

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**“MEJORAMIENTO DE LA VOLADURA UTILIZANDO EMULSION
GASIFICADA (MEQ73) EN EL TAJO FERROBAMBA – M.M.G. LAS
BAMBAS -APURIMAC”**

PRESENTADO POR:

Br. Rodolfo Yordan Mujica Aguilar

PARA OPTAR AL TÍTULO

PROFESIONAL

DE:

Ingeniero de Minas

ASESOR:

Mgt. Raimundo Molina Delgado

**Cusco - Perú
2018**



DEDICATORIA

A mis padres Rosalía y Armando, mi Abuela Florencia y a mi esposa Anahí por ser los pilares fundamentales en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo para alcanzar todos mis objetivos.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por estar siempre conmigo en cada paso que realizo, a EXSA S.A. por darme la oportunidad de ser parte de su grupo humano y específicamente al Área de voladura a todos los ingenieros y compañeros de trabajo.



Presentación

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería, Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con la finalidad de optar al Título Profesional de Ingeniero de Minas, presento ante usted la tesis titulada “MEJORAMIENTO DE LA VOLADURA UTILIZANDO EMULSION GASIFICADA (MEQ73) EN EL TAJO FERROBAMBA - MMG LAS BAMBAS -APURIMAC”, trabajo de investigación en el cual se han implementado diseños y técnicas en la operación unitaria de Voladura de rocas con la finalidad de mejorar el diseño y sistema de voladura de producción, económica y operativa utilizando la emulsión gasificada (MEQ73) en el tajo Ferrobamba MMG Las Bambas.

El Alumno.



INTRODUCCION

La presente tesis consta de cinco capítulos los cuales se han organizado de la siguiente manera:

En el Capítulo I, se presenta el planteamiento, la formulación y justificación del problema; objetivos, alcances, limitaciones y metodología de la investigación así como el tipo y nivel de esta, la población y muestra además de las fuentes y técnicas de recolección de datos con el propósito de poner en contexto el tema a investigar y los determinados parámetros que delimitan toda la investigación.

En el Capítulo II, se desarrollan las bases teóricas de la voladura de rocas, también se hace una descripción de los factores que influyen en el mejoramiento de la voladura, y su impacto en la rentabilidad de la producción, asimismo se realiza una descripción de las características, propiedades, clasificación de los explosivos y sus accesorios que nos permiten realizar un correcto diseño de carga para una mejor fragmentación.

En el Capítulo III, se realiza la descripción del ámbito de estudio además de los aspectos generales de la mina como la ubicación, accesibilidad, historia de la empresa, proyectos de expansión y principalmente la geología y una breve descripción del tipo de yacimiento mineral.

En el Capítulo IV, se desarrolla la propuesta de mejoramiento de la voladura utilizando los casos de estudio en los proyectos de voladura en base a la composición y densidad de la MEQ 73, así como el diseño de carga y los procesos que influyen en los resultados de la voladura de rocas además de las limitaciones de la mezcla explosiva elegida para una correcta evaluación del rendimiento en la columna explosiva.

En el Capítulo V, hacemos un análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los proyectos de voladura y utilizamos las diferentes variables, mediante el análisis de granulometría, factor de potencia, porcentaje de humos rojos y la reducción de costos en comparación con el explosivo comercial utilizado en la actualidad.



Esta tesis se culmina con conclusiones y recomendaciones, así como los respectivos anexos que sirvieron de información relevante para el desarrollo de este trabajo de investigación.



RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se desarrolló el mejoramiento de la voladura en el tajo Ferrobamba de Las Bambas con la utilización de la Mezcla Explosiva Quantex (MEQ73) la cual es una Emulsion Gasificada que nos permite mejorar los resultados en la fragmentación obtenida de los proyectos de voladura.

Esta investigación se realizó en función a la influencia significativa que involucra al proceso de voladura y sus resultados posteriores en el ciclo de minado, además que es parte fundamental en la sostenibilidad de las operaciones por que influye directamente en el rendimiento de los equipos y el Work Index de la Chancadora. Hecho que comprende en esta investigación el análisis de las diferentes variables presentes en la voladura de rocas, que conduzcan al desarrollo del mejoramiento de la voladura en base a un buen diseño de carga, una densidad de mezcla adecuada y una correcta manipulación en campo por parte del equipo técnico encargado.

La investigación tiene como referencia las pruebas que hicimos con la Tecnología Quantex por parte de la Empresa EXSA. S.A. en 11 proyectos de voladura de producción, Proyectos que fueron monitoreados y cuyos resultados fueron evaluados en comparación de los explosivos utilizados ahora en mina.

