emulsiones gasificados, es una mezcla explosiva que ha disminuido considerablemente lo que es en costos de voladura gracias a que esta mezcla explosiva tiene la propiedad de esponjar, alcanzando alta velocidad de detonación, del orden de 5500 m/s, tiene alta resistencia al agua y baja probabilidad de producir gases nitrosos, pero tiene poca consistencia dentro del taladro y puede filtrarse por la fractura de las rocas y no resiste el peso del taco, para mejor la consistencia le agregan poliestireno, y esto ya también hace disminuir significativamente su potencia y sensibilidad.

Tecnología Quantex engloba toda la experiencia en ingeniería de explosivos y presenta una solución para cada necesidad de voladura, puede desempeñarse en variadas condiciones, entregando solo la energía requerida por el macizo rocoso. Presenta características de una emulsión gasificada y también de Heavy Anfo, en un estado intermedio tiene propias ventajas frente a sus predecesores.



3.2 Generalidades

3.2.1 Ubicación geográfica – política de Minera las Bambas

Minera Las Bambas se encuentran, entre los distritos de Challhuahuacho, Abombaba y Coyllurqui, en la provincia de Cotabambas y el distrito de Progreso en la provincia de Grau, región de Apurímac.

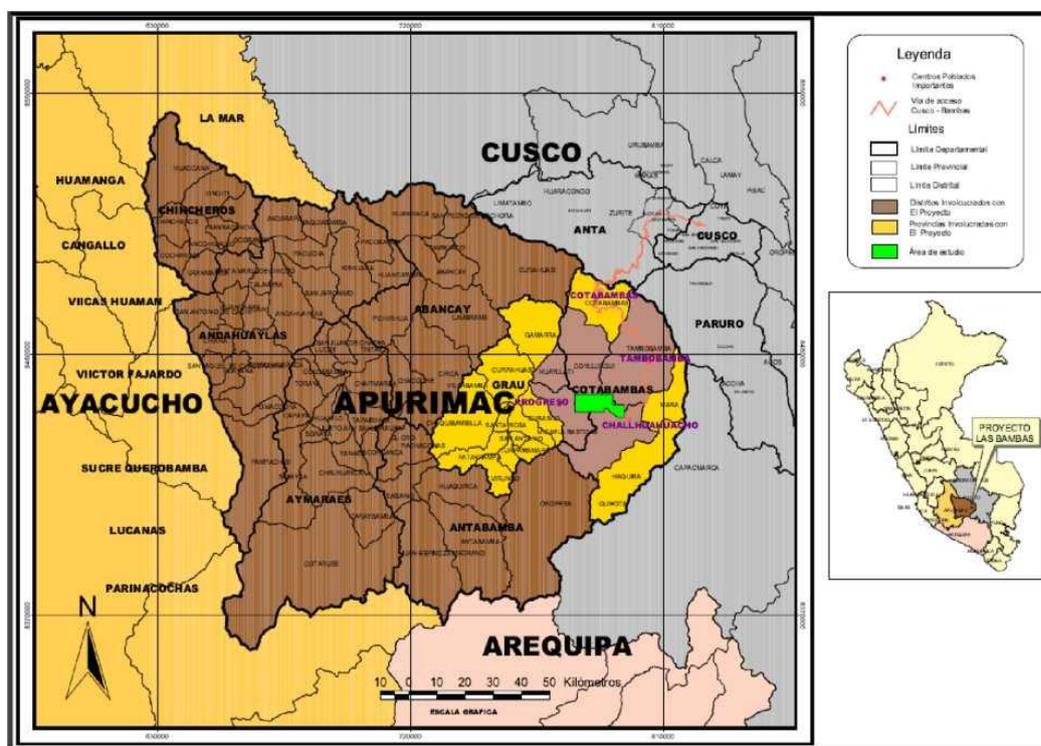


Figura 1 — Ubicación geográfica minera Las Bambas
 Extraído de D&E Desarrollo y Ecología SAC (2003)

3.2.2 Ubicación Política

Minera Las Bambas se encuentra, dentro de 19 comunidades. Las comunidades asentadas dentro del área de admisión de petitorios son: Fuerabamba, Huancuire, Chicñahui, Pamputa, Cconccacca, Chucuini, Pumamarca, Choquecca Antío, Manuel Seoane Corrales, Quehuira, Allahui, Asaccasi, Sorcco, Patrón Santiago, Progreso, Pallca Picosayhuas, Escohorno, Ccahuapirhua y Carmen Alto de Chalhuancho.

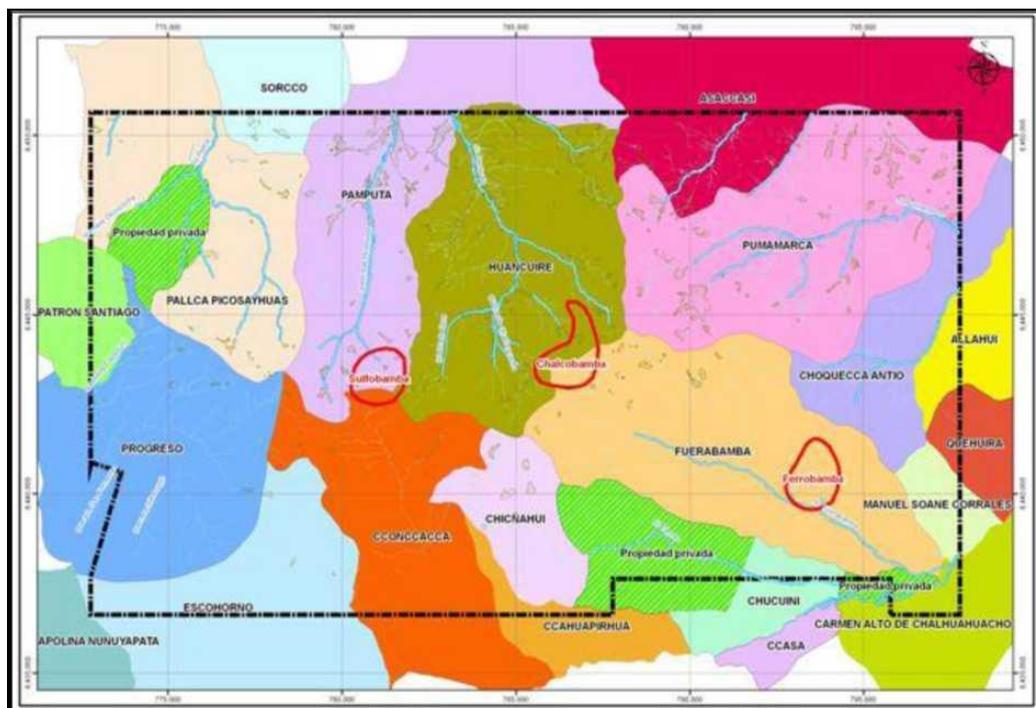


Figura 2 — Comunidades asentadas en el área del proyecto Las Bambas
Extraído de D&E Desarrollo y Ecología SAC (2003)

3.2.3 Ubicación Geográfica

Chalhuhahuacho es uno de los 6 distritos de la Provincia de Cotabambas ubicada en el departamento de Apurímac, bajo la administración del Gobierno regional de Apurímac, en el sur del Perú. En el distrito de Chalhuhahuacho se asentó la cultura Yanawara. De acuerdo al último censo nacional, el distrito de Chalhuhahuacho tiene una población de 7 321 habitantes.

Concesiones Minera

Minera Las Bambas cuenta con un derecho especial denominado "área de no admisión de petitorios" de 33,063 ha, dentro de la cual existen cuatro concesiones mineras que corresponden a Activos Mineros S.A.C. (antes Centromín Perú) que tienen una extensión total de 1,800 ha.

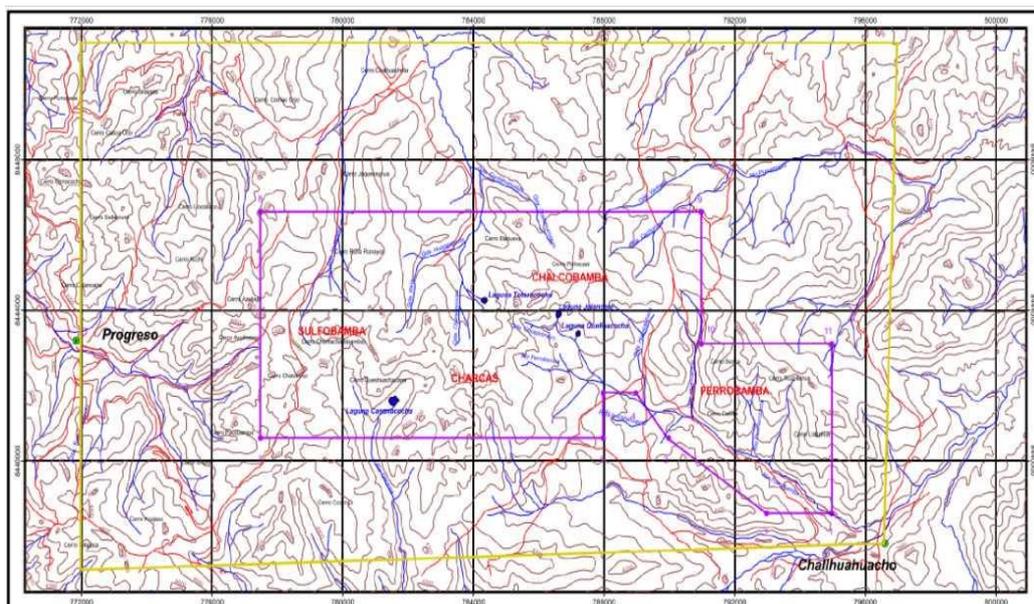


Figura 3 — Concesión minera Las Bambas
 Extraído de D&E Desarrollo y Ecología SAC (2003)

Tabla 2 — Coordenadas de concesión minera Las Bambas

COORDENADAS UTM: WGS84 :18 SUR		
VERTICE	NORTE	ESTE
1	8 430 500	796 000
2	8 438 500	794 000
3	8 440 500	791 000
4	8 441 700	790 000
5	8 441 700	789 000
6	8 440 500	789 000
7	8 440 500	778 500
8	8446 500	778 500
9	8 446 500	792 000
10	8 443 000	792 000
11	8 443 000	796 000

Extraído de D&E Desarrollo y Ecología SAC (2003)

Tabla 3 — Área de la concesión minera Las Bambas

Concesión	Área (ha)
Ferrobamba	400
Chalcobamba	600
Sulfobamba	400
Charcas	400
Total	1,800

Extraído de D&E Desarrollo y Ecología SAC (2003)

3.2.4 Accesibilidad

Minera Las Bambas se puede acceder por vía aérea y terrestre, desde la ciudad de Lima por vía aérea siguiendo el siguiente itinerario, así como también desde la ciudad de Abancay.

Tabla 4 — Accesibilidad a minera Las Bambas

RUTA 1	DISTANCIA	TIEMPO	VIA DE ACCESO	TIPO DE ACCESO
	(Km)	(Horas)		
Abancay - Cusco	208	4	Terrestre	Asfaltado
Cusco - Chalhuhahuacho	220	7	Terrestre	Carretera afirmada
Chalhuhahuacho - Las Bambas	15	0.5	Terrestre	Carretera afirmada
Total	443	11.5		
RUTA 2	DISTANCIA	TIEMPO	VIA DE ACCESO	TIPO DE ACCESO
	(Km)	(Horas)		
Abancay-Chuquibambilla	105	3.5	Terrestre	Asfaltado
Chuquibambilla - Chalhuhahuacho	80	3	Terrestre	Carretera afirmada
Chalhuhahuacho - Las Bambas	80	0.5	Terrestre	Carretera afirmada
Total	185	7		
RUTA 3	DISTANCIA	TIEMPO	VIA DE ACCESO	TIPO DE ACCESO
	(Km)	(Horas)		
Lima - Cusco	1165	1	Aérea	Asfaltado
Cusco - Las Bambas	235	0.5	Aérea	Carretera afirmada
Total	1400	1.5		

Extraído de MTC (2003)

3.2.5 Clima

(D&E Desarrollo y Ecología SAC., 2003), el clima de la región es variado. La presencia de la cadena central constituye un factor determinante en el modelamiento del clima, puesto que impide el paso de las nubes y genera su precipitación. De las 5 estaciones Meteorológicas cercanas al proyecto se ha tomado a la estación de Tambobamba por presentar características similares al área de estudio Para el año 2003 se reporta una Temperatura Media Anual de 13,6 C.

3.2.6 Topografía

(D&E Desarrollo y Ecología SAC., 2003), el área del proyecto presenta una topografía bastante irregular, caracterizada por cumbres, quebradas poco profundas, llanuras y laderas de relieve suave. Las cumbres más altas son el cerro

Chonta en Sulfobamba (4,682 msnm) y Pichacani en Chalcobamba (4,663 msnm); el relieve más bajo lo constituye las márgenes del Río Challhuahuacho (3,700 msnm).

Los relieves elevados y las superficies irregulares generalmente corresponden a afloramientos de calizas y rocas intrusivas y los relieves suaves corresponde a morrenas y rocas intrusivas de grano grueso; mientras que las llanuras están conformadas por sedimentos fluvio-glaciales en el sector norte de proyecto (Pamputa) y Noreste (Pumamarca), lo cual es propio de la Cordillera Oriental.

3.2.7 Recursos

3.1.7.1 Flora

(D&E Desarrollo y Ecología SAC., 2003), se identificaron 79 variedades de especies botánicas, agrupadas dentro de 37 familias diferentes, entre fanerógamas y criptógamas. Las dicotiledóneas son la categoría taxonómica más representada, con el 59,5 % (54 especies) del total de familias. Por otro lado las familias de las monocotiledóneas están presentes en un 10,8 % (12 especies). Entre las dicotiledóneas, la familia más representativa son las asteráceas con el 42,6 % de especies (23 especies) y entre las monocotiledóneas lo son las poáceas con el 50 % de las especies (6 especies). Para una mejor comprensión de la composición florística del entorno es necesaria una evaluación más completa que abarque la temporada húmeda.

3.1.7.2 Fauna

(D&E Desarrollo y Ecología SAC., 2003), se identificó un total de 32 especies diferentes de aves en el área de influencia del Proyecto Minero las Bambas. Estas especies han sido determinadas durante la estación seca, por lo que sería necesaria una posterior evaluación en la temporada húmeda. En el área del proyecto existen vizcachas, perdices, wallatas, patos silvestres, zorros y venados; así como también ganados domésticos como vacuno, ovino y auquénidos.

En el área de estudio existen 5 lagunas, reportándose la presencia de avifauna acuática en tres de ellas, Estas fueron las lagunas de Quelloacocha, Casanacocha y Totoracocha. En las dos lagunas restantes, Llancope y Jalancere, no se reportó su presencia. De las cinco lagunas, es la Laguna Casanacocha la que presenta una mayor riqueza de especies,



número de individuos y diversidad, con respecto a la avifauna estrechamente relacionada a ambientes acuáticos.

3.2.8 Geología

3.2.8.1 Geología regional

(RIBERA y SANTISTEBAN, 2009), minera Las Bambas se ubica en la franja de yacimiento skarn de Cu (Mo-Au) asociado a sistemas tipo pórfido, ubicados en la parte sureste del Perú.

Esta franja metalogenética está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno- Oligoceno, que se ha emplazado en unidades sedimentarias del Mesozoico, siendo la de mayor importancia la formación Ferrobamba (Cretáceo inferior a superior). Las rocas intrusivas del batolito, en contacto con las calizas Ferrobamba, originaron metamorfismo de contacto y en algunos lugares cuerpos de skarn con mineralización de Cu (Mo-Au). El batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado al sur de la "Deflexión de Abancay", con lineamientos de dirección NO-SE, NE-SO y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina.

3.2.8.2 Geología local

(RIBERA y SANTISTEBAN, 2009), el área del yacimiento Las Bambas presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a la caliza del Cretáceo inferior (Formación Ferrobamba). Los cuerpos de skarn asociados son irregulares y están constituidos por granates, piroxenos y magnetita. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azuljaja presentan alteración potásica con biotita secundaria, feldespato potásico y magnetita (zona de mayor temperatura); gradando a una alteración propilítica con epidota, clorita, pirita y trazas de calcopirita hacia los bordes. En general estas intrusiones obedecen a un alineamiento estructural NO-SE similar al batolito Andahuaylas - Yauri de dirección NO-SE.



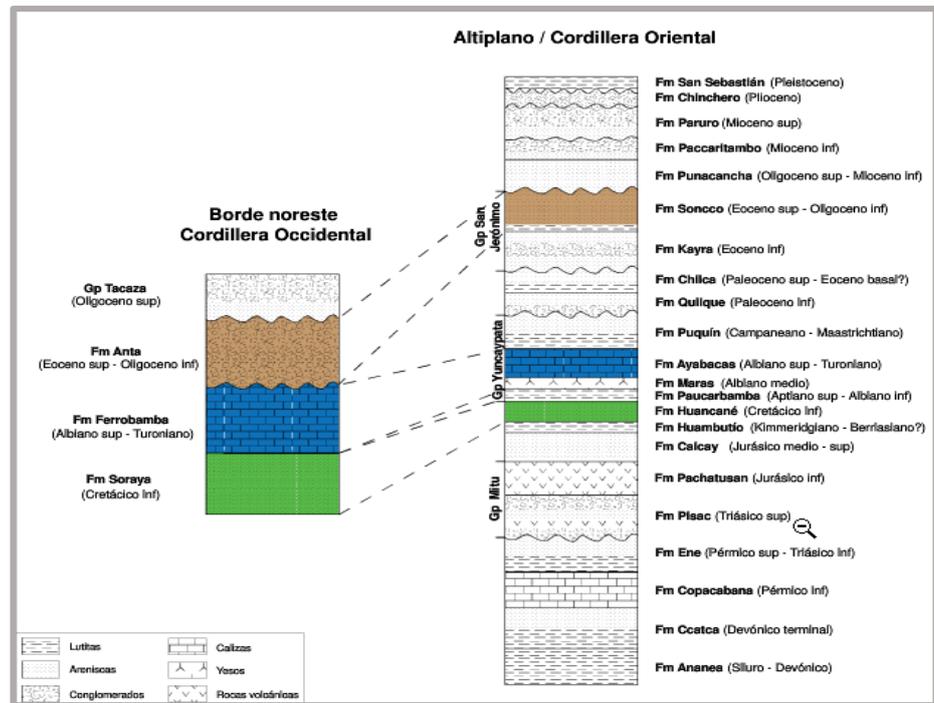


Figura 4 — Columna estratigráfica de Cordillera Oriental
 Extraído de INGEMMET (2011)

Geología Ferrobamba

Se encuentra ubicada en el sector SE del distrito de Las Bambas y es una de las áreas de mayor interés por su mineralización de Cu, con valores de Mo, Au y Ag; tiene una extensión con evidencias de mineralización de 300 ha aproximadamente.



Figura 5 — Fotografía de Tajo Ferrobamba (mirando al Norte)

Rocas Intrusivas

Las calizas de la formación Ferrobamba ha sido cortada por varias fases de intrusión. La primera fase es una monzonita biotítica (MZB). Aflora en gran parte en el sector sur y es una de las fases que ha formado cuerpos

de skarn de granate -píroxeno > magnetita; con mineralización de calcopirita, bornita y molibdenita asociada a la alteración potásica de biotita secundaria, ortosa y magnetita. La segunda fase y tercera fase denominadas monzonita biotítica fina, presentan grano medio a grueso, textura porfirítica, "ojos" de cuarzo irregulares, plagioclasas bimodales.

La cuarta fase, monzonita máfica (MZM), es de grano medio a fino, con alto contenido de minerales máficos (hornblenda>biotita), plagioclasa seriada y escasos "ojos" de cuarzo.

La quinta fase es llamada monzonita hornbléndica (MZH), de grano medio, con plagioclasas tabulares cortas y hornblendas prismáticas. Aflora en la parte central y se ramifica en forma de diques en diferentes direcciones.

Alteraciones

Estos cuerpos de skarn presentan mineralización de sulfuros de cobre (bornita y calcopirita) en forma de masas irregulares, disseminaciones y en venillas de cuarzo. Los cuerpos de skarn formados por la segunda fase son muy similares excepto que no presentan venillas de cuarzo. Son varios los factores que favorecieron la formación de cuerpos de skarn: la composición de los fluidos hidrotermales asociados a las fases de intrusión, los horizontes permeables de calizas, especialmente aquellos que contienen material clástico y el buzamiento de los estratos (50° a 60°) hacia las fuentes de intrusión. Los endoskarns no son muy extendidos, en ellos se forman granates de color marrón claro, poco píroxeno, epidota, clorita, plagioclasas cálcicas, calcita y moderada silicificación.



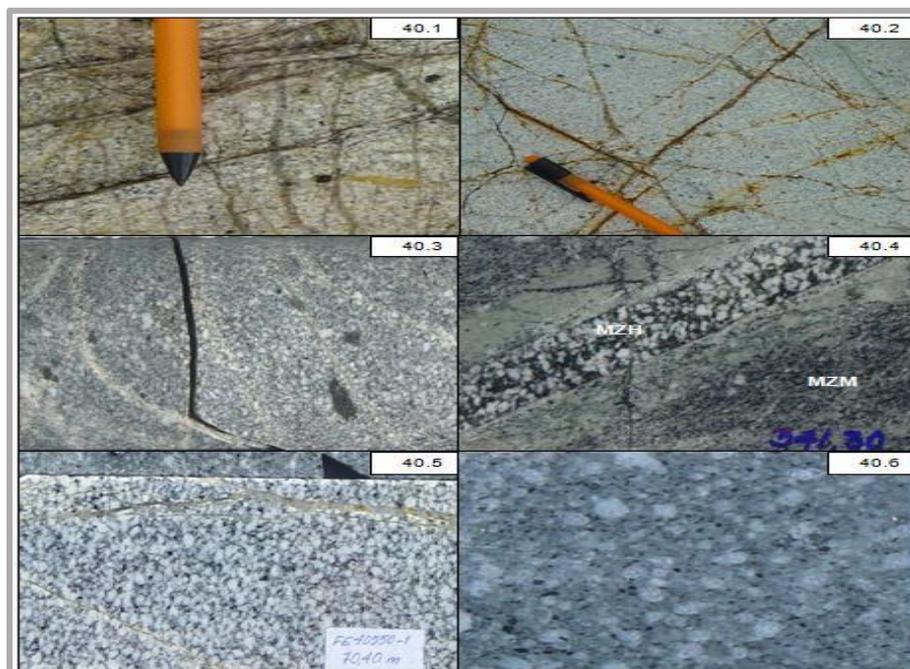


Figura 6 — Alteraciones Tajo Ferrobamba

Extraído de Departamento de Geología Las Bambas (2009)

Figura: 40.1. Monzonita Biotítica (MZB) con libros de biotita y venillas delgadas de cuarzo sin mineral, 40.2. Monzonita Biotítica Fina 1 (MBF1) con libros de biotita y venillas de cuarzo con óxidos, 40.3. Monzonita Biotítica Fina 2 (MBF2) con esporádicos libros de biotita y matriz negruzca, 40.4. Monzonita Máfica (MZM) cortada por Monzonita Hornbléndica (MZH), 40.5. Monzonita Hornbléndica, 40.6. Monzonita Cuarzosa.