Finalmente con los resultados obtenidos en las pruebas se ha demostrado obtener mejores resultados en la fragmentación y el porcentaje de humos naranjas además de acortar los tiempos de carguío por taladro y reducir el costo por metro lineal de explosivo lo que se traduce en un ahorro considerable.



ABSTRACT

In the present work of investigation, the improvement of the blasting in the Ferrobamba pit of Las Bambas was developed with the use of the Quantex Explosive Mixture (MEQ73) which is a Gasified Emulsion that allows us to improve the results in the fragmentation obtained from the Blasting projects.

This investigation was made based on the significant influence that involves the blasting process and its subsequent results in the mining cycle, as well as being a fundamental part in the sustainability of the operations because it directly influences the performance of the equipment and the Work Index of the Crusher. This fact includes in this investigation the analysis of the different variables present in the blasting of rocks, which lead to the development of blasting improvement based on a good load design, an adequate mixing density and a correct manipulation in the field by of the technical team in charge.

The research has as reference the tests that were done with the Quantex Technology by the EXSA Company. S.A. in 11 production blasting projects, Projects that were monitored and whose results were evaluated in comparison to the explosives used now in the mine.

Finally, with the results obtained in the tests, it has been shown to obtain better results in the fragmentation and the percentage of orange fumes, in addition to shortening the loading times by drill and reducing the cost per linear meter of explosive, which translates into considerable savings.



INDICE

INTRODUCCION.....	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GLOSARIO DE TERMINOS.....	17
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1 Problema General.....	20
1.2.2 Problemas Específicos	20
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACION DE LA INVESTIGACION	21
1.4.1 Justificación	21
1.4.2 Delimitación de la Investigación	22
1.5 HIPOTESIS.....	22
1.5.1 Hipótesis General.....	22
1.5.2 Hipótesis Específicas	22
1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23



1.6.1. Tipo de Investigación.....	23
1.6.2. Variables e Indicadores.....	24
1.6.3. Población y muestra.....	25
1.7 FUENTES DE LA INFORMACION.....	25
1.8 MÉTODOS DE MEDICIÓN.....	26

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	31
2.2 MARCO TEORICO.....	33
2.2.1 Explosivos.....	33
2.2.2 Componentes de los explosivos.....	33
2.2.3 Propiedades de los explosivos.....	35
2.2.3.1 Velocidad de detonación.....	35
2.2.3.2 Densidad.....	36
2.2.3.3 Resistencia al agua.....	38
2.2.3.4 Sensibilidad.....	39
2.2.3.5 Simpatía.....	40
2.2.3.6 Diámetro Crítico.....	41
2.2.3.7 Presión de detonación.....	41
2.2.3.8 Estabilidad química o Tiempo de Duración.....	42



2.2.3.9	Energía/Potencia	42
2.2.4	Mecánica de la rotura de rocas por explosivos	43
2.2.4.1	Proceso de reacción según su carácter fisicoquímico	43
2.2.4.2	Etapas del proceso de fracturamiento de rocas	44
2.2.4.3	Condiciones fundamentales para la rotura de rocas	47
2.2.4.3.1	Confinamiento del explosivo en el taladro	47
2.2.4.3.2	Cara libre.....	47
2.2.4.3.3	Distancia del taladro a la cara libre.....	48
2.2.4.3.4	Fisuramiento cilíndrico radial	49
2.2.5	Fragmentación por voladura	50
2.2.5.1	Variables en el proceso de fragmentación de rocas	50
2.2.5.1.1	Variables Controlables.....	50
2.2.5.1.2	Variables no controlables:.....	51
2.2.5.2	Parámetros de perforación	51
2.2.5.2.1	Concepto de cara libre	51
2.2.5.2.2	Diámetro de taladro.....	52
2.2.5.2.3	Cálculo de la malla de perforación (Burden, Espaciamiento)	52
2.2.5.2.4	Longitud de taladro (L)	53
2.2.5.2.5	Sobre perforación	54
2.2.5.2.6	Taco o stemming (T).....	55
2.2.5.2.7	Altura de Banco (H).....	56