Modelo de Ferrobamba

En términos generales para llevar a cabo la construcción del modelo geológico se requiere diferentes tipos de información como la de los sondajes, las distintas interpretaciones de las unidades en superficie y en secciones para entender la continuidad y dar mayor sentido, como también estructuras que controlen las unidades o tendencias que den una mejor orientación al momento de interpolar estas variables. Para ello se debe recepcionar la data de sondajes, la cual debe incluir las siguientes tablas:

- Collar
- Survey
- Geología: litología, zona mineral y alteración

- Assay: Leyes Cu, Au, Pb, Zn (todas aquellas donde se pretenda generar isoleyes).

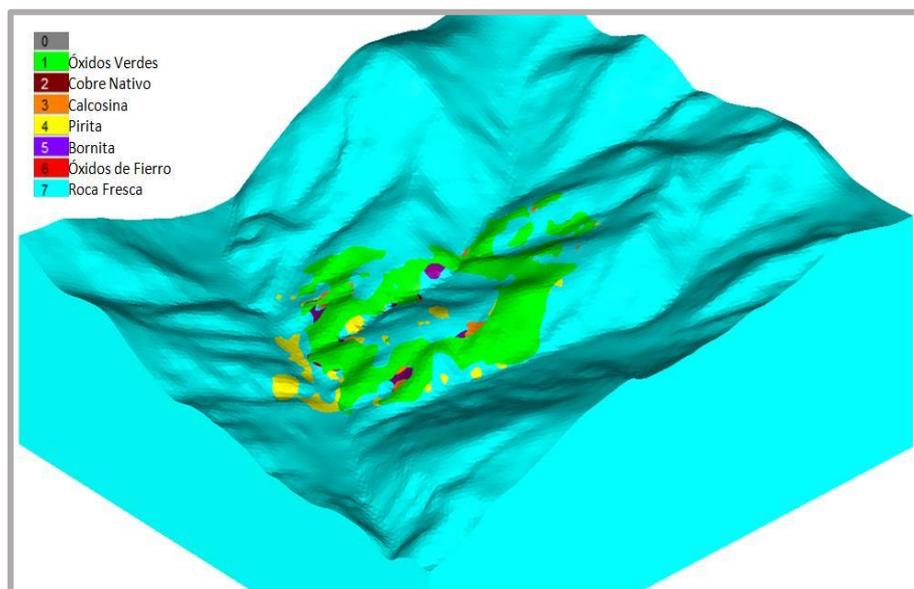


Figura 7 — Modelo en 3D geológico del Tajo Ferrobamba
Extraído de Departamento de Geología Las Bambas (2009)

3.2.8.3 Geología estructural

Minera Las Bambas está regionalmente enmarcado en la margen Sur de la Deflexión de Abancay (12° a 14° Latitud Sur); esta estructura se caracteriza por evidenciar un cambio en (tendencia) de los Andes Peruanos pasando de NO-SE a E-O por más de 200 km como consecuencia de la colisión diferencial de la Dorsal de Nazca con el margen litoral pacífico peruano predisponiendo su morfología actual.

El proyecto Las Bambas, dentro de este contexto geológico regional, está localizado en el cinturón porfirítico/skarn Cu-Mo-Au denominado Skarn belf Andahuaylas-Yauri situado al SE del Perú, en una zona de anomalía atribuida a la orogénesis Inca del Eoceno al Oligoceno temprano (M. Brookes, 2005); este cinturón metalogénico está hospedado principalmente en el Batolito de Andahuaylas-Yauri, el cual presenta intrusiones múltiples de composición calcoalcalina. Localmente el área del yacimiento Las Bambas presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a las calizas de la Formación Ferrobamba. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azuljaja obedecen a un alineamiento estructural

NO-SE de la misma dirección que el trend del batolito Andahuaylas – Yauri.

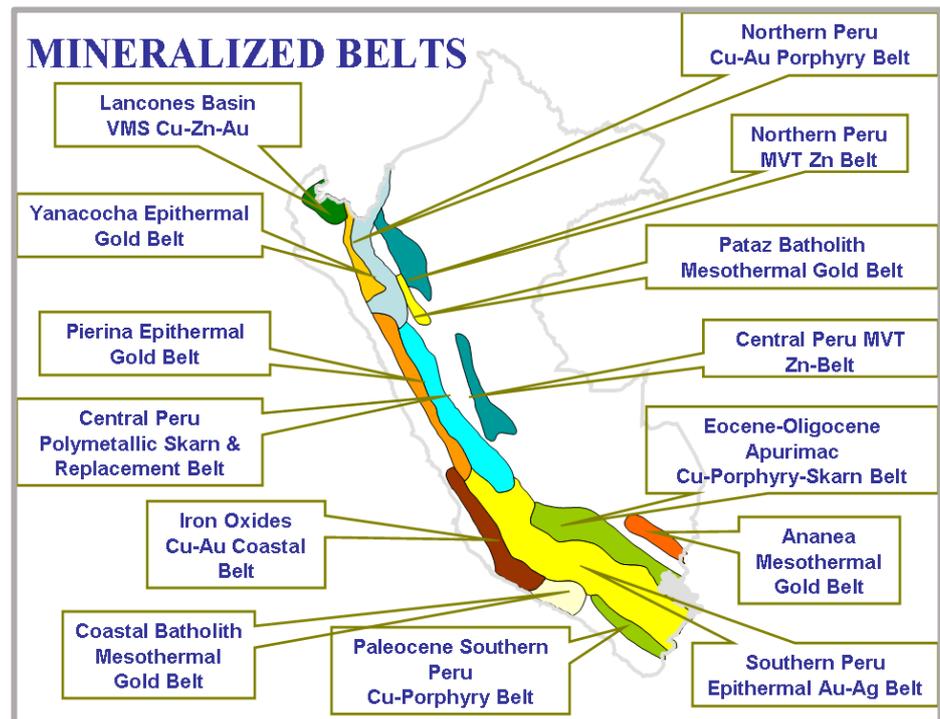


Figura 8 — Metalogénia del Perú, principales franjas mineralizadas

Extraído de Cardozo (2002)

3.2.9 Estimación de Reservas de proyecto Las Bambas

Tabla 5 — Reservas de recursos minerales Las Bambas

Las Bambas Mineral Resource			
	Quantity (Mt)	Cu (%)	Cu (kt)
Ferrobamba (sulphide)	1,080	0.64	6,894
Ferrobamba (Oxide)	65	0.86	550
Chalcobamba (sulphide)	380	0.54	2,044
Chalcobamba (Oxide)	35	0.56	203
Sulfobamba (sulphide)	220	0.54	1,190
Total	1,780	0.61	10,881

Extraído de Estudio de Factibilidad Las Bambas (2014)

Tabla 6 — Estimación de reserva mineral Las Bambas

Las Bambas Ore Reserve			
	Quantity (Mt)	Cu (%)	Cu (kt)
Ferrobamba	657	0.73	4,819
Chalcobamba	235	0.66	1,556
Sulfobamba	60	0.86	518
Total	952	0.72	6,891

Extraído de Estudio de Factibilidad Las Bambas (2014)

3.3 Marco teórico

3.3.1 Explosivos

(Exsa S.A., 2004), los materiales explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden de una fracción de microsegundo, en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones.

Así, los explosivos comerciales son una mezcla de sustancias, combustibles y oxidantes, que incentivadas debidamente, dan lugar a una reacción exotérmica muy rápida, que genera una serie de productos gaseosos a alta temperatura y presión, químicamente más estables, y que ocupan un mayor volumen, aproximadamente 1 000 a 10 000 veces mayor que el volumen original del espacio donde se alojó el explosivo.

Estos fenómenos son aprovechados para realizar trabajo mecánico aplicado para el rompimiento de materiales pétreos, en lo que constituye la “técnica de voladura de rocas”. Los explosivos constituyen una herramienta básica para la explotación minera y para obras de ingeniería civil. Los procesos de reacción según su carácter físico-químico y el tiempo en que se realizan se catalogan como:

3.3.1.1 Combustión

Puede definirse como tal a toda reacción química capaz de desprender calor pudiendo o no, ser percibida por nuestros sentidos, y que presenta un tiempo de reacción bastante lento.

3.3.1.2 Deflagración

Es un proceso exotérmico en el que la transmisión de la reacción de descomposición se basa principalmente en la conductividad térmica. Es un fenómeno superficial en el que el frente de deflagración se propaga por el explosivo en capas paralelas, a una velocidad baja, que generalmente no supera los 1 000 m/s.

La deflagración es sinónimo de una combustión rápida. Los explosivos más lentos al ser activados dan lugar a una deflagración en la que las reacciones se propagan por conducción térmica y radiación.

3.3.1.3 Detonación

Es un proceso físico-químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y por la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva (que se traduce en presión sobre el área circundante).

En los explosivos detonantes la velocidad de las primeras moléculas gasificadas es tan grande que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que los transmiten por choque, deformándola y produciendo calentamiento y explosión adiabática con generación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva y que se denomina “onda de choque”, la que se desplaza a velocidades entre 1 500 a 7 000 m/s según la composición del explosivo y sus condiciones de iniciación.

3.3.2 Clasificación de explosivos

En términos generales los explosivos por su forma de reacción se clasifican de la siguiente manera (Exsa S.A., 2004):

3.3.2.1 Explosivos nucleares

Los explosivos nucleares están vinculados a la desintegración de materiales como uranio 235 y plutonio, proceso que desprende inmensas cantidades de energía. Su empleo actual es en el campo militar y de investigación.

3.3.2.2 Explosivos químicos

Los explosivos químicos actúan por procesos de reacción química de detonación producidos por efecto de una onda de choque. Están



mayormente vinculados a compuestos nitrados y son los de aplicación común en minería y construcción civil. Los explosivos químicos se clasifican en dos grandes grupos según la velocidad de su onda de choque o velocidad de reacción:

- Explosivos rápidos o altos explosivos: de 2 500 a 7 000 m/s.
- Explosivos lentos o deflagrantes: menos de 2 000 m/s.

En los explosivos de alta velocidad, usualmente también llamados “detonantes” la onda de choque es de alto régimen y autosostenida (constante) lo que garantiza la detonación completa de toda su masa, con un fuerte efecto de impacto triturador. Los deflagrantes comprenden a las pólvoras, compuestos pirotécnicos y compuestos propulsores para artillería y cohetaría, casi sin ninguna aplicación en la minería o ingeniería civil por lo que no se tratarán en este trabajo. Los detonantes se dividen en primarios y secundarios, según su aplicación. Los primarios, por su alta energía y sensibilidad, se emplean como iniciadores para detonar a los secundarios. Entre ellos podemos mencionar a los compuestos para detonadores y reforzadores (pentrita, azida de plomo, fulminatos, etc.). Los secundarios son los que efectúan el arranque y rotura de las rocas, son menos sensibles que los primarios, pero desarrollan mayor trabajo útil, por lo que también se les denomina como “rompedores”.

3.3.3 Agentes de voladura acuosos

3.3.3.1 Explosivos hidrogel

(Exsa S.A., 2004), los hidrogeles están constituidos por una fase continua, que es una solución acuosa de sales oxidantes saturada a temperatura ambiente y gelificada por gomas hidrosolubles; y por una fase dispersa de partículas sólidas, gotitas líquidas, o ambas. En el caso de un líquido disperso, la composición pertenece simultáneamente al grupo de las emulsiones de tipo “aceite en agua”.

3.3.3.2 Emulsiones

(Exsa S.A., 2004), en forma similar, los agentes de voladura emulsión carecen de un elemento explosivo en su composición (eventualmente se sensibilizan con micro esferas) por lo que también requieren ser



detonadas con un cebo reforzador de alta presión de detonación. Su aplicación también está dirigida a taladros de mediano a gran diámetro en tajos abiertos, como carga de fondo de alta densidad o como carga de columna (total o espaciada) en taladros con agua, o perforados en roca muy competente.

A diferencia de los explosivos hidrogeles su viscosidad puede ser graduada desde una emulsión líquida similar a una leche de magnesia hasta una viscosidad adecuada, lo que permite su carga al taladro, tanto en forma encartuchada como a granel mecanizada, por bombeo directo al fondo del mismo para desplazar al agua. Una ventaja importante es su facilidad de mezcla con el ANFO para formar ANFO Pesado. EXSA las presenta encartuchadas en mangas de polietileno- propileno (Slurrex-E 40, Slurrex-E 60 y Slurrex-E 80) y a granel, suministradas en camión cisterna para entrega directa en la mina donde se carga mediante camiones mezcladores- bombeadores (Slurrex-EG), directamente como tal o mezclada con ANFO para formar ANFO Pesado sensibilizado.

Slurrex-MA es una emulsión oxidante inerte no detonable para efectos de transporte hasta ser sensibilizada en el lugar de aplicación, para formar un agente de voladura ANFO pesado, o como emulsión normal de alto nivel de energía “aceite en agua”.

3.3.3.3 Agentes mixtos (emulsiones/anfo o pesados)

(Exsa S.A., 2004), son mezclas de emulsión y ANFO que son preparados en diferentes proporciones relaciones de acuerdo a los requerimientos de la voladura y la presencia de agua, entre 10% a 90% de emulsión y la diferencia ANFO, siendo las ratios más difundidas 30 - 70, 50 - 50, 60 - 40 y 80 - 20. Normalmente las mezclas con menos de 50 % de emulsión no son resistentes al agua, pero se incrementa notablemente la potencia del explosivo, y las mayores de 50 % emulsión son progresivamente más resistentes al agua.

Agentes de voladura granulares, secos, ANFO y similares En su generalidad se componen de nitrato de amonio sensibilizado por un agregado orgánico, líquido o sólido generalmente no explosivo. El nitrato debe ser perlado y suficientemente poroso para garantizar la absorción y retención.



3.3.3.4 Características y propiedades de los explosivos

(Exsa S.A., 2004), son las propiedades físicas y químicas que tienen relación directa con su condición de estado. Unas determinan su aspecto y estado físico, otras su factibilidad de empleo con seguridad en determinadas condiciones de la roca y del medio ambiente. Finalmente, otras determinan el rendimiento del explosivo en su aplicación en voladura; a estas últimas se las conoce como “propiedades de tiro”.

En conjunto deben garantizar la estabilidad del explosivo en su manipuleo, transporte, almacenaje y uso, pero también eventualmente influyen en la ocurrencia de algunos fenómenos inconvenientes como la segregación, oxidación, desensibilización, endurecimiento y otros, que deben prevenirse.

Con excepción de la nitroglicerina y algún otro compuesto líquido, los explosivos en su mayoría son sólidos, algunos homogéneos y compactos como el TNT colado, otros heterogéneos y semisólidos como la dinamita, llegando a granulares sueltos como ocurre con la pólvora y el ANFO.

El color, aroma, textura, son muchas veces las características y hasta de marca.

En forma general mencionamos algunas propiedades vinculadas al aspecto físico y manipuleo (Exsa S.A., 2004).

a) **Plasticidad**

Capacidad que tiene un cuerpo para moldearse, bajo la acción de una fuerza, tomar forma y mantenerla después de retirarse dicha fuerza, como se observa en las gelatinas y explosivos plásticos. Es contraria a la elasticidad y a la rigidez. La plasticidad disminuye con el tiempo o con el frío.

b) **Viscosidad**

Consistencia ligosa o glutinosa debida a la fricción interna de las moléculas, causada por su resistencia a fluir o cambiar inmediatamente de forma cuando se le somete a deformación por presión, corte o penetración. Cuanto más viscoso, más lento el cambio.



La viscosidad es propia de los aceites, emulsiones y slurries. Conforme más viscosos son, se contienen mejor en los taladros fisurados, mientras que los acuosos tienden a filtrarse por las grietas.

c) Fluidéz

Capacidad de fluir y desplazarse que corresponde a los cuerpos líquidos y gases, cuyas moléculas tienen poca adherencia entre sí y toman la forma del depósito que los contiene (ejemplo: nitroglicerina y nitroglicol). Viscosidad y fluidéz son importantes en el carguío mecanizado de productos acuosos a granel, como las emulsiones.

d) Flujo (free flowing)

Es la capacidad que muestra un explosivo granular seco para fluir libremente o deslizarse bajo su propio peso desde su contenedor, transportarse libremente por la manguera durante el carguío neumático, y para llenar rápida, fácil y completamente un taladro de voladura. Es condición importante de los explosivos no encartuchados diseñados para carguío neumático, como Examon y ANFO. Depende fuertemente del contenido de humedad del explosivo; con incrementos del 0,5 al 1% la fluibilidad decae drásticamente.

e) Tendencia a compactación

Se refiere a la facilidad que presentan algunos explosivos para compactarse o convertirse en una masa coherente, con total pérdida de su fluibilidad y adicionalmente considerable reducción de su detonabilidad. Esto ocurre frecuentemente con el Nitrato de Amonio que en muchos casos requiere ser recubierto por algún agente antiaglomerante (anticaking), como diatomita o productos orgánicos (hidrocarburos).

f) Friabilidad

Los explosivos friables, al contrario de los plásticos, tienden a desmenuzarse o a pulverizarse cuando son manipulados excesivamente o transportados neumáticamente, contaminando la atmósfera con partículas diminutas dispersas, dependiendo esto de la fragilidad. Esta característica debe ser tomada en cuenta para el



transporte a gran distancia por malas carreteras, donde los gránulos se pulverizan con el maltrato del viaje.

Por lo contrario, la friabilidad es una cualidad en minerales y rocas, en las que representa la facilidad de fracturarse homogénea y fácilmente. Una roca friable es adecuada para voladura.

g) Homogeneidad

En los explosivos acuosos y dinamitas se refiere a su textura uniforme y en los pulverulentos a su grado de pulverización, mientras que en los granulares sueltos esta propiedad se refiere a las especificaciones de distribución de sus granos por tamaño, según malla o tamiz (también denominada “composición granulométrica”).

Un agente de voladura demasiado fino tiende a llenar por completo el taladro, mejorando el grado de acoplamiento y de compactación, pero corriendo el riesgo de desensibilizarse.

Generalmente ambas características se determinan por análisis de malla utilizando un juego de tamices de aperturas cada vez más pequeñas para fraccionar la muestra por tamaños, lo que se indica en porcentajes de malla.

h) Porosidad

Es el radio del volumen de intersticios o huecos contenidos en un material respecto a su propio volumen o masa. Es un factor importante en los gránulos o perlas del Nitrato de Amonio para absorber al petróleo en la preparación de los nitrocarbonitratos como el Examon y el ANFO.

3.3.3.5 Características prácticas de los explosivos

Son las propiedades físicas que identifican a cada explosivo y que se emplean para seleccionar el más adecuado para una voladura determinada. Entre ellas mencionamos a las siguientes (Exsa S.A., 2004):

- a. Potencia relativa.
- b. Brisance o poder rompedor.
- c. Densidad - densidad de carga.
- d. Velocidad de detonación.
- e. Aptitud a la transmisión o simpatía.



- f. Sensitividad al iniciador.
- g. Estabilidad.
- h. Sensibilidad a factores externos (temperatura, impacto y otros).
- i. Categoría de humos.
- j. Resistencia al agua.
- k. Presión de detonación.

3.3.3.6 Voladura de rocas

(Exsa S.A., 2004), de acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la “mejor” fragmentación.

Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos de la molienda en las plantas metalúrgicas, mientras que en la de rocas algunas veces se requiere que sea en grandes bloques, como los que se emplean para las construcciones.

El desplazamiento y la forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el paleo o acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles.

Teniendo en cuenta los diversos criterios que involucra un trabajo de voladura, como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener el volumen a ser excavado, el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se quedará in situ o será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes que

puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es pues necesaria una planificación cuidadosa de la voladura considerando todos los detalles que puedan influir en sus resultados.

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no.

Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca. Para facilidad de interpretación se resume a estos factores afines en grupos, que suelen denominarse variables, factores, parámetros o condiciones fundamentales.

3.3.3.7 Voladura en superficie

(Exsa S.A., 2004), la voladura de rocas en superficie comprende trabajos de explotación minera en bancos de canteras y tajos abiertos, obras de ingeniería civil y vial como excavaciones, canales, zanjas, cortes a media ladera y trabajos especiales como rotura secundaria de pedrones, demoliciones y voladuras controladas (Smooth blasting) pero fundamentalmente se concreta en bancos.

a) Voladura en bancos. Aspectos generales Definición

Los bancos son excavaciones similares a escalones en el terreno. Su característica principal es la de tener, como mínimo, dos caras libres, la superior y la frontal.

b) Elementos para el diseño de voladuras en bancos

También denominados parámetros de la voladura, son datos empleados en el cálculo y diseño de disparos. Unos son invariables, como los correspondientes a las características físicas de la roca: densidad, dureza, grado de fisuramiento, coeficientes de resistencia a deformación y rotura, etc. y otros son variables, es decir que podemos modificarlos a voluntad, de acuerdo a las necesidades reales del trabajo y condiciones del terreno.

Estos parámetros controlables se pueden agrupar en:

- Geométricos: altura, ancho y largo del banco, talud, cara libre.
- De perforación: diámetro y longitud del taladro, malla.



- De carga: densidad, columna explosiva, longitud de taco, características físico-químicas del explosivo.
- De tiempo: tiempos de retardo entre taladros, secuencia de salidas de los disparos.

3.3.3.8 Voladura controlada

(Exsa S.A., 2004), la voladura controlada es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir evitar la sobrerotura (overbreak). Es un método especial que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo que evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente, con lo que contribuye a mejorar su estabilidad, aspecto muy importante en trabajos subterráneos de orden permanente, para prevención de desplome de techos y otros riesgos, y en superficie para la estabilidad de taludes en cortes de laderas. Consiste en el empleo de cargas explosivas lineares de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre sí, que se disparan en forma simultánea para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que límite la superficie final de un corte o excavación.

3.3.3.9 Seguridad en el uso de explosivos en voladura

(Exsa S.A., 2004), la voladura de rocas se considera un trabajo de alto riesgo, si bien su índice de frecuencia en relación con otros tipos de accidentes es menor, su índice de gravedad es mucho mayor, generalmente con consecuencias muy graves que no solamente afectan al trabajador causante de la falla, sino también a las demás personas, equipos e instalaciones que le rodean.

Según estadísticas en el ámbito mundial, los accidentes con explosivos se producen mayormente por actos inseguros de los operarios, que por condiciones inseguras.

La inexperiencia o negligencia por un lado y el exceso de confianza por el otro han mostrado ser motivo del 80 a 90% de los accidentes.

Aunque no es razón primordial del presente tema tratar el aspecto personal, hay al menos 10 factores humanos que causan accidentes, los que en el caso especial del manipuleo de explosivos y voladura, deben



ser tomados muy en cuenta por todos los involucrados, especialmente por los supervisores responsables de la voladura; éstos son:

Aplicación de Explosivos

a) Riesgos predominantes

En los trabajos de voladura a cielo abierto, canteras, carreteras, obras civiles, demoliciones, etc. los riesgos predominantes son: La proyección de fragmentos volantes, vibraciones y onda de concusión. Mientras que en los de subterráneo son los desplomes y el gaseamiento por los humos de la explosión. En ambos tipos de operación pueden ocurrir fallas de disparo como tiros prematuros o retardados, tiros soplados y tiros cortados.

b) Perforación, preparación, carga y disparo

Jamás se deberá reperfurar un hueco quedado por facilitar el trabajo, ya que este error ha costado muchas vidas. Los tiros cortados o fallados y los tacos quedados deberán ser limpiados totalmente con aire comprimido o chorro de agua antes de continuar el trabajo.

La preparación de los cebos en el frontón requiere cuidado; los detonadores no deben golpearse ni forzar su introducción en los cartuchos. El punzón será de madera o bronce. El trabajo debe efectuarse lejos de las perforadoras y de las cajas con explosivo.

El confinamiento de los cartuchos con el atacador no tiene que ser violento. El cebo no debe atacarse, sólo empujarse suavemente.

Otro riesgo latente en la carga es en el empleo de equipos de carga con aire comprimido y manguera para el ANFO, ya que el rozamiento puede originar cargas electrostáticas lo suficientemente activas como para hacer estallar prematuramente al fulminante, por esta razón sólo deben emplearse mangueras antiestáticas o semiconductoras además de conectar al equipo cargador con línea a tierra.

Antes del disparo el mayor riesgo es el de los tiros prematuros que pueden ocurrir por: maltrato del explosivo o de los detonadores; efecto de descargas eléctricas y corrientes vagabundas sobre detonadores eléctricos no aislados; encendido incorrecto, y uso de



guías de seguridad de tramos muy cortos o por desconocer su real velocidad de quemado para controlar el tiempo de encendido de todos los taladros de la tanda y salir a tiempo del frontón.

En el Perú los límites de velocidad de la mecha oficialmente van de 150 a 200 s/m (51 a 53 s/pie) de modo que la costumbre de considerar “un minuto por pie” ha causado muchas víctimas por salidas prematuras.

En superficie, el tránsito de vehículos y personas sobre las líneas de cordón detonante y accesorios de disparo, aún sin llegar al extremo de una explosión, puede malograr una voladura bien planificada. Cortar tramos de cordón detonante golpeándolo con piedras a falta de navaja lo puede iniciar y causar un desastre, más aún si está conectado a taladros cargados. Igualmente, riesgoso es golpear las mangueras de conducción de los detonadores no eléctricos de cualquier tipo.

En casos particulares se presentan riesgos específicos por alta temperatura en los taladros, ambiente inflamable con presencia de SO₂ o condiciones climáticas extremas, que requerirán de métodos y de explosivos adecuados para evitar tiros prematuros cuando el personal aún está trabajando en el área de voladura.

c) Descargas eléctricas

Un rayo es perfectamente capaz de activar a un detonador eléctrico, sea que éste se encuentre conectado o no. Por ello, en regiones susceptibles a tormentas eléctricas, se preferirá el empleo de accesorios no eléctricos, y suspenderse las operaciones de carga cuando se presenta una tormenta eléctrica.

d) Disparo

Antes de proceder al disparo se deben verificar todos los empalmes y conexiones del tiro, observar que no queden restos de explosivo, accesorios ni herramientas abandonadas, y asegurar que todo el personal se haya retirado a un lugar protegido. En superficie comprobar que todos los accesos al área de la voladura queden



controlados por vigías debidamente instruidos que deberán permanecer en su lugar hasta después de la voladura.

La proyección de fragmentos volantes representa un serio problema en la voladura superficial, no sólo por los hombres que pueden ser impactados y heridos, sino también por los equipos o instalaciones que puedan ser dañados. Puede originarse por exceso de carga explosiva, falta de taco, roca muy suelta o fisurada, burden irregular o muy corto, fallas geológicas u oquedades encubiertas, fallas en la perforación o también disparo con tiempos de retardo muy largos entre los taladros.

En la voladura de taladros de gran diámetro y poca profundidad denominada “voladura de cráter”, la menor proporción entre altura de banco y diámetro de hueco no permite mantener un “taco sin carga” de igual longitud que el “burden”, como en la convencional, ya que resultaría en muy bajo factor de carga y deficiente rendimiento del tiro. Esto obliga a compensar el factor cargando los taladros hasta muy cerca de la superficie, lo que lamentablemente produce fuerte proyección de fragmentos volantes. Por esta razón, como medida de precaución, se tratará de evitar su ocurrencia.

Si bien la vibración y onda acústica no presentan problemas en las operaciones de minería, tienen que ser tomadas muy en cuenta cuando se trata de obras civiles cercanas a poblaciones o instalaciones industriales ya que serán motivo de reclamos, justificados o no, sobre daños a propiedad ajena.

Estos efectos pueden ser reducidos mediante el empleo adecuado de detonadores de retardo, el cálculo cuidadoso de la carga específica de explosivo por hueco, su orientación y buen taponado, habiendo casos incluso en que será necesario el empleo de mallas pesadas de retención para los fragmentos volantes.

e) Evaluación de la voladura, seguridad

Después del disparo y solamente después de haber pasado un tiempo prudencial el encargado de la operación regresará al lugar de la voladura para efectuar su evaluación de la fragmentación, empuje,



volumen removido y sobre rotura. Es en este momento que deberá tener presentes los riesgos de gases.

3.3.3.10 Gases nitratos en la voladura de rocas

(ROMERO, 2016), los gases nitrosos se generan en la voladura a partir del mal balance de oxígeno en la mezcla explosiva. Cuando el balance de oxígeno es positivo (más oxígeno) es allí cuando se generan gases nitrosos. La presencia de gases nitrosos indica que existe una deficiencia de combustible en el explosivo. En concentraciones bajas no tienen color, olor y sabor. En concentraciones altas se pueden detectar por su olor a pólvora quemada y por sus humos de color rojizo.

El óxido de nitrógeno (N_2O) se genera convenientemente por la termólisis controlada del nitrato amónico o por reacción de amoníaco con ácido nítrico.

Consecuencias de la Generación de Gases Nitrosos

I. Reducción de energía del explosivo

A los gases nitrosos también se le conoce como “ladrones de energía”, porque en su calor de formación es negativo, por tanto, quita calor de explosión a la mezcla.

II. Contaminación ambiental

Es un importante gas de efecto invernadero con una permanencia media de 100 años en la atmósfera. Actualmente se atribuye el 5 % del efecto invernadero artificial a este gas. Además, ataca la capa de ozono, reduciendo el ozono a oxígeno molecular y liberando dos moléculas de monóxido de nitrógeno.

III. Efectos fisiológicos

- 60 ppm Produce irritación inmediata en la garganta
- 100 ppm Provoca una tos persistente
- 100 – 150 ppm Concentración muy peligrosa durante exposiciones muy cortas.
- 200 – 700 ppm Rápidamente lleva a la muerte durante exposiciones relativamente cortas.



Su peligrosidad radica en que los óxidos de nitrógeno son capaces de disolverse en el agua de los pulmones formando ácidos nitrosos hasta nítricos, capaces de corroer las mucosas de las vías respiratorias.

3.3.4 Tecnología de Quantex

(Exsa S.A., 2014), el uso de Anfo está limitado a condiciones sin presencia de agua. El Anfo Pesado resulta de ser mezclado con “Emulsión Explosiva”, no se diluye en el agua. Tiene alta probabilidad de producir humos pardos. La Emulsión Gasificada, alcanza alta velocidad de detonación, del orden de 5500 m/s, tiene alta resistencia al agua y baja probabilidad de producir gases nitrosos. Pero tiene poca consistencia dentro del taladro y puede filtrarse por las fracturas de la roca y no resiste el peso del taco, se mezcla con poliestireno para darle más consistencia. El poliestireno mantiene baja la densidad, pero disminuye significativamente su potencia y sensibilidad.

La Tecnología Quantex engloba toda la experiencia en ingeniería de explosivos y presenta una solución para cada necesidad de voladura. La mezcla explosiva Quantex puede desempeñarse en variadas condiciones, entregando solo la energía requerida por el macizo rocoso. Presenta características de una emulsión gasificada y también de un Anfo pesado, en un estado intermedio tiene sus propias ventajas frente a sus predecesores.



Figura 9 — Evolución de la mezcla explosiva

Extraído de Exsa S.A. (2014)

3.3.5 Los agentes de voladura y sus mezclas

3.3.5.1 Mezcla explosiva (ME)

Es la mezcla de sustancias explosivas, combustibles y oxidantes en tal proporción que puede mantener una reacción de detonación (Exsa S.A., 2014).

3.3.5.2 Anfo pesado (AP)

Es un tipo de mezcla explosiva. De ANFO y Emulsion Explosiva, según la proporción de Emulsión/ANFO se denota AP73 (70% emulsión), AP46, etc. (Exsa S.A., 2014).

3.3.5.3 Anfo pesado Gasificado (APG)

Es un Anfo Pesado sensitivizado con burbujas de nitrógeno, que se producen por reacción con una solución de nitrito de sodio, este último como agente gasificante (Exsa S.A., 2014).

3.3.5.4 Mezcla explosiva quantex (MEQ)

Es la mezcla de nitrato de amonio Quantex (de alta densidad) con emulsión gasificable. Que luego se sensitiviza con burbujas de nitrógeno, por reacción química con una solución de nitrito de sodio (Exsa S.A., 2014).



Figura 10 — Mezcla Explosiva Quantex (MEQ)

Extraído de Exsa S.A. (2014)

3.3.5.5 Nitrato de amonio quantex

Gracias a su alta densidad, permite generar el equilibrio perfecto en la mezcla explosiva gasificada. El proceso de gasificación sensibiliza a la

emulsión, bajando su densidad; por lo tanto, el Nitrato de Amonio de alta densidad aporta mayor energía a una mezcla final altamente sensitivizado (Exsa S.A., 2014).



Figura 11 — Nitrato de amonio Quantex (MEQ)
Extraído de Exsa S.A. (2014)

3.3.5.6 Solución gasificante nitrato de sodio

(Exsa S.A., 2014), solución formulada para promover generación de burbujas de nitrógeno al estar en contacto con la emulsión generándose así el explosivo gasificado.



Figura 12 — Nitrito de sodio en la mezcla explosiva Quantex
Extraído de Exsa S.A. (2014)

3.3.5.7 Obtención de la mezcla explosiva quantex



Figura 13 — Obtención de la mezcla explosiva sin nitrito de sodio
Extraído de Exsa S.A. (2014)



Figura 14 — Reacción de la mezcla explosiva con nitrito
Extraído de Exsa S.A. (2014)

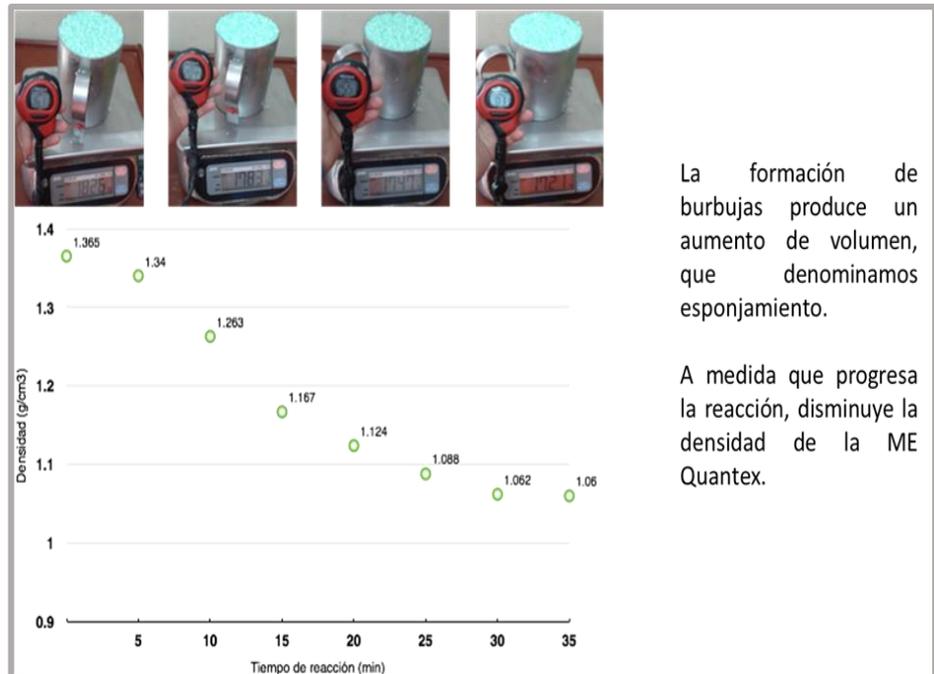


Figura 15 — Reacción de Gasificación (Esponjamiento) de mezcla
 Extraído de Exsa S.A. (2014)



Figura 16 — Rango de densidades de carguío de la mezcla explosiva
 Extraído de Exsa S.A. (2014)



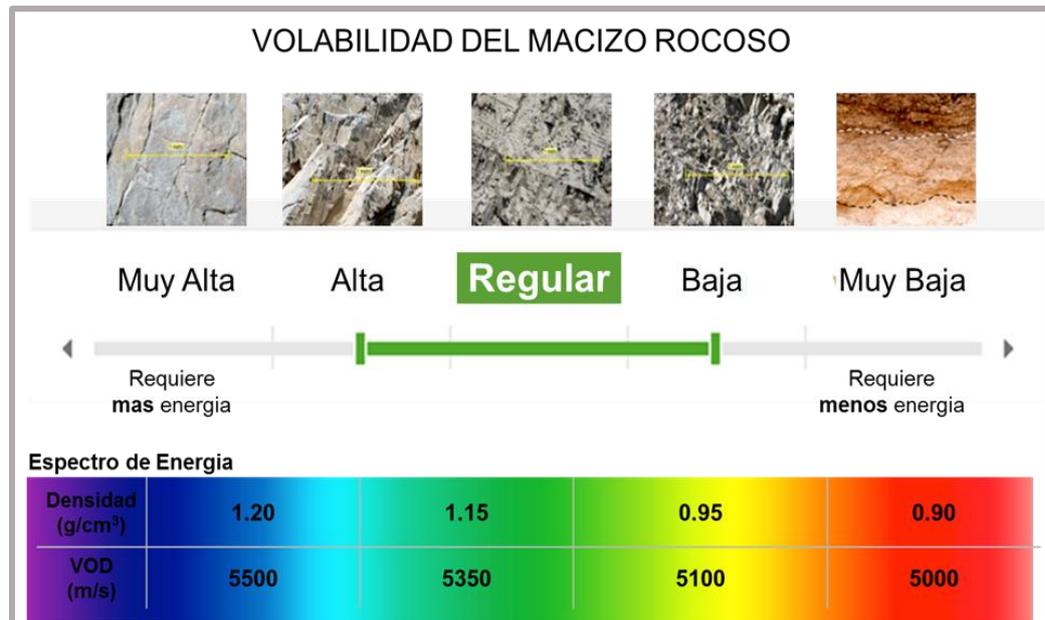


Figura 17 — Carguío selectivo de acuerdo al tipo de roca
 Extraído de Exsa S.A. (2014)



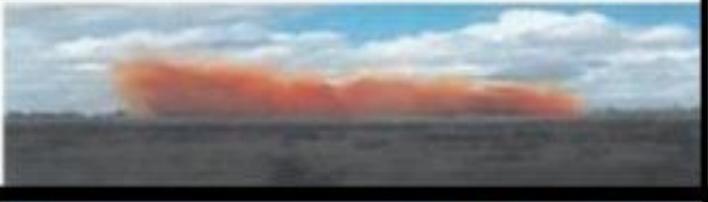
Figura 18 — Carguío de taladros con Quantex
 Extraído de Exsa S.A. (2014)

3.3.6 Escala de humos según la mina las Bambas

Para el siguiente trabajo de investigación, el control de humos generados por la voladura en la aplicación de tecnología quantex en tajo Ferrobamba se usara para determinar el nivel de humo. Que a continuación se muestra la tabla.



Tabla 7 — Escala de Humos elaborado por MMG – Las Bambas

NIVEL	APARIENCIA TÍPICA
<p>Nivel 0 No Humos</p>	
<p>Nivel 1 Leve. Humos color amarillo</p>	
<p>Nivel 2 Menor. Humos color amarillo/anaranjado</p>	
<p>Nivel 3 Moderado. Humos color anaranjado</p>	
<p>Nivel 4 Significante. Humos color anaranjado</p>	
<p>Nivel 5 Mayor. Humos color rojo</p>	

Extraído de MMG – Las Bambas (2016)

3.4 Marco conceptual

- a) **Explosivos:** Los explosivos son usados en el campo bajo una variedad de condiciones. Con las técnicas de carguío actual ellos pueden ser bombeados o cargados al granel en los taladros, simplificando las operaciones pero, al mismo tiempo, permitiendo que los explosivos sean afectados directamente por el medio ambiente de los taladros. El explosivo en estos casos no puede ser asumido de ser “puro” con características uniformes. Este podría ser afectado por el medio ambiente

y las condiciones del campo y este efecto podría modificar el performance, sensibilidad y espectro de humos (AMES, 2007).

- b) **Voladura:** Se entiende por voladura a la disposición de un grupo de barrenos, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento, sin afectar a elementos ajenos a la misma (BERNAOLA, CASTILLA y HERRERA, 2013, p. 139)
- c) **Detonación:** es una reacción exotérmica específica la cual está asociada con una onda de choque. La reacción química empieza debido al calor, el cual es un resultado de la compresión por la onda de choque. La energía liberada en la reacción mantiene la onda de choque. Una característica muy importante de la detonación es que los productos de la reacción tienen inicialmente una densidad más alta que la sustancia sin reacción (AMES, 2007).
- d) **Deflagración:** 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 (BERNAOLA, CASTILLA y HERRERA, 2013, p. 67).
- e) **Nitrato de amonio:** El nitrato de amonio es un compuesto químico, que tiene dos usos diferentes, como fertilizante e ingrediente básico de mezclas explosivas. El nitrato de amonio en la forma químicamente pura, está compuesto de: 60% de Oxígeno, 33% de Nitrógeno y 7% de Hidrógeno; en peso (AMES, 2007).
- f) **Gases nitrosos:** Son derivados de diferentes óxidos de nitrógeno. Se encuentra como mezcla en diferentes concentraciones como producto habitual de las voladuras en los frentes. Estos dos gases no se separan nunca en esta situación, por lo que hay que reconocerlos juntos, aunque los porcentajes varíen constantemente (Exsa S.A., 2004).
- g) **Tecnología Quantex:** Es una mezcla explosiva de alta energía y baja densidad, compuesto por emulsión gasificada (70%) y potenciado con nitrato de amonio de alta densidad (30%). Diseñada para maximizar las ganancias del negocio minero y civil (Exsa S.A., 2014).
- h) **Costos en voladura:** El costo de voladura (CV) incluye el costo de cargar y primar un taladro considerando su aporte en tonelaje (ANCHORENA, 2015).



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación reúne las condiciones metodológicas de una investigación descriptivo, cuantitativo y aplicativo de acuerdo a los objetivos planteados.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación corresponde a descriptivo cuantitativo, el objetivo del diseño cuantitativo es cuantificar las realidades de diversos conjuntos. En esta investigación se considera la prueba que se realiza de un producto que ofrece reducir costos en la unidad productiva para observar sus procesos y luego obtener apreciaciones, los cuales conducirán a la utilización de tecnología Quantex para optimizar los costos de voladura y mitigar emisión de gases nitrosos al medio ambiente.

El esquema del diseño es como sigue:



Donde:

- M1 y M2: muestras.
- O1 y O2: observaciones.

Este diseño de investigación descriptiva; esto es, recolectar información relevante en varias muestras con respecto a un mismo fenómeno o aspecto de interés y luego caracterizar este fenómeno en base a la cuantificación de los datos recogidos, pudiendo hacerse esta comparación con los productos antecesores.

4.3 Población y muestra

Población:

Mina las Bambas Tajo Ferrobamba

Muestra:

Mini Tajo, Jahuapaylla baja y Cantera 01.

4.4 Procedimiento

- Recopilación de información, consistente en la obtención de la información teórica necesaria para poder desarrollar adecuadamente y con las metodologías correctas la tesis de grado.
- Recopilación de información “in situ” (obtención de datos, comparación de datos), necesaria para la evaluación de resultados.
- Trabajo de gabinete en el cual se procesará y analizará toda la información obtenida de campo como la fragmentación y emisión de gases nitrosos.
- Elaboración del diagnóstico y desarrollo de una propuesta de solución a los problemas y presentación de los resultados.
- Extraer resultados de investigación, que sea comprensible, coherente, elaboración y compaginación de informe final.

4.1 Técnica e instrumentos

La técnica empleada para la recopilación de la información se efectuó por medio de reportes de trabajo, mediciones directas, y registros.

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación se encuentran calibrados y estandarizados para evitar sesgos y cumplen con los tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad.

Instrumentos que se utilizaran en el presente trabajo de investigación.

- Equipo MicroTrap para medir la velocidad de detonación (VOD) real in-situ.
- Balanza electrónica y vaso volumétrico para medir la densidad de la mezcla explosiva.
- Tabla de valoración de gases nitrosos para medir la calidad de humos.
- Software WipFrag y Split On Line para medir la fragmentación de los disparos.
- Registros de la velocidad de minado de las palas en tiempo real.
- Laptop personal.
- Programas estadísticos.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Análisis de los resultados

6.1.1 Descripción de la propuesta

Antes de realizarse la prueba con Tecnología Quantex, se realizaron las pruebas de voladura con Anfo Pesado en Tajo Ferrobamba en las distintas zonas del mismo como: Mini Tajo, Jahuapaylla intermedia y Jahuapaylla baja en sus distintos niveles previa coordinación con los responsables del área de perforación y voladura de la mina Las Bambas.

6.1.2 Voladuras realizadas con Heavy Anfo

5.1.2.1 Reporte de voladura 3885 – 035 Tajo Ferrobamba.

I. Antecedentes

- Se usó SLURREX MA.
- Total de taladros cargados: 62
- Se usó detonadores electrónicos.
- La secuencia de salida fue en “V”
- Los tiempos entre taladro y taladro fue de 7ms y el tiempo entre filas fue de 100 ms.
- Se realizó iniciación con 62 detonadores I-Kon II.

II. Control de calidad

Se realizó el control de densidades a la mezcla HA 73, cuyo resultado fue 1.314 g/cc.