2.2.5.3	Parámetros de voladura.....	57
2.2.5.3.1	Características de los explosivos	57
2.2.5.3.2	Columna Explosiva.....	58
2.2.5.3.3	Carga Lineal (CL) (Kg./m).....	59
2.2.5.3.4	Carga de Fondo (CF).....	59
2.2.5.3.5	Carga de Columna (CC).....	60
2.2.5.3.6	Determinación del explosivo a usarse.....	61
2.2.5.3.7	Diseño de amarre y sistema de iniciación de las mallas perforadas.....	62
2.2.5.3.8	Resultados de la voladura	63
2.2.5.4	Voladura de producción.....	64
2.2.5.5	Voladura controlada.....	65
2.2.5.5.1	Precorte, recorte	65
2.2.5.5.2	Control de taludes	67
2.2.6	Medición y análisis de la fragmentación	68
2.2.7	Calidad de humos y balance de oxígeno.....	71
2.3	EMULSION GASIFICADA.....	73
2.3.1	Mezcla Explosiva QUANTEX 73	74
2.3.1.1	Slurrex G.....	75
2.3.1.2	Nitrato de Amonio Quantex.	75
2.3.1.3	Nitrito de Sodio.....	76



CAPÍTULO III

AMBITO DEL ESTUDIO

3.1	GENERALIDADES	77
3.1.1	Ubicación	77
3.1.2	Accesibilidad.....	80
3.1.3	Historia.....	80
3.1.4	Misión y Visión.....	81
3.1.5	Proyecto de Expansión.....	82
3.2	CLIMA Y RECURSOS	84
3.2.1	Clima.....	84
3.2.2	Hidrología	86
3.2.3	Flora	87
3.2.4	Fauna.....	88
3.3	GEOLOGÍA.....	90
3.3.1	Geología Local.....	91
3.3.2	Geología regional.....	92
3.3.2.1	Estratigrafía.....	93
3.3.2.1.1	Formación Ferrobamba	93
3.3.2.1.2	Formación Soraya	93
3.3.2.1.3	Formación Mara.....	93



3.3.2.	Geología económica.....	94
3.4	DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO	94
3.5	DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES MINA LAS BAMBAS.....	95
3.5.1	Descripción del diseño de minado	95
3.5.1.1	La explotación a tajo abierto en la Las Bambas	95
3.5.1.2	Parámetros generales del diseño del tajo Ferrobamba.....	97
3.5.2	Programa de Producción en la U.O. Las Bambas MMG.....	99
3.5.3	Operaciones unitarias en el Tajo Ferrobamba	100
3.5.3.1	Perforación en el tajo Ferrobamba.....	101
3.5.3.1.1	Tipos de Taladros para voladura controlada en el Tajo Ferrobamba...	103
3.5.3.1.2	Diseño de la malla de perforación para el Tajo Ferrobamba	105
3.5.3.2	Voladura en el tajo Ferrobamba.....	109
3.5.3.2.1	Voladura de Producción en el Tajo Ferrobamba	109
3.5.3.2.2	Selección de la Mezcla Explosiva en el Tajo Ferrobamba.....	110
3.5.3.3	Carguío y Transporte	111

CAPÍTULO IV

MEJORAMIENTO DE LA VOLADURA UTILIZANDO EMULSION GASIFICADA (MEQ73) EN EL TAJO FERROBAMBA - MMG LAS BAMBAS -APURIMAC

4.1	COMPOSICION Y OBTENCION DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73 EN EL TAJO FERROBAMBA	114
-----	---	-----



4.1.1	Nitrato de Amonio Quantex.....	114
4.1.2	Slurrex G.....	115
4.1.3	Nitrito Sódico.....	116
4.2	DENSIDAD DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX EN EL TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS.....	119
4.2.1	Densidad Inicial sin gasificar.....	119
4.2.2	Tiempo de Gasificación	120
4.2.3	Densidad de copa y densidad real de carga	121
4.2.4	Estándar de partida para el Tajo Ferrobamba en Las Bambas.....	123
4.3	FACTORES Y PROCESOS QUE TIENEN UNA INFLUENCIA DETERMINANTE EN LOS RESULTADOS DE UNA VOLADURA DE ROCAS CON LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73	123
4.3.1	Impedancia de un explosivo.....	123
4.3.2	Medición de densidades en laboratorio y en campo	125
4.3.3	Evaluación de las condiciones de taladro antes del carguío de explosivos	129
4.3.4	Carguío selectivo por zonas	130
4.3.4.1	Según macizo rocoso	130
4.3.4.2	Según humedad en el taladro	130
4.3.5	Disponibilidad mecánica en camiones fábrica.....	132
4.3.6	Diseño del taco con Stemming	134
4.3.6.1	Tipo y tamaño de material de stemming.....	134