Tabla 8 — Toma de densidad en campo

Toma de Densidades																															
Peso Vaso	638 gr		Fecha	14/05/2016																											
Volumen Vaso	1000 cc		Densidad Teorica	1.30 - 1.31																											
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #a0c4ff;"> <th colspan="3">Tabla de Densidad</th> </tr> <tr style="background-color: #a0c4ff;"> <th style="width: 33%;">Wlleno (g)</th> <th style="width: 33%;">W HA 73 (g)</th> <th style="width: 33%;">Densidad (g/cc)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">13/05/2016</td> <td style="text-align: center;">1954</td> <td style="text-align: center;">1316</td> <td style="text-align: center;">1.316</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1947</td> <td style="text-align: center;">1309</td> <td style="text-align: center;">1.309</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">14/05/2016</td> <td style="text-align: center;">1955</td> <td style="text-align: center;">1317</td> <td style="text-align: center;">1.317</td> </tr> </tbody> </table>			Tabla de Densidad			Wlleno (g)	W HA 73 (g)	Densidad (g/cc)	13/05/2016	1954	1316	1.316	1947	1309	1.309	14/05/2016	1955	1317	1.317	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #a0c4ff;"> <th colspan="3">Promedio de Mezcla Explosiva HA 73</th> </tr> <tr style="background-color: #a0c4ff;"> <th style="width: 33%;">Wlleno (g)</th> <th style="width: 33%;">W HA 73 (g)</th> <th style="width: 33%;">Densidad (g/cc)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1952</td> <td style="text-align: center;">1314</td> <td style="text-align: center;">1.314</td> </tr> </tbody> </table>		Promedio de Mezcla Explosiva HA 73			Wlleno (g)	W HA 73 (g)	Densidad (g/cc)	1952	1314	1.314
Tabla de Densidad																															
Wlleno (g)	W HA 73 (g)	Densidad (g/cc)																													
13/05/2016	1954	1316	1.316																												
	1947	1309	1.309																												
14/05/2016	1955	1317	1.317																												
Promedio de Mezcla Explosiva HA 73																															
Wlleno (g)	W HA 73 (g)	Densidad (g/cc)																													
1952	1314	1.314																													



III. Resultados

- Se presentó 02 Back Up por corte de cable en los taladros ID: 271 y 149.
- La Altura de la pila fue de 2.00 a 2.50 metros aproximadamente, en relación al piso superior del banco volado.
- Se tuvo presencia de gases nitrosos.
- Se tuvo 40 taladros con presencia de agua con alturas de 3-8 m de agua.
- No hubo Fly rocks
- La eyección de taco fue mínima.
- Se tuvo una buena fragmentación.

IV. Comentarios

- Proyecto en Mini tajo, se realizó el carguío el mismo día.
- Se trabajó con camiones 168 y 171.
- Se usó doble iniciación (pirotécnica y electrónica).
- Los resultados del disparo fueron buenos en términos de fragmentación y esponjamiento de material volado.

Tabla 9 — Consumo de explosivos proyecto 3885 – 035

Consumo de Explosivos		
Descripción	Unidad	Cantidad
HA	Kg	43629
Carga total	Kg	43629
Agentes de voladura		
Nitrato de amonio	Kg	13088
Emulsión slurrex	Kg	30541
Petróleo	Gl	253
TOTAL	Kg	43629

V. Datos de disparo

Tabla 10 — Datos del disparo proyecto 3885 – 035

DATOS DEL DISPARO		
Descripción	Unidad	Cantidad
Disparo	proyecto	3885-35
Diametro	Pulg	12.25"
Malla	-	Producción
Tipo de Material	-	Estéril
Burden	m	6.5
Espaciamiento	m	7.5
Cantidad de taladros cargados	u	62
Taladros con Doble Prima	u	0
Taladros con Triple Prima	u	0
Cantidad de taladros Detonados	u	62
Cantidad de Back Up	u	2

VI. Diseño de carga

Proporcionado de P&V Las Bambas.

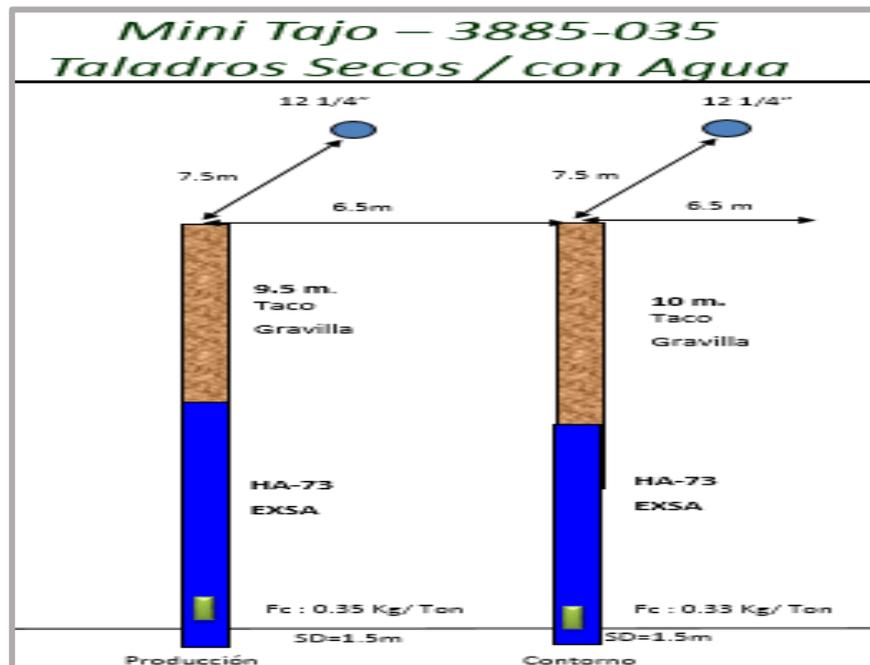


Figura 19 — Diseño de carga proyecto 3885 – 035

Extraído de Perforación y Voladura minera Las Bambas (2016)



VII. Diseño de secuencia de voladura

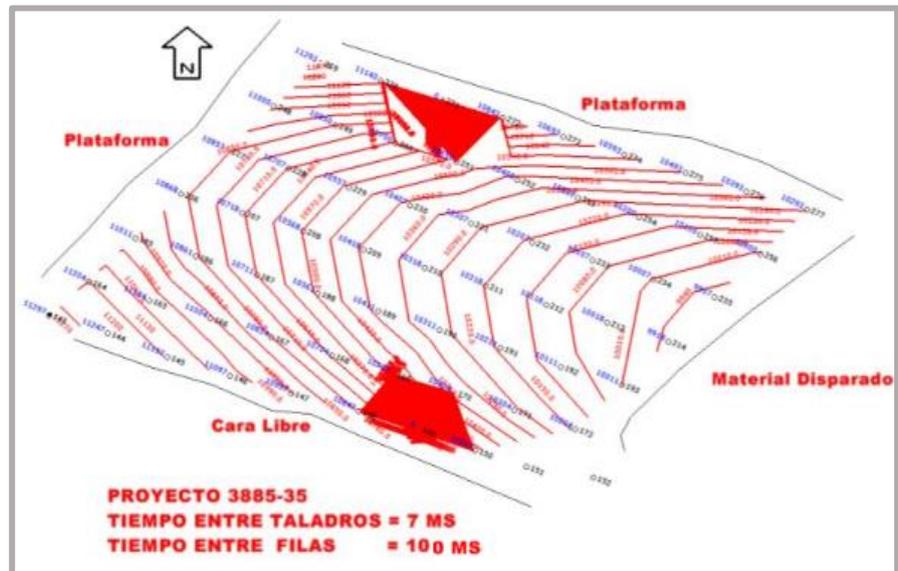


Figura 20 — La secuencia de salida en "V" proyecto 3885 – 035

VIII. Imagen pos voladura

Los resultados del disparo fueron buenos en términos de fragmentación y esponjamiento de material volado.



Figura 21 — Pos voladura proyecto 3885 – 035

IX. Evaluación de gases nitrosos

En la siguiente imagen se puede observar hubo presencia de gases nitrosos, según la escala de gases nitrosos proporcionado por MMG – Las Bambas de la **Tabla 7**, clasificamos Nivel 03.



Figura 22 — Voladura de proyecto 3885 – 035

5.1.2.2 Reporte de voladura 3795 – 036 (Jahuapaylla baja) Tajo Ferrobamba

I. Antecedentes

- Se utilizó emulsión SLURREX MA (emulsión matriz), para la mezcla explosiva en el proyecto.
- Se cargaron un total de 48 taladros en el Proyecto.
- Adyacente a la malla se tuvo un total de 75 taladros cargados por el servicio secundario de EXSA.
- Se usó detonadores pirotécnicos para la conexión de los taladros.
- La secuencia de salida fue en “V”, se aprovechó la zona disparada adyacente del proyecto anterior (Cara Libre) y cuidando la vía.
- Los tiempos entre taladro y taladro fue de 17ms y el tiempo entre filas fueron 42, 65 y 100 ms.
- Se realizó iniciación con 1 detonador I-Kon II.

II. Control de calidad.

Se realizó el control de densidades a la mezcla HA 73, cuyo resultado fue 1.30 g/cc.

Tabla 11 — Datos de densidades del proyecto 3795 – 036

MUESTRA DE DENSIDADES DE CAMPO					
HA 73					
Toma de Densidades					
Peso Vaso	638 gr			Fecha	16/05/2016
Volumen Vaso	1000 cc			Densidad Teorica	1.30 - 1.31
16/05/2016	Tabla de Densidad			Promedio de Mezcla Explosiva HA 73	
	Wvlleno (g)	W HA 73 (g)	Densidad (g/cc)	Wvlleno (g)	W HA 73 (g)
	1950	1312	1.312	1943	1305
	1936	1298	1.298		
		1943	1305	1.305	

III. Resultado de la voladura

- Se utilizaron 91 detonadores pirotécnicos y 49 Booster de 1 lb. Para los taladros cargados.
- La Altura de la pila fue de 2.50 a 3.50 metros aproximadamente, en relación al piso superior nivel del banco volado.
- Se tuvo presencia de gases nitrosos humos pardos.
- Se tuvo 65 taladros con presencia de agua con alturas de 5-10 m de agua en dirección hacia el talud.
- No hubo Fly rocks. Se tuvo buen control del taco.
- La eyección de taco fue mínima.
- Se tuvo una buena fragmentación.

IV. Comentarios

- Proyecto en Jahuapaylla Baja Nv 3795, se realizaron los adelantos de carguío los días 9, 11,12,14 y 16 mes de Mayo, siendo el último el día del disparo.
- Se consumió un total de 17 576 Kg de Slurrex MA y 8 586 Kg de Nitrato de Amonio.
- Se trabajó con camiones B6K-820 (168) y AMC-906 (171).
- Se usó doble iniciación (Ambos Pirotécnico).
- Los resultados del disparo fueron buenos en términos de Fragmentación, Desplazamiento y Esponjamiento.

Tabla 12 — Consumo de agentes de voladura proyecto 3795 – 036

Consumo de Explosivos		
Descripción	Unidad	Cantidad
HA 73	Kg	26162
Carga total	Kg	26162
Agentes de voladura		
Nitrato de amonio	Kg	8586
Emulsión slurrex	Kg	17576
Petróleo	Gl	165
TOTAL	Kg	26162

V. Datos del disparo.

Tabla 13 — Datos de voladura proyecto 3795 – 036

DATOS DE LA VOLADURA			TALADROS	
FECHA		16/05/2016	TALADROS CARGADOS	48
HORA DE DISPARO		02:50:00 p.m.	TALADROS DE PRODUCCION	32
TAJO		Ferrobamba	TALADROS BUFFER	16
BANCO		3795	TALADROS AYUDAS	0
PROYECTO		36		
DIAMETRO DE TALADRO	(pulg)	12 1/4	ACCESORIOS DE VOLADURA	
ALTURA DE BANCO	m	15	HANDIDET 17/800 DE 30m	Pz 91
MALLA	B	E	BOOSTER 1 lb.	Pz 49
PRODUCCION (triangular)	6.5	7.5	CTD 17 ms	Pz 18
TIEMPOS ASIGNADOS	TIEMPO	UNIDAD	CTD 42 ms	Pz 2
ENTRE TALADROS	17	ms	CTD 65 ms	Pz 2
ENTRE FILAS	42/65/100	ms	CTD 100 ms	Pz 1

VI. Volumen y tonelaje volados

Como resultados de la voladura del Py. 3794 – 036 , se puede verificar la cantidad de material disparado, los datos se muestran a continuación:

Tabla 14 — Parámetros de voladura proyecto 3795 – 036

PARAMETROS DE VOLADURA		
Descripción	Unidad	Cantidad
Densidad de la roca	Tn/m3	2.65
Volumen roto	m3	37440
Toneladas rotas	TM	99216
Factor de carga	Kg/m3	0.7
Factor de potencia	Kg/TM	0.26

VII. Diseño de carga

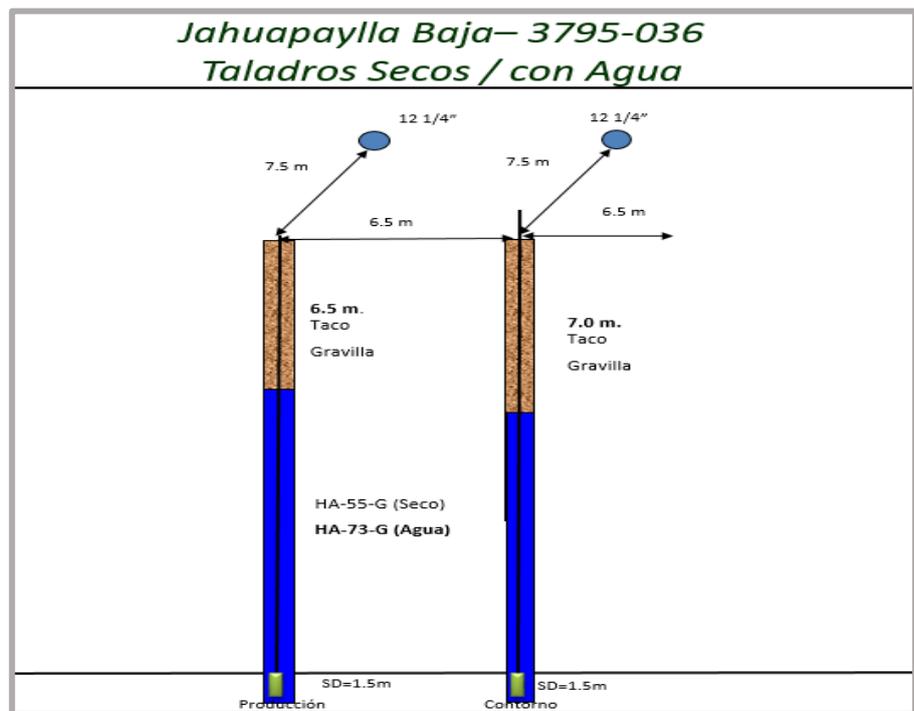


Figura 23 — Diseño de carga proyecto 3795 – 036
Extraído de Perforación y Voladura minera Las Bambas (2016)

VIII. Fotografía pos voladura esponjamiento de material



Figura 24 — Pos voladura proyecto 3795 – 036

IX. Evaluación de gases nitrosos

Según la **Tabla 7**, escala de humos elaborado por MMG - Las Bambas, tipificamos Nivel 02.



Figura 25 — Voladura proyecto 3795 – 036

5.1.2.3 Reporte de voladura 3885 – 047 Mini Tajo Ferrobamba

I. Antecedentes

- En el Proyecto 3885 – 047 se utilizó el Heavy Anfo 73.
- Se cargaron un total 89 taladros La secuencia de salida fue en “V”, destinando el desplazamiento del material a la cara libre ubicada en el proyecto anterior disparado.
- Se utilizaron detonadores pirotécnicos para la conexión de los taladros; y la iniciación se realizó con 1 detonador I-Kon.

II. Control de calidad de producto

- Se determinaron las densidades del producto por cada camión fábrica, logrando una densidad promedio de 1.30 gr/cc.

III. Resultados de voladura

- El Proyecto en Minitajo Nv 3885, se realizaron el carguío el día 02 y 03 del presente mes de Junio con un total de 89 taladros cargados (69 producción y 20 ayudas), siendo el 03 el día del disparo.
- Se consumió un total de 45 221 Kg de Slurrex MA y 18 705 Kg de Nitrato de Amonio.
- Se trabajó con camiones Fábrica de códigos 168 y 171.

- Se usó iniciación electrónica. 1 detonador electrónico.

Tabla 15 — Consumo de explosivo por disparo proyecto 3885 – 047

Consumo de Explosivos		
Descripción	Unidad	Cantidad
HA 73	Kg	64578
Carga total	Kg	64578
Agentes de voladura		
Nitrato de amonio	Kg	18705
Emulsión slurrex	Kg	45221
Petróleo	Gl	203
TOTAL	Kg	64578

IV. Datos de disparo

Tabla 16 — Datos de disparo proyecto 3885 – 047

DATOS DE LA VOLADURA			TALADROS																							
FECHA		03/06/2016	TALADROS CARGADOS		89																					
HORA DE DISPARO		02:38:00 p.m.	TALADROS DE PRODUCCION		69																					
TAJO		Ferrobamba	TALADROS BUFFER		20																					
BANCO		3885	TALADROS AYUDAS		0																					
PROYECTO		48	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">ACCESORIOS DE VOLADURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HANDIDET 17/800 DE 30m</td> <td>Pz</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>BOOSTER 1 lb.</td> <td>Pz</td> <td>131</td> </tr> <tr> <td>CTD 17 ms</td> <td>Pz</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>CTD 42 ms</td> <td>Pz</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>CTD 65 ms</td> <td>Pz</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>CTD 100 ms</td> <td>Pz</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>			ACCESORIOS DE VOLADURA			HANDIDET 17/800 DE 30m	Pz	225	BOOSTER 1 lb.	Pz	131	CTD 17 ms	Pz	4	CTD 42 ms	Pz	7	CTD 65 ms	Pz	12	CTD 100 ms	Pz	14
ACCESORIOS DE VOLADURA																										
HANDIDET 17/800 DE 30m	Pz	225																								
BOOSTER 1 lb.	Pz	131																								
CTD 17 ms	Pz	4																								
CTD 42 ms	Pz	7																								
CTD 65 ms	Pz	12																								
CTD 100 ms	Pz	14																								
DIAMETRO DE TALADRO	(pulg)	12 1/4																								
ALTURA DE BANCO	m	15																								
MALLA	B	E																								
PRODUCCION (triangular)	8.7	10																								
TIEMPOS ASIGNADOS	TIEMPO	UNIDAD																								
ENTRE TALADROS	17	ms																								
ENTRE FILAS	42/65/100	ms																								

V. Diseño de carga

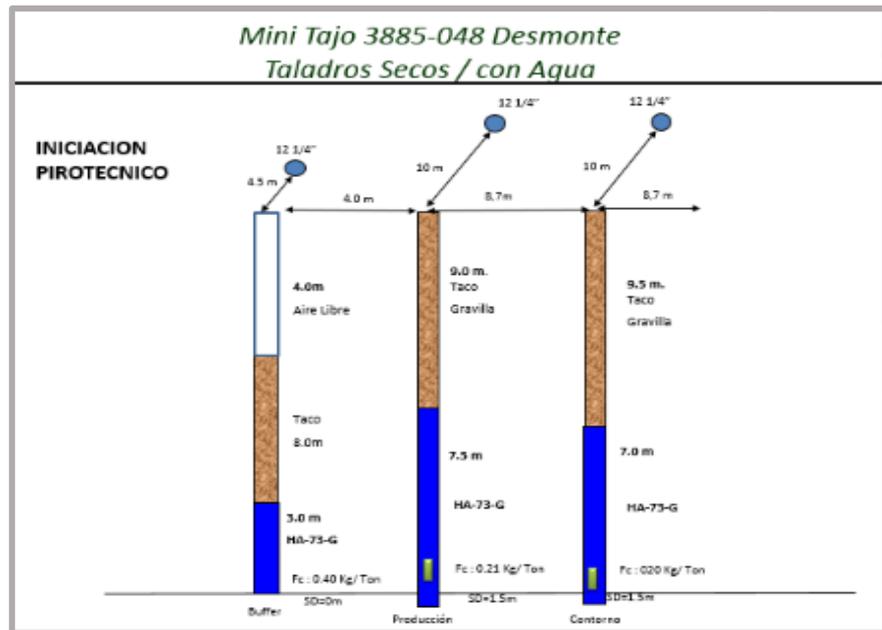


Figura 26 — Diseño de carga proyecto 3885 - 047
Extraído de Perforación y Voladura minera Las Bambas (2016)

VI. Evaluación de humos del disparo

Según la **Tabla 7**, escala de humos elaborado por MMG – Las Bambas, tipificamos Nivel 01.



Figura 27 — Voladura proyecto 3885 – 047

5.1.2.4 Trabajos realizados con Heavy Anfo

En la tabla muestra el resumen de datos de los 11 disparos que se realizó de prueba con HEAVY ANFO. Donde (Minitajo, Jahuapaylla Baja, Jahuapaylla Alta, cantera 01 pertenecen a Tajo Ferrobamba).

Tabla 17 — Datos de los disparos realizados con Heavy Anfo

#Voladura	Fecha 2016	Lugar	Proyecto	Tipo	Material	Numero de Taladros	Taladro Disparados	Malla B*E	Tipo de Explosivo	TOTAL	TONELADA ROTO	FACTOR DE POTENCIA
										Kg	TM	KG/Ton
1	14-may	Minitajo	3885-035	P	DESMONT	62	62	6.50*7.50	HA 73	43629	128,320.6	0.34
2	16-may	Juhuapaylla baja	3795-036	P	DESMONT	48	48	6.50*7.50	HA 73	26162	99216	0.26
3	16-may	Minitajo	3915-045	P	DESMONT	78	78	8.70*10.0	HA 73	65245	287726.4	0.23
4	19-may	Minitajo	3885-038	P	DESMONT	94	94	6.60*7.50	HA73	57351	333662.4	0.17
5	20-may	Cantera 01	3915-046	P	DESMONT	28	28	8.70*10.0	HA 73	16595	72152.17	0.23
6	21-may	Juhuapaylla baja	3870-018	P	DESMONT	57	57	8.70*10.0	HA 73	35397	147487.5	0.24
7	21-may	Cantera 01	3900-046	P	DESMONT	56	56	7.50*10.0	HA 73	28456	129,345.45	0.22
8	29-may	Minitajo	3885-050	P	DESMONT	138	138	8.70*10.0	HA 73	73384	222,375.76	0.33
9	02-jun	Cantera 01	3930-047	P	DESMONT	43	43	8.70*10.0	HA 73	27846	126,572.73	0.22
10	03-jun	Minitajo	3870-039	P	DESMONT	28	28	8.70*10.0	HA 73	21685	108425	0.2
11	03-jun	Cantera 01	3885-048	P	DESMONT	89	89	8.70*10.0	HA 73	64578	307,514.3	0.21
					TOTAL	721	721			460328	1,962,798.3	0.24

5.1.2.5 Reporte de humos de los trabajos realizados con Heavy Anfo

Para identificar el registro de humos se ha usado cámaras filmadoras de alta definición, que esta se ubica en lugar estratégico para visualizar el registro de humos taladro por taladro. Y una vez identificado se compara con la escala de humos. (Formato proporcionado por MMG – Las Bambas). Según la escala de humos de los disparos realizados con Anfo pesado se tipifica en escala 03 moderado color naranja según la **Tabla 7** (escala de gases). A continuación, se muestra la imagen de escala de Humos.

Tabla 18 — Reporte de gases nitrosos de los trabajos realizados con Heavy Anfo

DIA DE DISPARO	Nro TALADROS	NIVEL Y PROYECTO	ZONA	TIPO DE MEZCLA	DENSIDAD (gr/cm ³)	ESCALA NIVEL DE HUMOS	PRESENCIA DE AGUA	EVIDENCIA FOTOGRAFICA
14-may	62	3885-035	Minitajo	HA-73	1.30	3	SI	
16-may	78	3795-045	Minitajo	HA-73	1.29	3	SI	
19-may	94	3885-038	Minitajo	HA-73	1.30	1	NO	
20-may	28	3915-046	cantera 01	HA-73	1.31	3	SI	
21-may	57	3780-018	juahua baja	HA-73	1.29	3	SI	
21-may	56	3900-046	cantera 01		1.30	3	SI	
29-may	138	3885-050	Minitajo	HA-73	1.29	3	SI	
02-jun	43	3930-047	cantera 01	HA-73	1.30	4	SI	
03-jun	28	3780-039	Minitajo	HA-73	1.31	3	SI	
03-jun	89	3835-048	cantera 01	HA-73	1.30	2	SI	

6.1.3 Voladuras realizadas con Tecnología Quantex

5.1.3.1 Calibración del camión en campo

Una vez abastecido todos los agentes de voladura como emulsión, nitrato de amonio, petróleo D2 y nitrito de sodio, se realiza calibración en campo del camión para realizar carguío de los taladros.



Figura 28 — Calibración de mezclador en campo

5.1.3.2 Control de densidad en campo

Control de densidad de mezcla explosiva Quantex MEQ-73, se realiza en el segundo taladro para obtener una mezcla homogénea y al inicio se debe tener una densidad inicial de 1.35 gr/cc.



Figura 29 — Control de densidades en campo

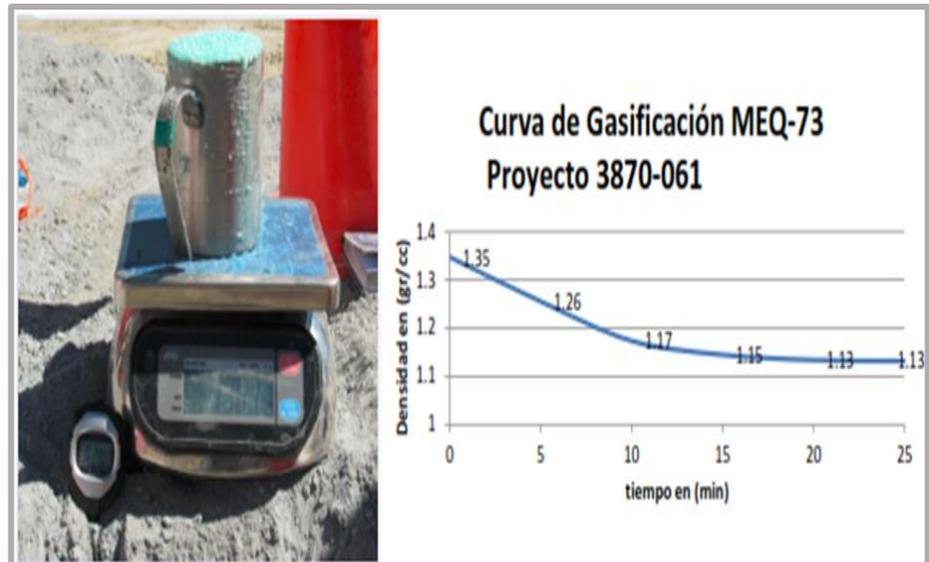


Figura 30 — Gasificación de la mezcla explosiva Quantex

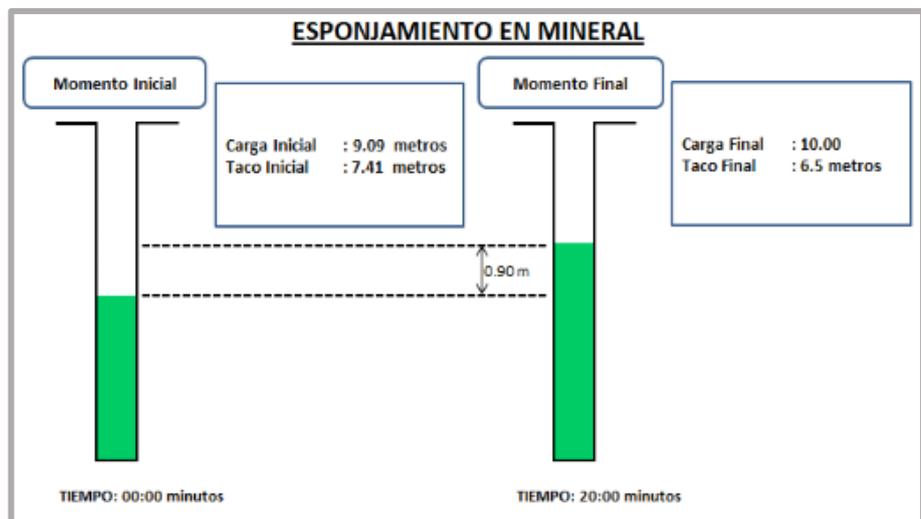


Figura 31 — Esponjamiento de mezcla explosiva Quantex en mineral

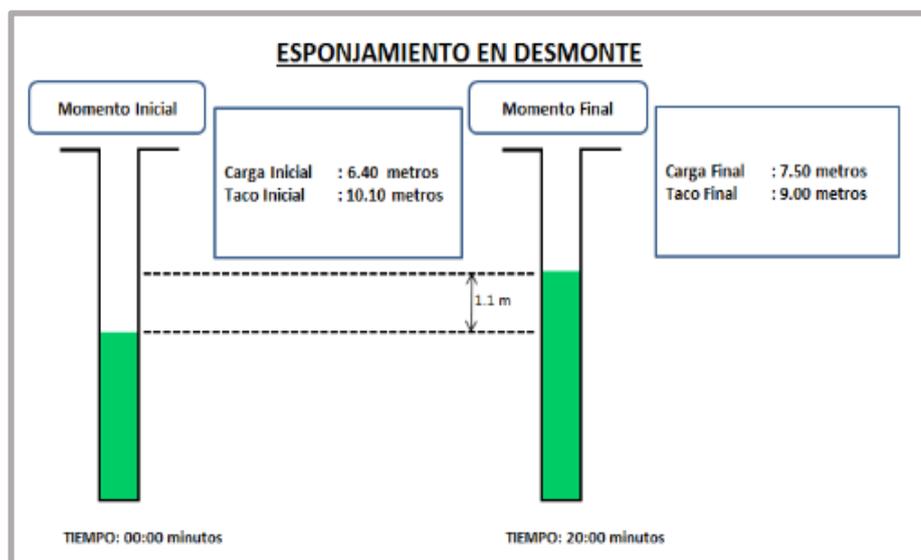


Figura 32 — Esponjamiento de mezcla explosiva Quantex en desmonte

5.1.3.3 Voladuras realizadas con Tecnología Quantex

I. Reporte de voladura 3765 – 011

- En el Proyecto 3765 – 011 se utilizó el MEQ-73.
- Se cargaron un total de 94 taladros (79 taladros de producción y 15 buffer).
- La secuencia de salida fue en “V”, destinando el desplazamiento del material a la cara libre.
- Se utilizaron detonadores electrónicos para la conexión de los taladros; y la iniciación realizó el proveedor actual empresa Orica.

II. Controles de calidad de Tecnología Quantex

Se determinaron las densidades del producto por cada camión fábrica, logrando una densidad inicial promedio de 1.36 gr/cc. Alcanzando una densidad final de 1.14 - 1.15gr/cc.

III. Resultados

- No se tuvo presencia de gases. Nivel de gases: Nivel 0
- Los resultados del disparo fueron buenos en términos de fragmentación, desplazamiento y esponjamiento.

IV. Comentarios

El Proyecto en Jahuapaylla Baja Nv 3965, se realizaron el carguío el día 22 de Junio completando el total de la malla el 23 del presente con un total de 94 taladros cargados, siendo el 23 junio 2016 el día del disparo.

Se consumió un total de 66 035 Kg de emulsión Q y 27 497 Kg de Nitrato de amonio Quantex. Se trabajó con camiones Fábrica de códigos 168 y 171.

V. Consumo de explosivo

Tabla 19 — Consumo de explosivo de proyecto 3765 – 011

AGENTES DE VOLADURA		
NITRATO DE AMONIO QUANTEX	Kg	27497
EMULSION Q	Kg	66035
SOLUCION GASIFICANTE (NITRITO DE SODIO)	Kg	330
PETROLEO	gl	265
TOTAL	Kg	94336



VI. Datos de voladura

Tabla 20 — Consumo de explosivo de proyecto 3765 – 011

DATOS DE LA VOLADURA			ACCESORIOS DE VOLADURA		
FECHA		23/06/2016	EXEL 800ms DE 30m	Pz	238
HORA DE DISPARO		03:40:00 p.m.	I-KON	Pz	238
TAJO		Ferrobamba	BOOSTER 2 lb.	Pz	239
BANCO		3765	CABLE DE DISPARO	rollo	0
PROYECTO		11	TALADROS		
DIAMETRO DE TALADRO	(pulg)	12 1/4	TALADROS CARGADOS		94
ALTURA DE BANCO	m	16.5	TALADROS DE PRODUCCION		79
MALLA		B E	TALADROS BUFFER		15
PRODUCCION (triangular)		6 7	TALADROS AYUDAS		0
TIEMPOS ASIGNADOS		TIEMPO UNIDAD			
ENTRE TALADROS		1 ms			
ENTRE FILAS		100/150 ms			

VII. Diseño de carga de proyecto 3765 – 011

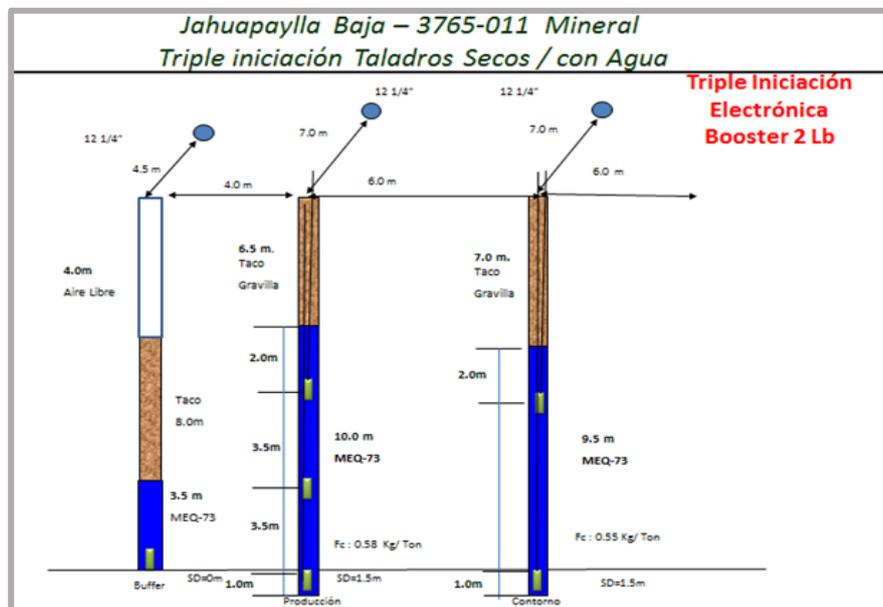


Figura 33 — Diseño de carga proporcionado por la mina
 Extraído de Perforación y Voladura minera Las Bambas (2016)

VIII. Carguío de taladros proyecto 3765 – 011

Se ha realizado carguío de taladros una parte Exsa y la otra parte proveedor actual como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 34 — Fotografía Pre voladura de proyecto 3765 – 011

IX. Evaluación visual de humos de proyecto 3765 – 011

De la siguiente fotografía se interpreta en escala de humos de **Tabla 7**, para Exsa con Tecnología Quantex se tipifica en Nivel 0 mientras del proveedor actual se tipifica en Nivel 01.



Figura 35 — Evaluación de humos proyecto 3765 – 011

X. Control de densidades

Para control de densidades se tomaron muestra en el carguío de segundo taladro y se realiza su control correspondiente obteniendo una densidad inicial promedio de 1.36 gr/cc y densidad final de 1.15 gr/cc.

Tabla 21 — Toma de densidades de proyecto 3765 - 011

Toma de Densidades																					
Peso Vaso	638 gr	Fecha	23/06/2016																		
Volumen Vaso	1000 cc	Densidad Teorica	1.14 - 1.15																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tabla de Densidad</th> </tr> <tr> <th>Densidad inicial (gr/cc)</th> <th>Densidad final (gr/cc)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22/06/2016</td> <td>1.385</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.343</td> </tr> <tr> <td>23/06/2016</td> <td>1.363</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.354</td> </tr> </tbody> </table>		Tabla de Densidad		Densidad inicial (gr/cc)	Densidad final (gr/cc)	22/06/2016	1.385		1.343	23/06/2016	1.363		1.354	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Promedio de Mezcla Explosiva MEQ - 73 (20 minutos)</th> </tr> <tr> <th>Densidad inicial (gr/cc)</th> <th>Densidad final (gr/cc)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.36</td> <td>1.15</td> </tr> </tbody> </table>	Promedio de Mezcla Explosiva MEQ - 73 (20 minutos)		Densidad inicial (gr/cc)	Densidad final (gr/cc)	1.36	1.15
Tabla de Densidad																					
Densidad inicial (gr/cc)	Densidad final (gr/cc)																				
22/06/2016	1.385																				
	1.343																				
23/06/2016	1.363																				
	1.354																				
Promedio de Mezcla Explosiva MEQ - 73 (20 minutos)																					
Densidad inicial (gr/cc)	Densidad final (gr/cc)																				
1.36	1.15																				

I. Reporte de voladura de proyecto 3870 – 52 y 3855 - (19-20-21) Mini Tajo

- El día 02 de Julio de 2016, se realizó el Disparo en el Proyecto 3870 – 052 con 37 tal cargados, 3855 - (19-20-21) con 111 tal cargados y 3855 – 021 con un total de 48 taladros cargados con la Mezcla Explosiva Quantex.
- El camión mezclador empleado en esta prueba fue de 168 y 171.
- En el proceso de carguío de la Mezcla Explosiva Quantex se realizó el control de calidad del producto, teniendo con esto registros de toma de densidad, curva de gasificación.
- La mezcla que se utilizó es de MEQ-73.
- La secuencia de salida para el proyecto 3855 - (19-20-21) fue en “V” destinando el desplazamiento del material a la cara libre lado sur del
- proyecto y el proyecto 3870 – 52 fue en Diamante.
- Se utilizaron detonadores electrónicos para la conexión de los taladros en el
- proyecto 3885 - (19-20-21) y para el Proyecto. 3870 – 52 se realizó con pirotécnico; y la iniciación la realizó el proveedor actual.

II. Instalación de equipo para análisis de VOD

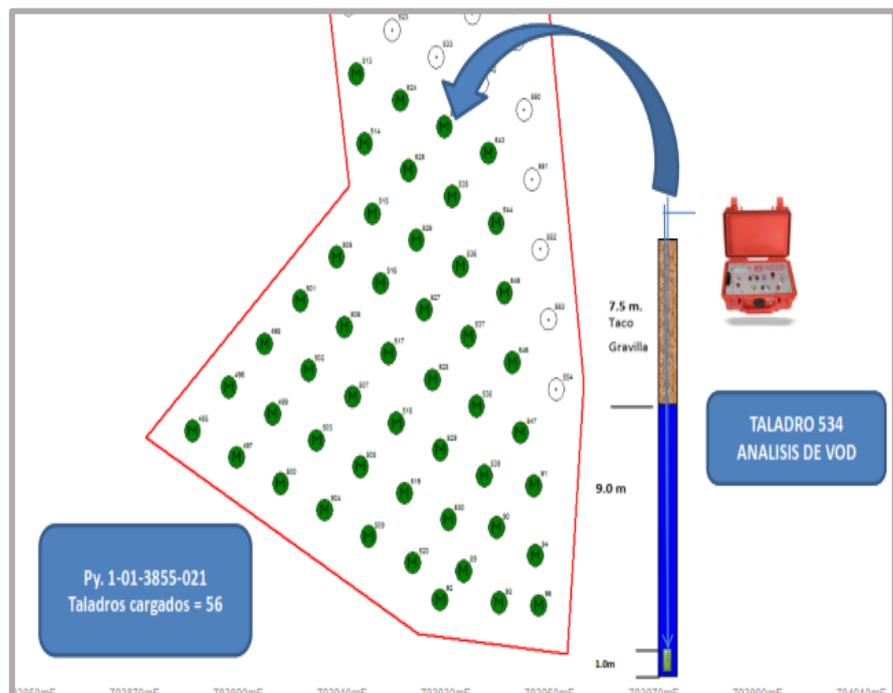


Figura 36 — Ubicación de equipos para medición de VOD

III. Diseño de carga para los proyectos 3870 – 52 y 3855 - (19-20-21)

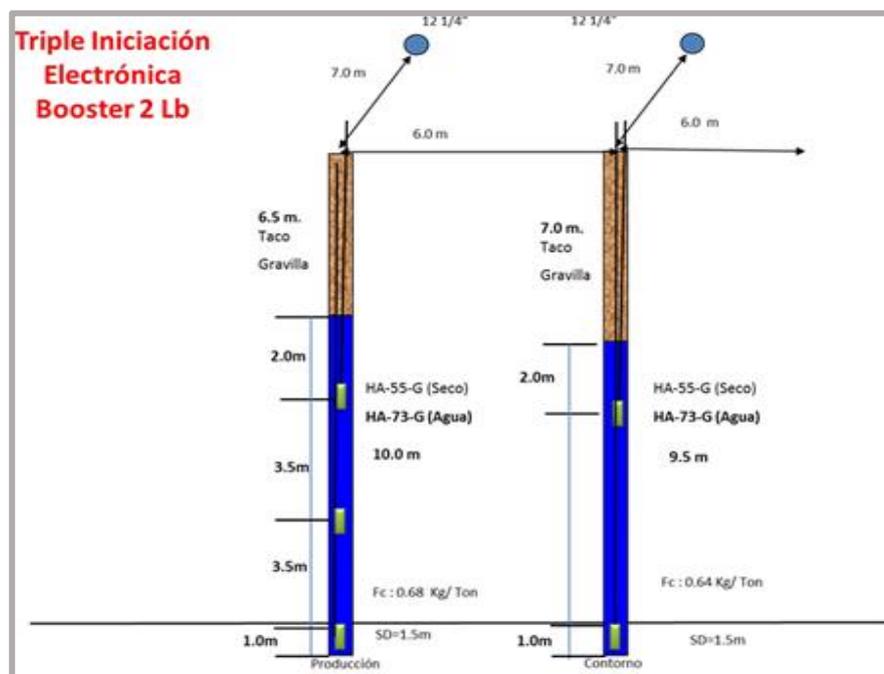


Figura 37 — Diseño de carga triple y doble iniciación
Extraído de Perforación y Voladura minera Las Bambas (2016)

IV. Datos consumo de voladura proyectos 3870 – 52 y 3855 - (19-20-21)

Tabla 22 — Consumo de accesorios de voladura

CONSUMO DE EXPLOSIVO		PROYECTOS				
	3855	3855-019	3855-020	3855-021	3870-052	
MEQ	73	73	73	73	73	
NITRATO DE AMONIO QUANTEX	4,644	8,624	11,278	10,471	8,484	
EMULSION Q	11,171	20,745	27,128	25,189	20,409	
SOLUCION GASIFICANTE	56	104	136	125	102	
PETROLEO	45	83	109	99	82	
CARGA TOTAL	15,958	29,636	38,755	35,986	29,156	

Fecha	Lugar	Proyecto	Tipo	Exel Handydol 18.2m x800 ms (Pza)	Penrex 1 Lb (Pza)	Penrex 2 Lb (Pza)	Exel Conectaded 12m x 17 ms (Pza)	Exel Conectaded 12m x 42 ms (Pza)	Exel Conectaded 12m x 65 ms (Pza)	Exel Conectaded 12m x 100 ms (Pza)	1-Kon Rx (Pza)
02-jul	Minitajo	1-01-3870-052	P	74	37	0	10	12	10	3	1
02-jul	Minitajo	1-01-3855-019	P	96	0	96	0	0	0	0	96
02-jul	Minitajo	1-01-3855-020	P	141	0	141	0	0	0	0	141
02-jul	Minitajo	1-01-3855-	P	48	0	48	0	0	0	0	48
02-jul	Minitajo	1-01-3855-021	P	60	0	60	0	0	0	0	60

CONSUMO KG EXP/TAL EN PROMEDIO:

1. PY. 3855-019: 759 kg/tal (Mineral)	3. PY. 3855-021: 643 kg/tal (Desmonte)
2. PY. 3855-020: 759 kg/tal (Mineral)	4. PY. 3870-052: 788 kg/tal (Mineral&Desmonte)

V. Análisis gasificación de mezcla explosiva Quantex

En la siguiente figura se hace una representación gráfica de la curva de gasificación de Tecnología Quantex teniendo como densidad inicial de 1.37 gr/cc y densidad final de 1.13 gr/cc.

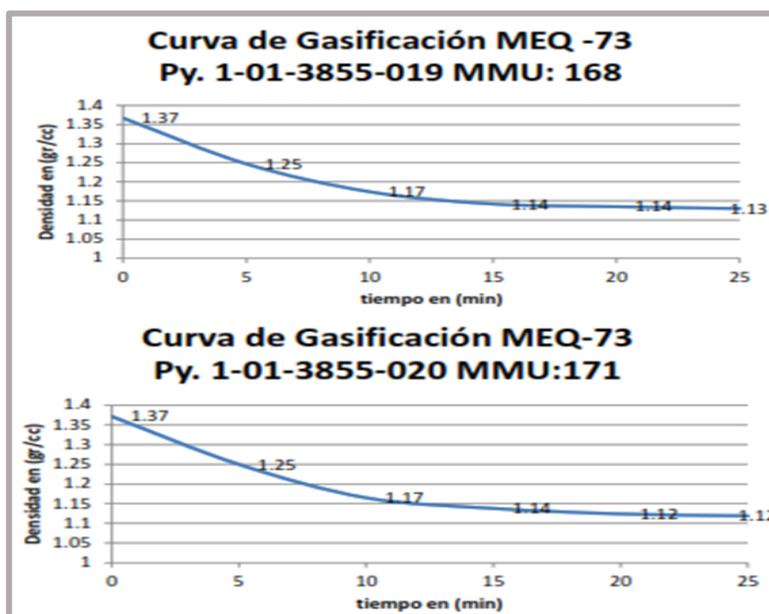


Figura 38 — Curva de gasificación de mezcla explosiva Quantex

VI. Análisis de VOD de proyecto 3855 – 021

Para el análisis de VOD se instala los accesorios en un taladro representativo, tomando en cuenta el daño que podría sufrir el equipo medidor de VOD, una vez obtenido los datos se procesa en gabinete, como resultado se puede observar un régimen constante de 5600 m/s.