4.3.6.2	Longitud del stemming	134
4.4	LIMITACIONES DE LA PRESION HIDROSTATICA Y DENSIDAD CRÍTICA EN LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73.....	135
4.5	CASOS DE ESTUDIO MONITOREADOS Y EVALUADOS UTILIZANDO EMULSION GASIFICADA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73 EN TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS.....	138
4.5.1	Diseño de carga utilizado para mineral y desmonte en el tajo Ferrobamba - Las Bambas	139
4.5.2	Esponjamiento de taladros en mineral y desmonte.....	141
4.5.3	Diseño de iniciación electrónico:.....	144
4.5.4	Registro y comportamiento de la velocidad de detonación:	146
4.5.5	Medición y análisis granulométrico P80 de la fragmentación en el Tajo Ferrobamba	148

CAPÍTULO V

ANALISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1	ANALISIS DE LA FRAGMENTACION OBTENIDA.....	159
5.2	ANALISIS DE REGISTRO DE HUMOS EN EL TAJO FERROBAMBA	163
5.3	ANÁLISIS DE LA TAZA DE EXCAVACION (DIG-RATE).....	166
5.4	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS	167
5.4.1	Análisis y Comparación de Costos en Mineral.....	168
5.4.2	Análisis y comparación de Costos en Desmonte	171



5.5	RESUMEN DE COSTOS.....	175
	CONCLUSIONES.....	178
	RECOMENDACIONES.....	179
	BIBLIOGRAFIA.....	180
	ANEXOS.....	182



INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1: Componentes de los explosivos</i>	34
<i>Tabla 3.1: Coordenadas UTM - Las Bambas</i>	78
<i>Tabla 3.2: Ubicación Política</i>	78
<i>Tabla 3.3: Accesibilidad a Las Bambas</i>	80
<i>Tabla 3.4: Recursos Minerales – Las Bambas</i>	83
<i>Tabla 3.5: Reservas Minerales – Las Bambas</i>	83
<i>Tabla 3.6: Minerales Metálicos con Valor Económico</i>	94
<i>Tabla 3.7: Producción Tajo Ferrobamba Las Bambas</i>	100
<i>Tabla 3.8: Estándares de carga Kb dependiendo del Tipo de Roca y densidad del Explosivo</i>	107
<i>Tabla 3.9: Malla de perforación en Mineral</i>	108
<i>Tabla 3.10: Malla de perforación en Desmonte (Caliza)</i>	109
<i>Tabla 3.11: Malla de perforación en Desmonte (Monzonita)</i>	109
<i>Tabla 4.1: Características técnicas del Nitrato de Amonio Quantex</i>	115
<i>Tabla 4.2: Características Técnicas del Slurrex G</i>	116
<i>Tabla 4.3: Características Técnicas del Nitrito Sódico</i>	116



<i>Tabla 4.4: Flujo de Nitrito de Sodio para gasificar la MEQ73 según el flujo de descarga</i>	119
<i>Tabla 4.5: Longitud de Taco según diámetro de taladro y tipo de roca</i>	135
<i>Tablas 4.6: Resumen Densidad en superficie vs Profundidad de carga</i>	137
<i>Tabla 4.7: Resumen Proyectos de Voladura realizados en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas</i>	138
<i>Tabla 4.8: Registro de esponjamiento dentro del taladro en el Tajo Ferrobamba</i>	143
<i>Tabla 4.9: Registro de la Velocidad de Detonación en el Tajo Ferrobamba</i>	146
<i>Tabla 4.10: Registro de Granulometría P80 – MEQ73 en el Tajo Ferrobamba</i>	156
<i>Tabla 5.1: Comparación entre Heavy Anfo -55 y Mezcla Explosiva Quantex -73</i>	158
<i>Tabla 5.2: Comparación entre Fortis Extra y Mezcla Explosiva Quantex 73</i>	158
<i>Tabla 5.3: Análisis Granulométrico proyectos de Voladura en Mineral</i>	159
<i>Tabla 5.4: Análisis Granulométrico proyectos de voladura en desmonte</i>	161
<i>Tabla 5.5. Balance de Oxígeno en las mezclas de Anfo pesado.</i>	164
<i>Tabla 5.6. Balance de Oxígeno de la Mezcla Explosiva Quantex 73</i>	164
<i>Tabla 5.7. Analisis de Registro de Humos en el Tajo Ferrobamba</i>	164
<i>Tabla 5.8: Rendimiento Promedio de Equipos de Carguío</i>	166
<i>Tabla 5.9: Dig-Rate de la Pala 2 en Minitajo del 25 de Junio al 2 de Julio</i>	167
<i>Tabla 5.10: Costo unitario y Costo total de Heavy Anfo 55 y Mezcla Explosiva Quantex</i>	170