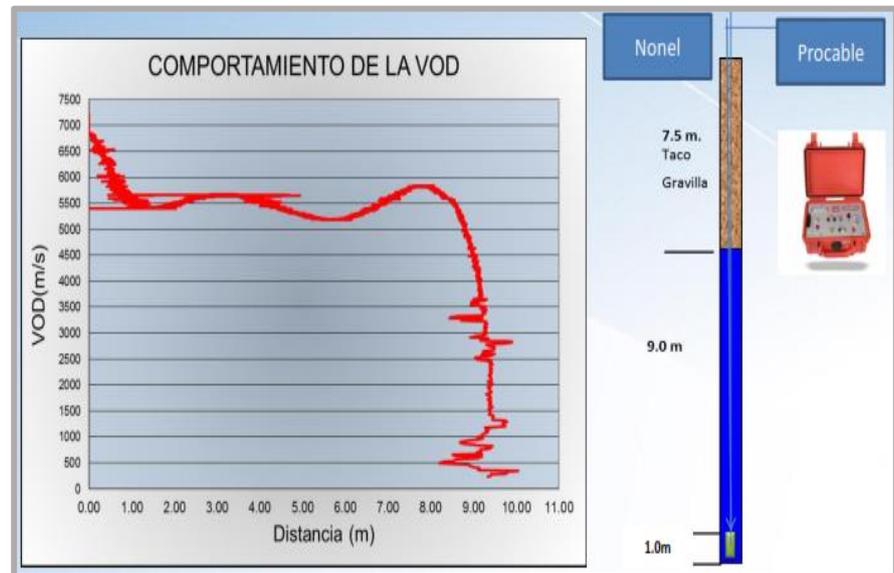


Figura 39 — Comportamiento de VOD régimen contante ME Quantex

VII. Análisis de Granulometría a partir de imagen de proyecto 3855 – 021

Procesamiento de datos con software Split Engineering a través de imagen de campo.

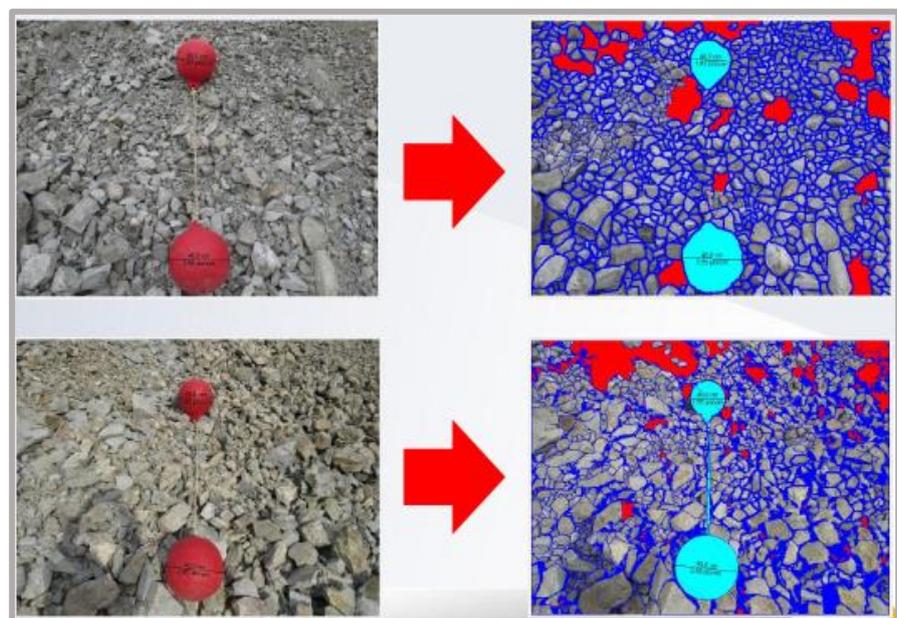


Figura 40 — Análisis de granulometría en software Split Engineering

VIII. Análisis de granulometría P80 de proyecto 3855 – 021

Para el análisis de granulometría se toma fotografía de campo después de la voladura, luego se procesó con el software Split Engineering de donde se puede observar el P80 es 5.10 pulgadas que se encuentra dentro de parámetro requerido por la minera.

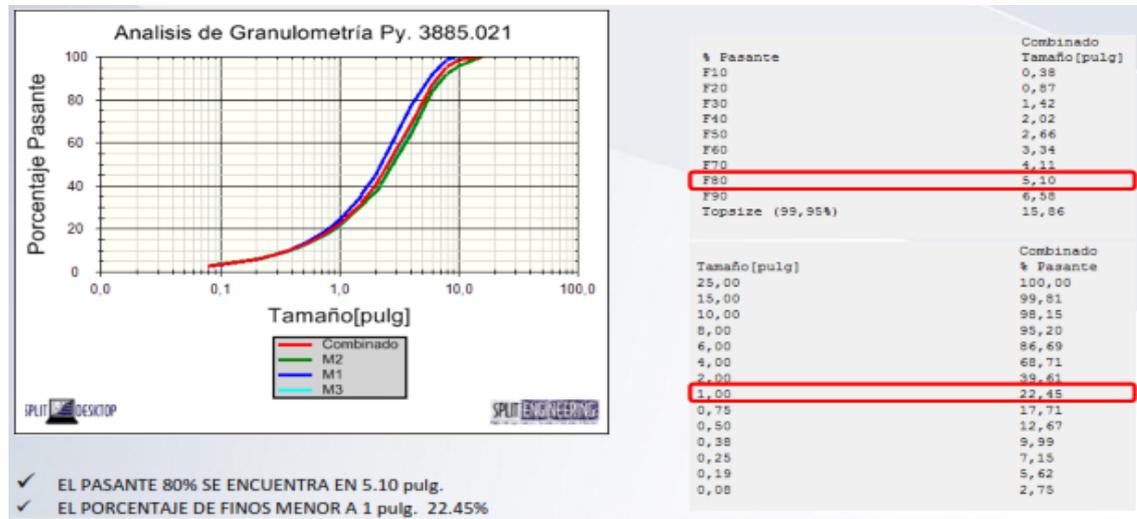


Figura 41 — Análisis de granulometría y representación gráfica

IX. Análisis de humos de proyecto 3855 – 021

De la siguiente fotografía se interpreta en escala de humos de **Tabla 7**, para Exsa con Tecnología Quantex se tipifica en Nivel 0 mientras del proveedor Actual se tipifica en Nivel 01.



Figura 42 — Pos voladura de proyecto 3855 – 021

5.1.3.4 Tapado de taladros

El proceso de tapado de taladros se realiza con equipo Mini Cargador, se implementa un tubo PVC de largo 3m y con diámetro 1.5pulg, diseñado

especialmente para cubrir la línea descendente y que el personal de apoyo mantenga una distancia segura de 2.5 m con respecto al movimiento del equipo (no ubicarse en el punto ciego). La visualización y comunicación es gestual entre operador y ayudante.

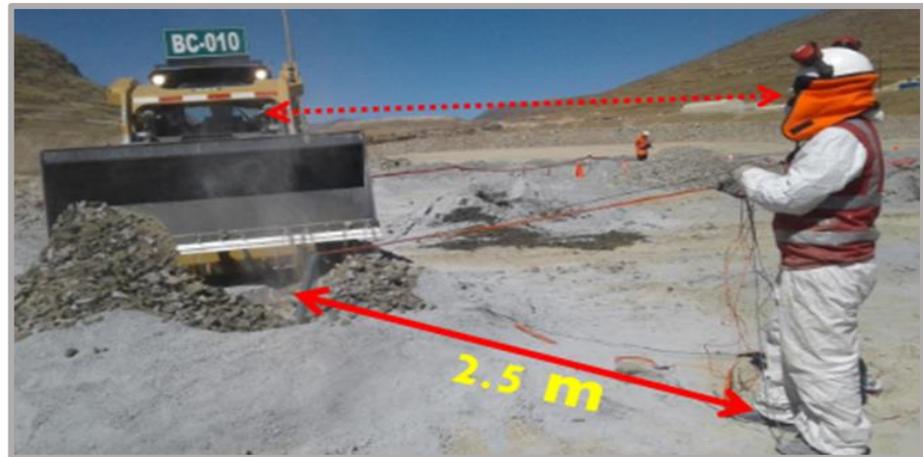


Figura 43 — Tapado de taladro con mini cargador

5.1.3.5 Diseño de carga

El diseño de carguío de taladros para la producción es de triple iniciación, para el contorno doble iniciación y para Buffer con una sola iniciación. El objetivo de la triple iniciación es para que la energía sea compartida en toda la longitud de taladro de esa forma se puede lograr una buena fragmentación uniforme y también para evitar tiros cortados.

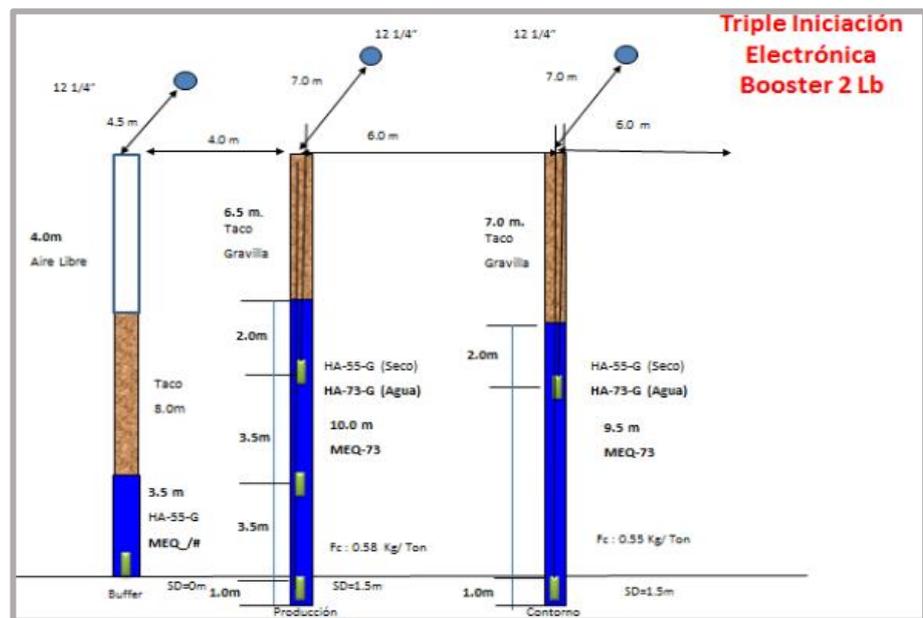


Figura 44 — Diseño de carga para mezcla explosiva Quantex
Extraído de Perforación y Voladura minera Las Bambas (2016)

5.1.3.6 Rendimiento de equipos de carguío

Para el rendimiento de equipo se controla el tiempo de carguío de la pala (el ciclo de la pala) y la capacidad del camión por viaje. Los datos obtenidos son de horas efectivas de trabajo de la pala en donde se interpreta en 1.02 horas carga 8953 ton. Para el buen rendimiento de la pala la fragmentación es muy importante.

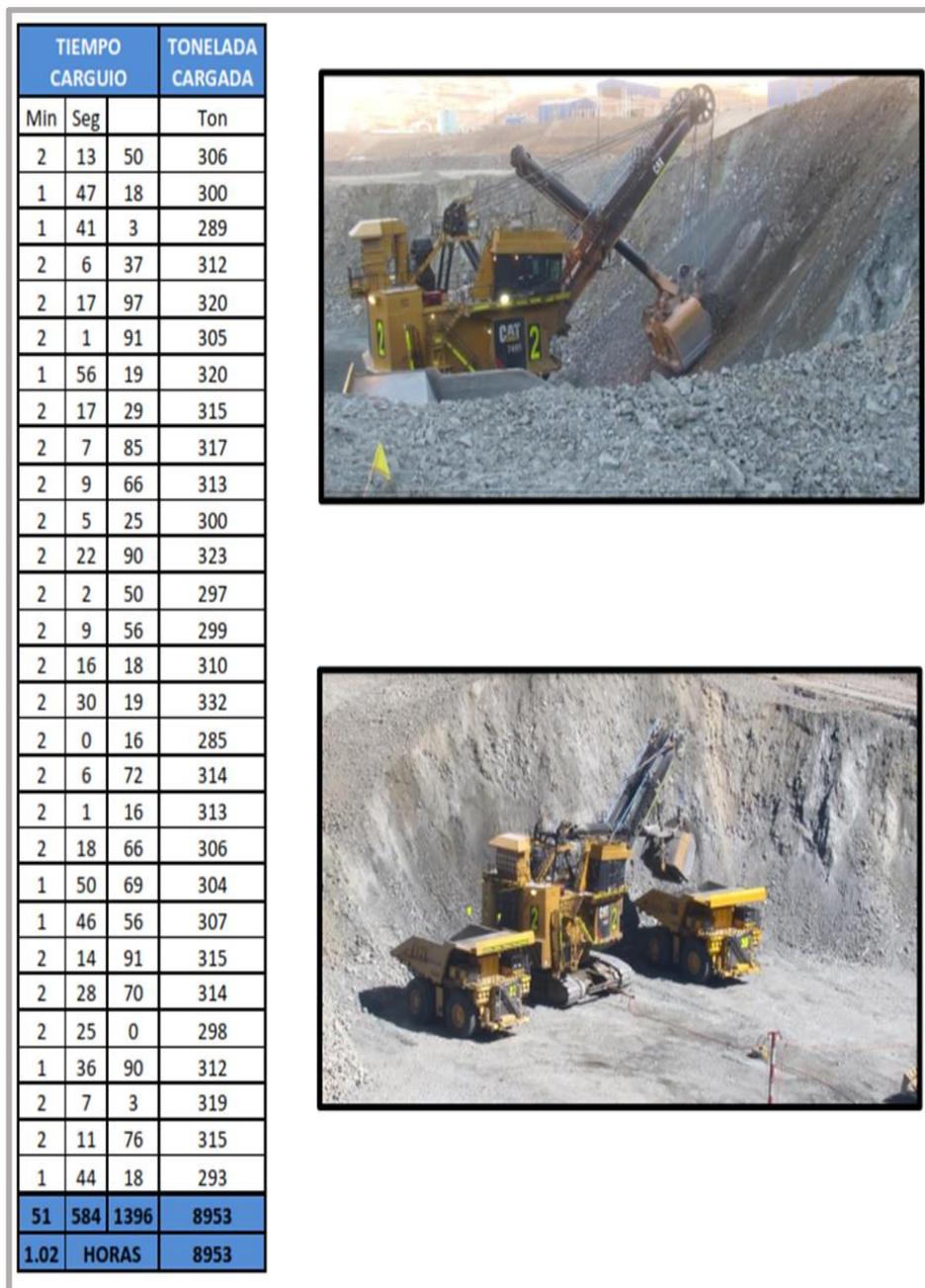


Figura 45 — Tabla de rendimiento de la pala

5.1.3.7 Trabajos realizados con Tecnología Quantex

Las pruebas con nuestra Tecnología Quantex fueron realizadas en 11 proyectos de voladura, ejecutados del día 23 de junio al 05 de julio del 2016 los cuales fueron trabajados con una densidad final de 1.13-1.14 gr/cc para mineral y 0.98-1.00 gr/cc cuando se desarrollaron voladura en desmonte; logrando obtener un esponjamiento de 10 cm/m. en mineral y 17 cm/m en desmonte. A continuación, el detalle de los mismos:

Tabla 23 — Datos de las voladuras realizadas con Tecnología Quantex

# Voladuras	Fecha	Lugar	Proyecto	Tipo	Material	Numero de Taladros	Taladros Disparados	Malla (B*E)	Tipo de explosivo	TOTAL	TONELAJE ROTO	FACTOR DE POTENCIA
										kg	TM	Kg/Ton
1	23-jun	Jahuapaylla Baja	1-01-3765-011	P	MINERAL	94	94	6.0 * 7.0	MEQ-73	94,336	141,878	0.66
2	25-jun	Minitajo	1-01-3870-053	P	MINERAL	36	36	6.0 * 7.0	MEQ-73	33,342	73,809	0.45
3	26-jun	Jahuapaylla Baja	1-01-3780-034	P	MINERAL	35	33	6.0 * 7.0	MEQ-73	27,091	25,605	1.06
4	29-jun	Minitajo	1-01-3870-057	P	MINERAL	56	56	6.0 * 7.0	MEQ-73	51,380	118,125	0.43
5	02-jul	Minitajo	1-01-3870-052	P	DESMONT	37	37	8.7*10.0	MEQ-73	29,156	133,193	0.22
6	02-jul	Minitajo	1-01-3855-019	P	MINERAL	39	39	6.5*7.50	MEQ-73	29,636	74,382	0.40
7	02-jul	Minitajo	1-01-3855-020	P	MINERAL	51	51	6.5*7.50	MEQ-73	46,784	98,684	0.47
8	02-jul	Minitajo	1-01-3855-018	P	MINERAL	21	21	6.0*7.0	MEQ-73	18,347	39,205	0.47
9	02-jul	Minitajo	1-01-3855-021	P	DESMONT	48	48	8.7*10.0	MEQ-73	35,988	146,456	0.25
10	03-jul	Cantera 01	1-01-3900-055	P	DESMONT	45	45	8.7*10.0	MEQ-73	27,084	136,588	0.20
11	05-jul	Minitajo	1-01-3870-051	P	DESMONT	17	17	8.7*10.0	MEQ-73	13,030	37,941	0.34
						479	477		CONSUMO	406,174	1,025,866	0.40

Registro de humos

La presencia de Humos Pardos en el proyecto es un grave problema que afecta al medio ambiente. Durante las pruebas se ha controlado adecuadamente los factores evitando la generación de cualquier tipo de gases. De acuerdo a la escala visual de gases nitrosos generados por voladura (Formato proporcionado por MMG – Las Bambas, **Tabla 7**) los disparos se ubican en Nivel 01.



Tabla 24 — Resumen de los gases nitrosos de los trabajos realizados con Tecnología Quantex

Dia de Disparo	Nivel	Proyecto	Nro taladros	kilos	Zona	Tipo de Mezcla	Densidad final (gr/cm3)	Nro taladros con humos	% de Humos	Escala Nivel de Humos	Presencia de agua	Ubicacion de taladros con Humos Naranjas	Evidencia Fotografica
23/06/2016	3765	011	94	94336	jahua baja	70/30	1.15	5	5.32%		60% de los taladros con agua	Parte Este del Proyecto 3765-011 saio 3 tal. Y de la parte sur 2 tal.	
25/06/2016	3870	053	36	33342	Minitajo	70/30	1.13	0	0.00%	0	85% de los taladros con agua	-	
26/06/2016	3780	034	35	27091	jahua baja	70/30	1.14	0	0.00%	0	90% de los taladros con agua de 12 m	-	
29/06/2016	3870	057	56	51380	Minitajo	70/30	1.13	1	1.61%	1	100% de los taladros con agua de 11m	Lado sur del proyecto de Disparado	
02/07/2016	3870	052	37	29156	Minitajo	70/30	1.11	0	0.00%	0	0% en el proyecto de Disparo	-	
02/07/2016	3855	019	39	29636	Minitajo	70/30	1.14	0	0.00%	0	95% promedio 4.5m de agua	-	
02/07/2016	3855	020	51	46784	Minitajo	70/30	1.14	0	0.00%	0	97% promedio 8m de agua	-	
02/07/2016	3855	018	21	18347	Minitajo	70/30	1.10	0	0.00%	0	45% promedio 3m de agua	-	
03/07/2016	3900	055	45	27084	Cantera 01	70/30	1.11	2	1.37%	1	80% promedio 4.5 de agua	Lado sur del proyecto de Disparado	
05/07/2016	3870	051	17	13030	Minitajo	70/30	1.10	0	0.00%	0	80% promedio 5.0m de agua	-	

6.2 Discusión de los resultados

Se ha realizado pruebas con ANFO PESADO y TECNOLOGIA QUANTEX, donde a continuación analizaremos los beneficios que ofrecen cada producto desde el punto de vista económico y el impacto al medio ambiente.

6.3 Densidad de las mezclas explosivas

Tabla 25 — Densidades de mezclas explosivas de Heavy Anfo y Tecnología Quantex

ITEM	ANFO PESADO		DENSIDAD (gr/cc)	TECNOLOGIA QUANTEX		DENSIDAD INICIAL (gr/cc)	DENSIDAD FINAL (gr/cc)
	NIVEL-PROY.	MATERIAL		NIVEL-PROY.	MATERIAL		
1	3885-035	DESMONTE	1.3	3765-011	MINERAL	1.36	1.15
2	3795-036	DESMONTE	1.29	3870-053	MINERAL	1.35	1.13
3	3915-045	DESMONTE	1.3	3780-034	MINERAL	1.36	1.14
4	3885-038	DESMONTE	1.31	3870-057	MINERAL	1.35	1.13
5	3915-046	DESMONTE	1.29	3870-052	DESMONTE	1.37	1.11
6	3870-018	DESMONTE	1.3	3855-019	MINERAL	1.36	1.14
7	3900-046	DESMONTE	1.29	3855-020	MINERAL	1.35	1.14
8	3885-050	DESMONTE	1.3	3855-018	MINERAL	1.36	1.3
9	3930-047	DESMONTE	1.3	3855-021	DESMONTE	1.35	1.1
10	3870-039	DESMONTE	1.31	3900-055	DESMONTE	1.36	1.11
11	3885-048	DESMONTE	1.3	3870-051	DESMONTE	135	1.1

6.3.1 Heavy Anfo

La mezcla explosiva Heavy Anfo trabaja con una densidad estática porque no varía con respecto al tiempo y las densidades es de acuerdo al tipo de mezcla como HA-73, HA-64, HA-55 y otros, cada tipo de mezcla ya tienen densidad definido y se va usar de acuerdo al tipo de terreno como se puede observar en la **Tabla 25**.

6.3.2 Tecnología Quantex (MEQ)

La mezcla explosiva Quantex trabaja con una densidad variable esto quiere decir que varía de acuerdo al tiempo, en un promedio de 20 min llega a su densidad final, esta variación es por esponjamiento de la mezcla explosiva. En donde se ha obtenido como densidad final de 1.13-1.15 gr/cc para mineral y 0.98-1.11 gr/cc para desmonte; logrando obtener un esponjamiento de 10 cm/m. en mineral y 17 cm/m en desmonte como se puede observar en la **Tabla 25**.

La Tecnología Quantex es dinámico se puede adecuar a todo tipo de roca, quiere decir si en una parte tengo roca dura se trabaja con densidad promedio mayor de 1.14 gr/cc y en caso de roca suave se puede trabajar con densidad menor a 1.14

gr/cc. Para ello es muy importante el control de densidad ya que es directamente proporcional al VOD.

6.4 Factor de potencia de las mezclas explosivas

Tabla 26 — Factor de potencia de mezclas explosivas de Heavy Anfo y Tecnología Quantex

ITEM	ANFO PESADO		FACTOR DE POT. (Kg/Ton)	TECNOLOGIA QUANTEX		FACTOR DE POT. (Kg/Ton)
	NIVEL-PROY.	MATERIAL		NIVEL-PROY.	MATERIAL	
1	3885-035	DESMONTE	0.34	3765-011	MINERAL	0.66
2	3795-036	DESMONTE	0.26	3870-053	MINERAL	0.45
3	3915-045	DESMONTE	0.23	3780-034	MINERAL	1.06
4	3885-038	DESMONTE	0.17	3870-057	MINERAL	0.43
5	3915-046	DESMONTE	0.23	3870-052	DESMONTE	0.22
6	3870-018	DESMONTE	0.24	3855-019	MINERAL	0.4
7	3900-046	DESMONTE	0.22	3855-020	MINERAL	0.47
8	3885-050	DESMONTE	0.33	3855-018	MINERAL	0.47
9	3930-047	DESMONTE	0.22	3855-021	DESMONTE	0.25
10	3870-039	DESMONTE	0.2	3900-055	DESMONTE	0.2
11	3885-048	DESMONTE	0.21	3870-051	DESMONTE	0.34

6.4.1 Heavy Anfo

Al comienzo de la prueba de voladuras en Tajo Ferrobamba minera Las Bambas (2016) se realizaron disparos con Heavy Anfo en donde todas las voladuras realizadas son en DESMONTE obteniendo como factor de potencia promedio es 0.24Kg/Ton como se puede observar en la **Tabla 26**.

6.4.2 Tecnología Quantex (MEQ)

La mezcla explosiva Tecnología Quantex, la mayor parte de las voladuras realizadas es en mineral en donde se tiene factor de potencia promedio 0.52 Kg/Ton y en desmonte 0.24 Kg/Ton. Como se puede observar en la **Tabla 26**.

De la **Tabla 26**. De factor de potencia de los explosivos se puede interpretar que en desmonte se llega obtener 0.24Kg/Ton. Tanto con Tecnología Quantex y Heavy Anfo. Con ello se puede afirmar que a pesar de que se trabaja menos 105 Kg/taladro que equivales a un promedio de 1 metro de carga explosiva se puede obtener mismo factor de potencia que Heavy Anfo, gracias a sus características que ofrece Tecnología Quantex.

6.5 Velocidad de Detonación (VOD)

6.5.1 Heavy Anfo

La mezcla explosiva Heavy Anfo se ha observado que se tiene buena velocidad de detonación con un promedio de 5600 m/s. en zonas donde no hay presencia de agua se obtiene buenos resultados.

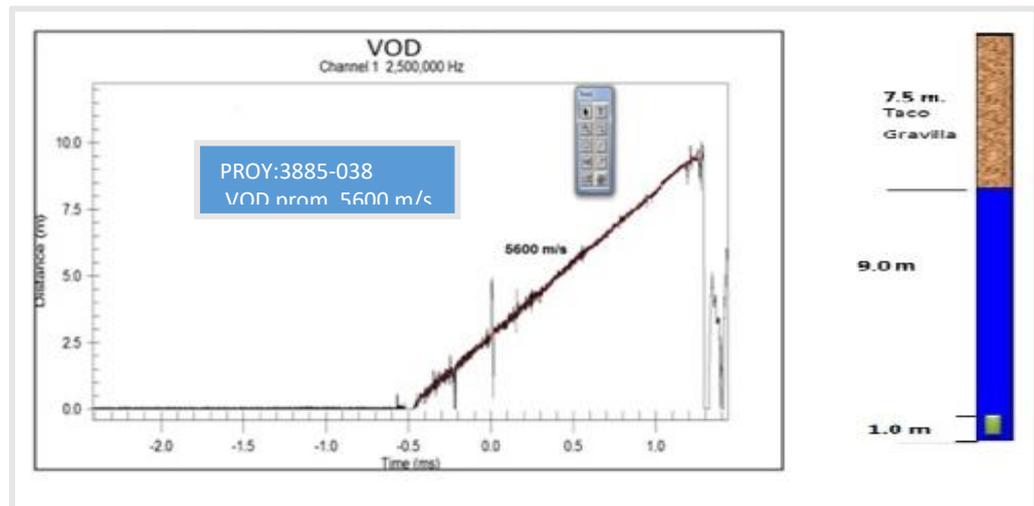


Figura 46 — Velocidad de detonación de Heavy Anfo

6.5.2 Tecnología Quantex (MEQ)

La velocidad de detonación (VOD) es proporcional a la potencia cedida por la detonación del explosivo. Por esta razón es importante llevar registros de VOD para controlar la impedancia y la energía entregada por el explosivo durante la detonación de un taladro. Así mismo se puede apreciar el comportamiento de la velocidad a lo largo del taladro, manteniendo su velocidad régimen hasta una distancia de 8.8 metros. Con un (VOD) promedio de 5600 m/s.

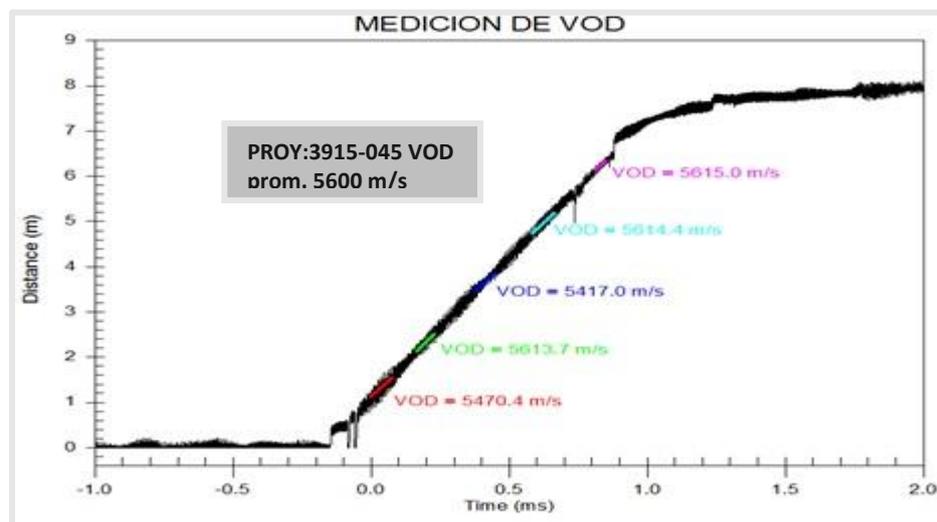


Figura 47 — Velocidad de onda de detonación de Tecnología Quantex

5.6.3.1 Hoja de cálculo

Carga Lineal

Donde:

- CL : Factor de carga lineal (kg/m)
- D : Diámetro de taladro (pulgadas)
- ρ : Densidad inicial del explosivo (gr/cc)
- 0.507 : Constante

$$CL = D^2 \times \rho \times 0.507 \dots \dots \text{Ec-01}$$

Factor de Potencia

Donde:

- CT : Carga por taladro
- mpy : Malla de proyecto
- h : Altura del banco
- $\rho(\text{roca})$: Densidad de roca

$$Fp = \frac{CT}{mpy \times h \times \rho(\text{roca})} \dots \dots \text{Ec-02}$$

Presión de Detonación

Donde:

- PD : Presión de detonación (Mpa)
- ρ_e : Densidad de explosivo (gr/cc)
- VOD : Velocidad de detonación (m/s)
- 10^{-5} : Factor de conversión

$$PD = \rho_e \times \frac{(VOD)^2}{4} \times 10^{-5} \dots \dots \text{Ec-03}$$

Determinación de Densidad

Donde:

- M : Masa (gr)
- V : Volumen del vaso (cc^3)
- ρ : Densidad. (gr/cc^3)

$$\rho = \frac{M}{V} \dots \dots \text{Ec-04}$$

Factor de Carga Lineal en taladros de 11” de diámetro

Calculamos la carga lineal

$$CL = D^2 \times \rho \times 0.507 \dots \dots \text{Ec-05}$$

- CL : Factor de carga lineal (kg/m)
- D : Diametro de taladro (pulgadas)



ρ : Densidad inicial del explosivo (gr/cc)
 0.507 : Constante

Teniendo como dato densidad inicial de mezcla explosiva Quantex 73 es 1.38 (gr/cc).

$$CL = 11^2 \times 1.38 \times 0.507$$

$$CL = 84.7 \text{ kg/m}$$

$$CL = 85 \text{ kg/m}$$

Quiere decir por cada metro de taladro se carga 84.7 kg de explosivo en un taladro de 11 pulgadas.

Factor de carga en taladros 12_{1/4} pulgadas de diámetro.

Calculamos la carga lineal

Teniendo como dato densidad inicial de mezcla explosiva Quantex 73 es 1.38(gr/cc).

$$CL = 12.25^2 \times 1.38 \times 0.507$$

$$CL = 104.99 \text{ kg/m}$$

$$CL = 105 \text{ kg/m}$$

Quiere decir por cada metro de taladro se carga 104.99 kg de explosivo en un taladro de 12_{1/4} pulgadas.

6.5.3 Datos de campo

Tabla 27 — Datos de campo

PARAMETROS DE PERFORACION	DIMENSION
Diámetro de perforación (pul)	12 _{1/4}
Espaciamiento (m)	7
Burden (m)	6
Altura de banco (m)	15
Sobreperforación (m)	1.5
Profundidad del taladro (m)	16.5
PARAMETROS DE VOLADURA	
Carga de fondo (m)	9.1
Esponjamiento (m)	0.9
Longitud de carga (m)	10
Presencia de agua en el taladro	si
Tipo de explosivo	MEQ 73
Densidad inicial del explosivo (gr/cc)	1.36
Densidad final del explosivo (gr/cc)	1.14
Taco final (m)	6.5
Densidad de roca (TM/m3)	2.7



6.5.4 Calculando carga lineal

Teniendo como dato de campo en la **Tabla 27**.

$$CL = D^2 \times \rho \times 0.507$$

$$CL = (12 \frac{1}{4})^2 \times 1.36 \times 0.507$$

$$CL = 103.471 \text{ kg/m}$$

Donde:

CL : Factor de carga lineal (kg/m)

D : Diametro de taladro (pulgadas)

ρ : Densidad inicial del explosivo (gr/cc)

0.507 : Constante

6.5.5 Factor de carga

$$FC = \frac{\text{kg de explosivo por taladro}}{\text{m}^3 \text{ de roca}} \dots\dots\dots \text{Ec-06}$$

Calculamos factor de carga

$$FC = \frac{103.471 \times 9.10}{7 \times 6 \times 15}$$

$$FC = 1.495 \text{ Kg/m}^3 \text{ factor de carga teórico.}$$

6.5.6 Factor de potencia

Teniendo como dato de campo de la **Tabla 27**.

$$FP = \frac{CT}{\text{m} \times \text{py} \times \text{h} \times \rho(\text{roca})} \dots\dots\dots \text{Ec-07}$$

$$FP = \frac{103.471 \times 9.10}{7 \times 6 \times 15 \times 2.7}$$

CT : Kilogramos de explosivo por taladro

Mpy : Malla de proyecto

h : Altura del banco

$\rho(\text{roca})$: Densidad de roca

$$FP = 0.554 \text{ kg/TM factor de potencia teórico.}$$

Tonelaje proporcionado por la mina 2109.37 TM

$$CT = 103.471 \times 9.10$$

$$CT = 941.587 \text{ kg de explosivo por taladro.}$$

Factor de potencia real

$$FP = \frac{941.587}{2109.37}$$

$$FP = 0.446 \text{ kg/TM factor de potencia real.}$$



6.5.7 Presión de Detonación

Donde:

PD : Presión de detonación (Mpa)

ρ_e : Densidad de explosivo (gr/cc)

VOD : Velocidad de detonación (m/s)

10^{-5} : Factor de conversión.

$$PD = \rho_e x \frac{(VOD)^2}{4} x 10^{-5} \dots\dots\dots \mathbf{Ec-08}$$



6.5.8 Análisis Técnico Económico entre Heavy Anfo y Tecnología Quantex

Tabla 28 — Comparativo de costos de mezcla explosiva por taladro

CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS DE MEZCLA EXPLOSIVA						
PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	HA 46	Desmorte	MEQ - 73	HA 73	Mineral	MEQ - 73
Diámetro del taladro (plg)	12 1/4		12 1/4	12 1/4		12 1/4
Espaciamiento (m)	9.5		9.5	7		7
Burden (m)	8.2		8.2	6		6
Altura de banco (m)	15		15	15		15
Sobreperforación (m)	1.5		1.5	1.5		1.5
Profundidad del taladro (m)	16.5		16.5	16.5		16.5
PARÁMETROS DE VOLADURA	HA 46		MEQ - 73	HA 73		MEQ - 73
Carga de fondo (m)	7.5		6.7	10		9.10
Esponjamiento (m)	0		0.8	0		0.9
Longitud de carga (m)	7.5		7.5	10		10
Presencia de agua en el taladro	NO		NO	SI		SI
Tipo de explosivo por taladro	HA-46		MEQ-73	HA-73		MEQ-73
Densidad inicial del explosivo (gr/cc)	1.21		1.36	1.30		1.36
Densidad final del explosivo (gr/cc)	1.21		1.15	1.30		1.14
DCL (kg/m)	92.059		103.471	98.906		103.471
Kilos por taladro (kg)	690.441		693.500	989.062		941.587
Taco final (m)	9		9	6.5		6.5
Densidad de roca (TM/m ³)	2.7		2.7	2.7		2.7
Tonelaje (TM) dato proporcionado de la mina	3,154.95		3,154.95	2109.37		2109.37
Factor de potencia (kg/TM)	0.219		0.220	0.469		0.446
Costo por kg de mezcla explosiva (US\$/kg)	0.589		0.590	0.588		0.590
Costo de explosivo x taladro (US\$)	406.670		408.982	579.59		555.54
Costo de explosivo x tonelada (US\$/TM)	0.129		0.130	0.276		0.263

DIFERENCIA DE COSTO DE HEAVY ANFO VS TECNOLOGIA QUANTEX ES: $0.276 - 0.263 = 0.013$ US\$/TM

En la **Tabla 28**. Se realiza un análisis de las mezclas explosivas de Heavy Anfo y Tecnología Quantex en desmonte y mineral.

En desmonte se analiza Heavy Anfo HA-46 y Tecnología Quantex MEQ-73.

Heavy Anfo (HA-46). Significa el 40% de Emulsión y 60% de Anfo.

Mezcla Explosiva Quantex (MEQ-73). Significa 70% de Emulsión y 30% de Anfo.

Se puede observar que el costo de Emulsión es más que Nitrato por lo tanto en las mezclas explosivas es recomendable usar menos % de Emulsión cuando no hay presencia de agua para disminuir costos.

En la **Tabla 28**. Se puede observar que HA-46 y MEQ-73 en desmonte la diferencia es mínima en costos por tonelada métrica en un taladro a pesar que en MEQ-73 se usa mayor porcentaje de Emulsión ya que su costo es mayor que nitrato.

En **Tabla 28**. Se analiza HA-73 y MEQ-73 en mineral en donde el costo por tonelada métrica de MEQ-73 es 0.263 US\$/TM y HA-73 es 0.276 US\$/TM y la diferencia sería de 0.013 US\$/TM. Esta diferencia es prácticamente por la propiedad que tiene la mezcla explosiva quantex de esponjar.

De la **Tabla 28**. De los 11 disparos que se ha realizado en total se tiene 1025866 TM rotas, entonces = $0.013 \text{ US\$/TM} * 1025866 \text{ TM} = 13336.258 \text{ US\$}$.

En solo 11 disparos de prueba que se ha realizado con Tecnología Quantex se ha logrado ahorrar un promedio de 3336.258 US\$.

El **rendimiento** de los equipos de carguío no fue afectado por las pruebas realizadas con la “Mezcla Explosiva Quantex”, manteniéndose en un valor promedio de 8900 Ton/hr. Esto fue comprobado por medio de la información brindada por el Área de Dispatch y Planeamiento de la Minera (véase mayor detalle en la **Figura 45** — Tabla de Rendimiento).

Fragmentación obtenida en las voladuras consideradas para las pruebas realizadas con la Mezcla Explosiva Quantex. para mineral fueron realizadas en zonas de roca monzonitas biotíticas, obteniendo en su mayoría fragmentación de 3 a 4 pulgadas de P80 con un porcentaje de finos menor a 1 pulgadas de 30% sin embargo en la zona de desmonte, donde hay mayor presencia de mármoles con calcosilicatos, y parte del skarn, se realizó el respectivo análisis



de fragmentación en diferentes frentes donde obtuvimos un promedio de 5 a 6 pulgadas de P80 con un porcentaje de finos menor a 1 pulgada de 20%. los que se encuentran dentro del rango de los KPI de la Minera (véase mayor detalle en la **Figura 41** — Análisis de granulometría y representación gráfica).

6.6 Registro de humos

6.6.1 Heavy Anfo

De acuerdo a la escala visual de gases nitrosos generados por voladura (Formato proporcionado por MMG – Las Bambas), de un total de 10 disparos ejecutados, hubo presencia de humos en 10 disparos, las cuales fueron tipificadas en un Nivel 3, las mismas que ocurrieron en terrenos secos, por presencia de agua en los taladros y grietas.

En las pruebas realizadas con Heavy Anfo se ha tratado de controlar todos los parámetros con el objetivo de mitigar los gases nitrosos como se puede observar en la **Tabla 18**. Cuando hay presencia de agua en los taladros los gases nitrosos se generan más y en taladros secos se disminuye, pero se sigue generando.

6.6.2 Tecnología Quantex

La presencia de gases nitrosos en el proyecto es un grave problema que afecta a la capa de ozono que actualmente viene siendo el problema global. Durante las pruebas se ha controlado adecuadamente los factores evitando la generación de cualquier tipo de gases, comprobándose en los videos y en el registro de Humos. (Véase mayor detalle en la **Tabla 24**).

De acuerdo a la escala visual de gases nitrosos generados por voladura (Formato proporcionado por MMG – Las Bambas), de un total de 10 disparos ejecutados, hubo presencia de humos en 3 disparos, las cuales fueron tipificadas en un Nivel 1, las mismas que ocurrieron en terrenos secos, por presencia de agua en los taladros con cavernas y aguas dinámicas.

6.7 Contrastación de hipótesis

6.7.1 Hipótesis estadístico (s)

5.7.3.1 Hipótesis estadístico nula y alterna

H₀: Hipótesis nula y **H₁**: Hipótesis alterna

H₀: No existe correlación entre Kg de explosivo de Tecnología Quantex y tonelaje roto (TM) para reducir costos de voladura.



H₁: Si existe correlación entre Kg de explosivo de Tecnología Quantex y tonelaje roto (TM) para reducir costos de voladura.

6.7.2 Análisis estadístico mediante el Statgraphics Centurión

Dado que el objetivo de estudio es reducir costos de voladura con Tecnología Quantex en minera Las Bambas, se evaluará si existe relación entre explosivo usado en Kg para romper una determinada tonelaje (TM), para ello se usó el software estadístico Statgraphics centurión, entonces se ha considerado los Kg de explosivo usado para romper cierta tonelada métrica.

Tabla 29 — Data de análisis para calcular correlación

VOLADURAS REALIZADAS CON TECNOLOGIA QUANTEX				
ITEM	PROYECTO	MATERIAL	EXPLOSIVO	TONELAJE
			Kg (x)	ROTO TM (y)
1	3765-011	MINERAL	94336	141878
2	3870-053	MINERAL	33342	73809
3	3780-034	MINERAL	27091	25605
4	3870-057	MINERAL	51380	118125
5	3870-052	DESMONTE	29156	133193
6	3855-019	MINERAL	29636	74382
7	3855-020	MINERAL	46784	98684
8	3855-018	MINERAL	18347	39205
9	3855-021	DESMONTE	35988	146456
10	3900-055	DESMONTE	27084	136588
11	3870-051	DESMONTE	13030	37941

6.7.3 Cálculo de correlación

5.7.3.2 Resumen estadístico mediante Statgraphics Centurión

Tabla 30 — Resumen estadístico

	Kg de QUANTEX	Tonelaje roto (TM)
Recuento	11	11
Promedio	3.77431E6	9.32605E6
Desviación Estándar	2.17357E6	4.53952E6
Coefficiente de Variación	57.5885%	48.6757%
Mínimo	1.303E6	2.5605E6
Máximo	9.4336E6	1.46456E7
Rango	8.1306E6	1.20851E7
Sesgo Estandarizado	2.57593	-0.398069
Curtosis Estandarizada	3.20403	-1.09147



Intervalos de confianza del 95.0%

Tabla 31 — Nivel de confianza al 95%

	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
Kg de QUANTEX	3.77431E6	655356.	2.31408E6	5.23454E6
Tonelaje roto (TM)	9.32605E6	1.36872E6	6.27636E6	1.23758E7

	Sigma	Límite Inferior	Límite Superior
Kg de QUANTEX	2.17357E6	1.51871E6	3.81446E6
Tonelaje roto (TM)	4.53952E6	3.17184E6	7.96654E6

Correlaciones

Tabla 32 — Resumen de r de Pearson y p valor

	Kg de QUANTEX	Tonelaje roto (TM)
Kg de QUANTEX		0.6067
		(11)
		0.0478
Tonelaje roto (TM)	0.6067	
	(11)	
	0.0478	

R = 0.6067 (R: de Pearson)

P valor = 0.0478 nivel de significancia.

6.7.4 Comprobación del cálculo de la correlación de Pearson mediante el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)

Correlaciones

Tabla 33 — Resumen estadístico con SPSS

		Explosivo	Tonelaje
Explosivo	Correlación de Pearson	1	,607*
	Sig. (bilateral)		,048
	N	11	11
Tonelaje	Correlación de Pearson	,607*	1
	Sig. (bilateral)	,048	
	N	11	11

R= 0.607 R: R de Pearson.

P valor = 0.048 nivel de significancia. Equivalente a 4.8%

El valor de (alfa) α =5% equivalente 0.05

Para interpretar el resulta de r de Pearson se usará el siguiente Tabla



Tabla 34 — Escala de valores del coeficiente de correlación

VALOR	SIGNIFICADO
-1	Correlación negativa grande y perfecta
- 0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Extraído de Pearson (1978)

6.7.5 Análisis, interpretación y discusión de los resultados costo de voladura

El valor de correlación de Pearson calculado $R = 0.6067$ indica que existe una correlación positiva moderada según la **Tabla 34** entre Kg de explosivo Quantex para romper toneladas métricas de material como se puede visualizar en la siguiente figura.

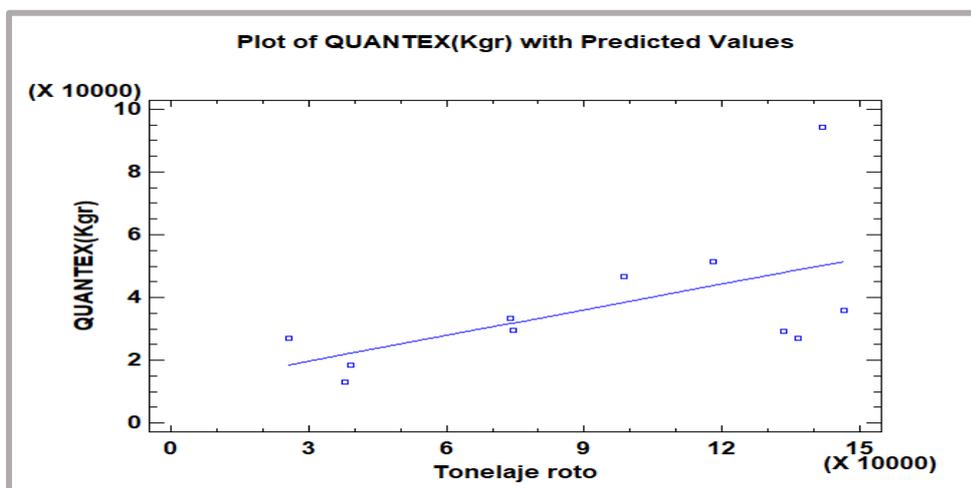


Figura 48 — Representación gráfica de correlación con SPSS

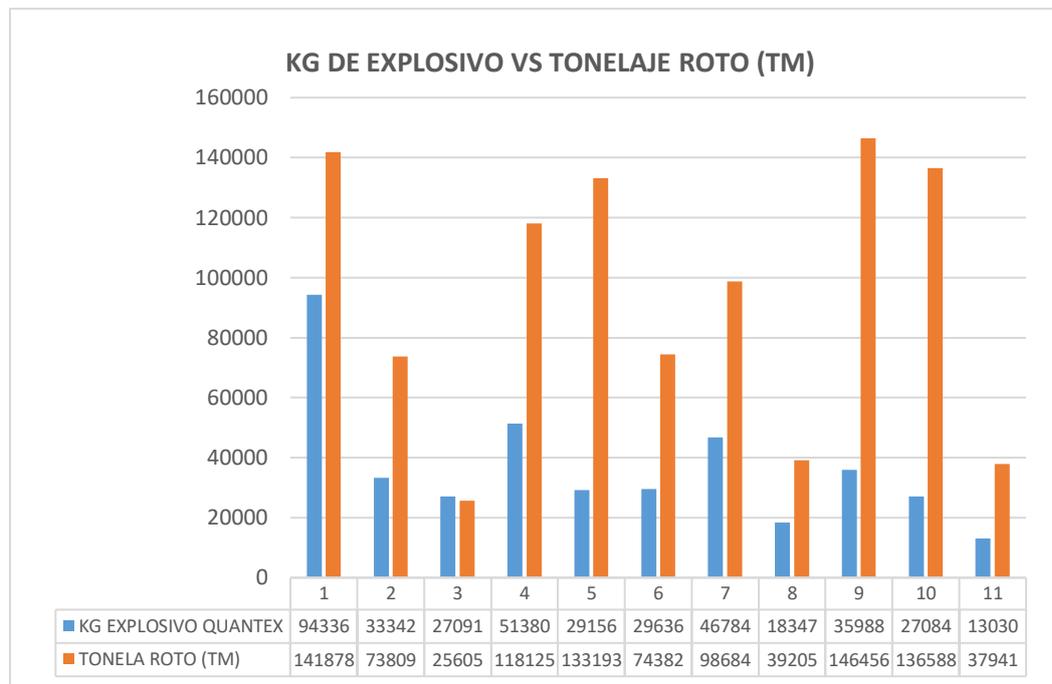


Figura 49 — Representación gráfica de correlación con Excel

Se ha demostrado gráficamente y estadísticamente que si existe correlación moderada positiva entre Kg de explosivo Quantex empleado para romper cierta tonelada métrica de material para reducir costos de voladura.

Para el análisis de región crítica o decisión el P valor (nivel de significancia) tenemos como resultado P valor = 0.0478 equivalente menor de 5% entonces P valor es menor que (alfa) $\alpha = 0.05$ equivale al 5% de donde nivel de confianza es a 95% por tanto:

- Rechazamos hipótesis nula
- Aceptamos hipótesis alternativa.

La finalidad que se realiza estas pruebas estadísticas es para demostrar que si existe correlación entre el total de Kg de explosivo empleado para romper máxima cantidad posible de toneladas métricas de material que puede ser mineral o desmonte con una fragmentación requerida por la planta de procesamiento. La lógica es simple usar menos explosivo y obtener resultados óptimos en la voladura. Es así como se puede observar durante el desarrollo de la investigación que se carga menos explosivo, porque Tecnología Quantex tiene la capacidad de esponjar y cada taladro se carga menos 90 cm equivalente 90 kg/taladro teniendo como referencia Heavy Anfo o Anfo Pesado.



6.7.6 Para el análisis estadístico de emisión de gases nitrosos

Tabla 35 — Data de Análisis de humos

ITEM	TECNOLOGIA QUANTEX		ESCALA NIVEL DE HUMOS
	NIVEL-PROY.	PRES. DE AGUA	
1	3765-011	SI	2
2	3870-053	SI	0
3	3780-034	SI	0
4	3870-057	SI	1
5	3870-052	NO	0
6	3855-019	SI	0
7	3855-020	SI	0
8	3855-018	SI	0
9	3855-021	SI	0
10	3900-055	SI	1
11	3870-051	SI	0

5.7.6.1 Hipótesis Estadístico nula y alterna

Hipótesis Estadístico nula y alterna

H₀: Hipótesis nula y **H₁**: Hipótesis alterna

H₀: No se reducirá emisión de gases nitrosos y se tendrá mayor de 1 según escala de humos MMG Las Bambas.

H₁: Si se reducirá emisión de gases nitrosos y se tendrá menor de 1 según escala de humos MMG Las Bambas.

5.7.6.2 Análisis estadístico mediante t de Student.

Dado que el objetivo de estudio es reducir emisión de gases nitrosos de voladura con Tecnología Quantex en minera Las Bambas, se evaluará si se logra mitigar la emisión de gases nitrosos al medio ambiente en Tajo Ferrobamba para ello se usa el software estadístico t de Student, entonces se ha considerado los datos obtenidos y tipificados según escala de humos según MMG - Las Bambas.

Tabla 36 — Resumen estadístico con t de Student

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
HUMOS	11	,3636	,67420	,20328

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 1					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
HUMOS	-3,130	10	,011	-,63636	-1,0893	-,1834

De donde:

P valor = 0.011

Media = 0.3636

Como se puede demostrar en la **Tabla 36** que el p valor = 0.011 (nivel de significancia) que es menor que (alfa) $\alpha = 0.05$ equivalente al nivel de confianza de 95%, de ello se puede interpretar que el trabajo de investigación tiene una confiabilidad de más de 95%.

Y por tanto como p valor = 0.011 es menor que alfa $\alpha = 0.05$ rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

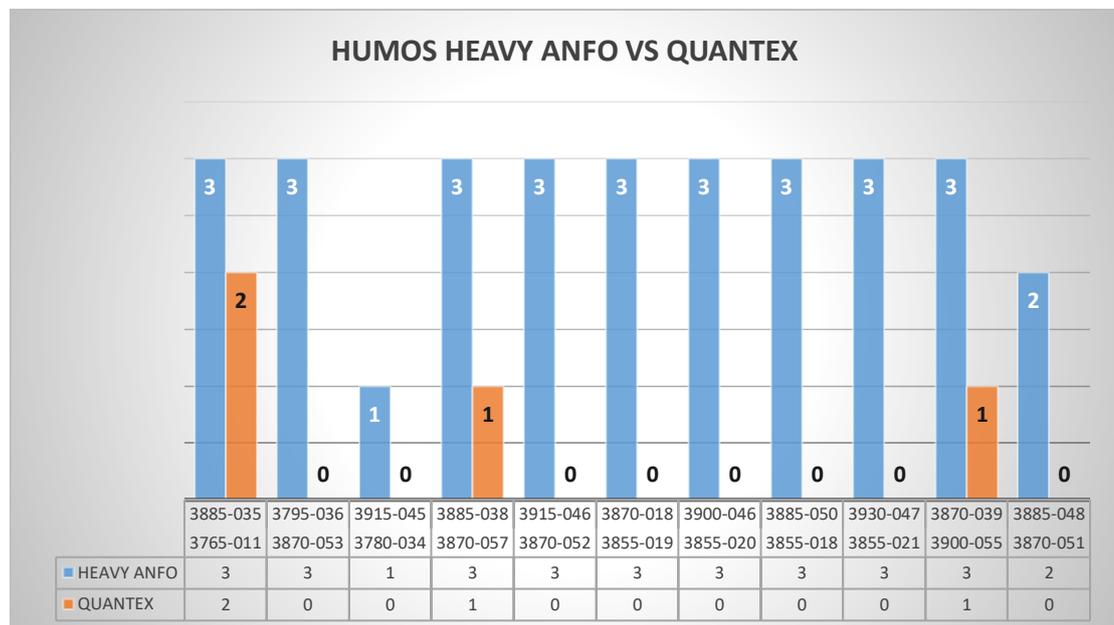


Figura 50 — Representación gráfica en Excel de resultados obtenidos de humos en voladuras.

6.7.7 Análisis, interpretación y discusión de los resultados costo de voladura.

Se ha demostrado estadísticamente y gráficamente que la emisión de gases nitrosos se ha reducido al mínimo tomando como referencia las voladuras con Heavy Anfo. Teniendo como resultado de media = 0.3636 y el objetivo era reducir menor que 01 según la escala de humos de MMG – Las Bambas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

- Se ha realizado 11 proyectos de voladura para las Pruebas Quantex, trabajados con una densidad final de 1.13-1.14 gr/cc para mineral y 0.98- 1.00 gr/cc en desmante; logrando obtener un esponjamiento de 10 cm/m para mineral y 17 cm/m en desmante. Estos son los parámetros adecuados para trabajar con una mezcla explosiva Quantex de (MEQ-73) para obtener buenos resultados. A diferencia de otras mezclas explosivas por cada taladro se carga menos un metro esto equivale 0.013 US\$/TM de ahorro, en los 11 disparos de 1025866 TM rotas se ha logrado ahorrar un promedio de 13336.258 US\$. En la prueba de los 11 disparos realizados. Obteniendo una fragmentación de 3 a 4 pulgadas de P80 con un porcentaje de finos menor a 1 pulgadas de 30%. En desmante un promedio de 5 a 6 pulgadas de P80 con un porcentaje de finos menor a 1 pulgada de 20%. La cual se refleja en el rendimiento de los equipos de carguío con un promedio 8900 Ton/Hr.
- Se ha mitigado al mínimo la emisión de gases nitrosos en el proceso de voladura respecto a los proyectos cargados con la ME QUANTEX, a diferencia proyectos cargados con Heavy Anfo. De un total de 10 disparos ejecutados con ME QUANTEX, hubo presencia de humos en 3 disparos, las cuales fueron tipificados en un nivel 01 que significa (leve, humo color amarillo) según escala visual de gases nitrosos generados por voladura (Formato proporcionado por MMG – Las Bambas) las mismas que ocurrieron en terrenos secos, por presencia de agua en los taladros con cavernas y aguas dinámicas demostrando ser amigable con el Medio Ambiente. La mezcla explosiva QUANTEX reduce el uso del petróleo en la fabricación del explosivo in-situ en un 50% esto es debido a que el nitrato amonio Quantex viene de la fábrica con un 50% de petróleo a diferencia de otros nitratos con objetivo de mitigar los gases nitrosos.

9.2 Recomendaciones

- Realizar el monitoreo y seguimiento de la calidad de la mezcla explosiva Quantex, en todo el proceso de carguío de taladros. Emplear la bandeja para el inicio del carguío de los taladros, generalmente en el primer taladro el explosivo es de mala calidad y con una densidad fuera del estándar. Los datos geológicos y geotécnicos es importante, ya que como se muestra en el análisis de datos tienen una alta influencia en la fragmentación, por lo que se recomienda integrar estos datos y zonificarlos en



los planos de carguío, ya que muchas veces se utiliza diseños de carga inadecuados para la calidad y dureza de la roca.

- El control de calidad de la mezcla explosiva Quantex es muy importante ya que depende de ello la emisión de gases nitrosos y la fragmentación. Soplar el explosivo remanente del brazo de descarga como parte de la columna explosiva (último taladro). Este explosivo es de mala calidad y representa a veces hasta 01 metro de longitud de carga en el carguío del último taladro. Se debe utilizar la bandeja para el soplado y eliminarlo con el detritus en varios taladros.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARRAN, Enrique y KONYA, Calvin. *Diseño de Voladuras.* Mexico: s.n. 1998. ISBN: 9709207601.

AMES, Victor. *Tecnología de Explosivos.* Huancayo: 2da ed.,2007.

ANCHORENA , Abel. *Modelo predictivo de fragmentación y su aplicación en una matriz de decisión.* Arequipa: Instituto de Ingenieros de Minas del Peru, 2015.

BERNAOLA, Jose, CASTILLA, Jorge y HERRERA, Juan. *Perforación y voladura de rocas en minería.* Madrid, 2013.

CONDORI, Samuel. *Estandarización del explosivo ME - Quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone.* Tesis (Ingeniería de Minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2015 : s.n.

D&E Desarrollo y Ecología S.A.C. *Evaluación Ambiental del Proyecto de Exploración Las Bambas,* 2003. Disponible en https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/estudios/lasbambas/CapI_Resumenejecutivo.pdf.

Departamento de Geología Las Bambas (2009). *Informe programa de exploración Geología 2008, Las Bambas - Peru.* Informe interno Xstrata Peru.

Exsa S.A (2004). *Manual Práctico de voladura.* Disponible en https://www.academia.edu/8493894/Manual_Practico_de_Voladuras.

Exsa S.A. (2014). *Tecnología Quantex.* Lima, Perú. Exsa soluciones exactas. Disponible en <http://www.academia.edu/10274188/QUANTEX>.

LOPEZ, Emilio, GARCIA , Pilar y LOPEZ, Carlos. *Manual de Perforación y Voladura de Rocas.* Madrid : Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas, 2003. ISBN: 8496140032.

MEDINA, Robert. *Evaluación técnico económica ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en cuajone – SOUTHERN PERU.* Tesis (Ingeniero de Minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014.

MIRANDA, Luis y MEDINA, Esperanza. *Investigando en Ingeniería.* Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2015. ISBN: 9786124566240.

POMA, Jose L. *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso GOLD MILL (Caso minera Yanacocha).* Tesis (Ingeniero de Minas). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012.



RIVERA, Raymond y SANTISTEBAM, Alex. *Dispersión geoquímica secundaria y su relación con los depósitos minerales de batolito Andahuaylas Yauri. (Informe Técnico Científico).* Lima: INGEMMET, 2009.

ROMERO, Paucar. 2016. *Gases nitrosos en la voladura paucar.* <https://pe.linkedin.com/in/royerromeropaucar>. 2016.

VILELA, Wilson. *Análisis de factibilidad para el uso de Anfo pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha. Tesis (Ingeniero de Minas).* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.

XTRATA LAS BAMBAS S.A. *Resumen Ejecutivo de la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de la Unidad Minera Las Bambas. Disponible en <https://www.senace.gob.pe/download/comunicaciones/eia-meia/unidad-minera-las-bambas-3era-mod/Resumen-Ejecutivo-de-la-Tercera-MEIA-L>.*



ANEXOS



ANEXO 1
PANEL FOTOGRAFICO

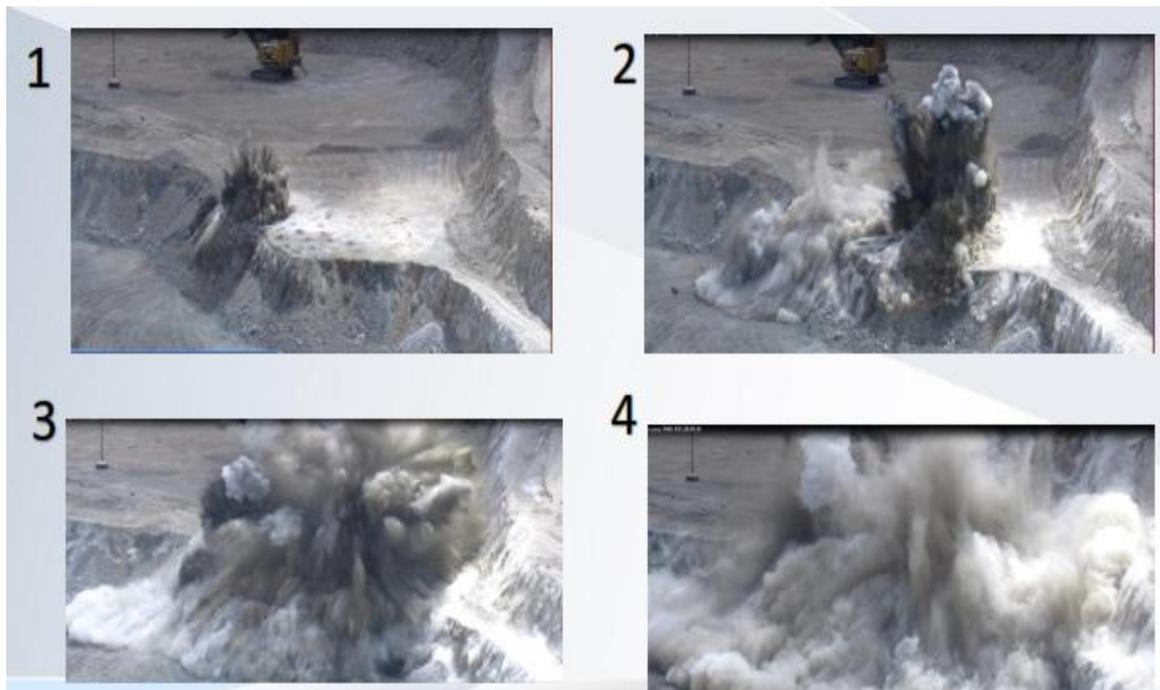


Figura 51 — Secuencia de voladura 3855 – 050 Mini Tajo Ferrobamba



Figura 52 — Secuencia de voladura proyecto 3765 – 011

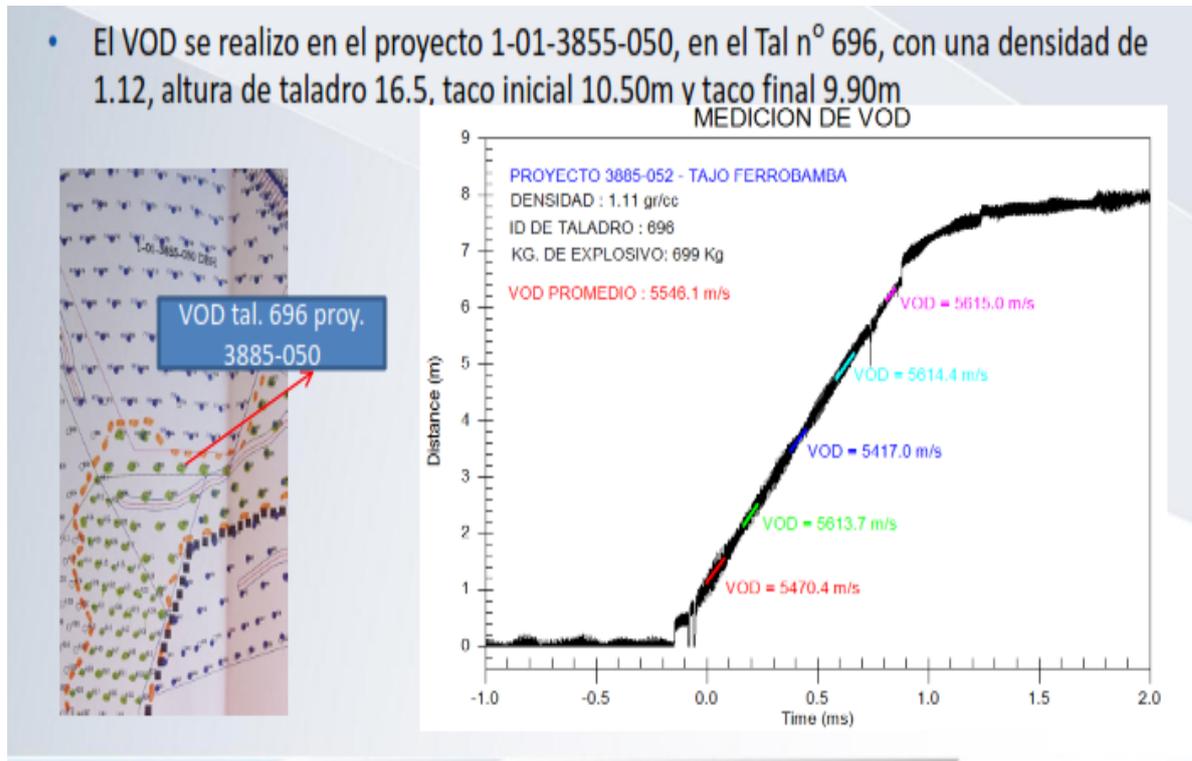


Figura 53 — VOD en la columna de taladro proyecto 3855 – 050 Mini Tajo Ferrobamba

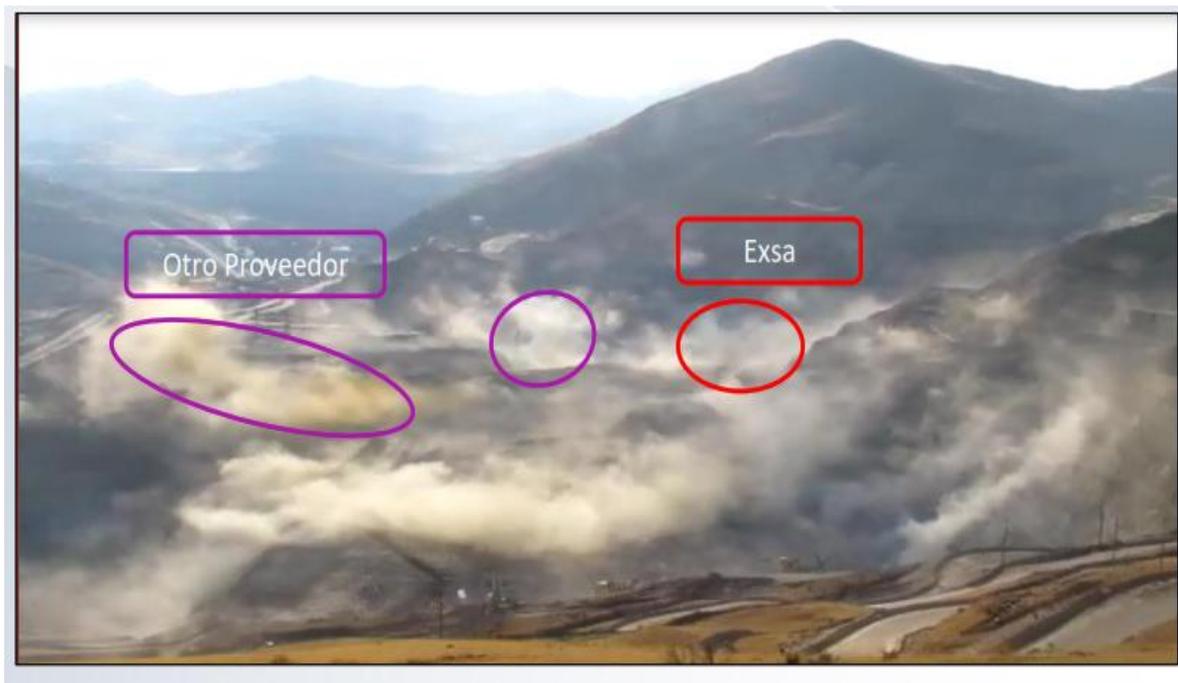


Figura 54 — Humos de proyecto 3840 – 030 Mini Tajo Ferrobamba



Figura 55 — Calibración del camión mezclador en proyecto 3765 – 011



Figura 56 — Camión Komatsu 930E



Figura 57 — Pala eléctrica realizando carguío en proyecto 3765 – 011 Jahuapaylla Baja



Figura 58 — Tajo Ferrobamba (mirando al Norte)