<i>Tabla 5.11: Diferencia porcentual del costo entre Heavy Anfo 55 y Mezcla Explosiva Quantex</i>	170
<i>Tabla 5.12: Costo unitario y Costo total de Heavy Anfo 55 y Mezcla Explosiva Quantex para Desmonte</i>	174
<i>Tabla 5.13: Diferencia porcentual del costo entre Heavy Anfo 55 y</i>	174
<i>Tabla 5.14: Consumo de explosivos para los Proyectos de Voladura realizados en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas</i>	176
<i>Tabla 5.15: Resumen Final Proyectos de Voladura realizados en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas</i>	176
<i>Tabla 5.16: Costo por tonelada disparada en las Pruebas con Tecnologia Quantex en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas</i>	177

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Método de medición de velocidad de detonación</i>	27
<i>Figura 1.2. Instalación de cable resistivo junto al Booster y tubo de choque</i>	27
<i>Figura 1.3 Fotos con puntos de referencia para medir fragmentación</i>	29
<i>Figura 2.1: Demostración Velocidad de Detonación</i>	36
<i>Figura 2.2: Densidad de Carga por metro lineal para diferentes mezclas explosivas</i> ...	37
<i>Figura 2.3: Resistencia al agua en base al porcentaje de Emulsión y Anfo</i>	39



<i>Figura 2.4: Prueba de transmisión o detonación por Simpatia</i>	40
<i>Figura 2.5: Etapas del Proceso de fracturamiento de rocas</i>	45
<i>Figura 2.6: Proceso del Fracturamiento de rocas dividido en cinco etapas o fases</i>	47
<i>Figura 2.7: Taladros con cargas lineales desacoplada</i>	66
<i>Figura 2.8: Principio del Fisuramiento linear en la roca</i>	67
<i>Figura 2.9: Efecto de la corta distancia entre los taladros de recorte</i>	68
<i>Figura 2.10: Análisis de la fragmentación mediante Software</i>	70
<i>Figura 2.11: Composición de la Mezcla Explosiva Quantex 73</i>	74
<i>Figura 3.1: Mapa de Ubicación Mina Las Bambas</i>	79
<i>Figura 3.2: Delimitación Mina Las Bambas</i>	82
<i>Figura 3.3: Mapa Fisiográfico del Perú</i>	85
<i>Figura 3.4: Mapa geológico - Las Bambas</i>	90
<i>Figura 3.5: Cronoestratigrafía generalizada del distrito minero Las Bambas</i>	92
<i>Figura 3.6: Diseño de ancho de Rampas – Tajo Ferrobamba</i>	98
<i>Figura 3.7: Diseño ancho promedio de minado – Tajo Ferrobamba</i>	99
<i>Figura 3.8: Perforadora Rotativa en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas</i>	102
<i>Figura 3.9: Perforadora para Pre- Corte Sandvik DR560 en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas</i>	103
<i>Figura 3.10: Tipos de Taladros para Voladura de Producción en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas</i>	105
<i>Figura 3.11: Uso de Minesight para el diseño de mallas</i>	106



<i>Figura 3.12: Diseños de mallas más frecuentes en el Tajo Ferrobamba</i>	108
<i>Figura 3.13: Equipos de Carguío y Transporte – Las Bambas</i>	111
<i>Figura 3.14: Pala Electrica #4 PyH 4100XPC</i>	112
<i>Figura 3.15: Flota de Camiones mineros Komatsu 930 E y CAT 797F en el Tajo Ferrobamba</i>	113
<i>Figura 4.1: Fabricación de la Mezcla Explosiva Quantex</i>	117
<i>Figura 4.2: Sensibilización química para la generación de burbujas de nitrógeno</i>	118
<i>Figura 4.3: Tiempo de Gasificación dentro del taladro</i>	120
<i>Figura 4.4: Equipo para medir la densidad real de carga dentro del taladro</i>	122
<i>Figura 4.5: Rango de Densidades Optimo</i>	123
<i>Figura 4.6: Efecto de Densidad y la velocidad de detonación del explosivo sobre la fragmentación.</i>	125
<i>Figura 4.7: Selección del porcentaje de sensibilizante para el tipo de roca adecuado</i>	126
<i>Figura 4.8: Medición de Densidades en Campo</i>	128
<i>Figura 4.9: Evaluación de las condiciones de los taladros antes del carguío</i>	129
<i>Figura 4.10: Volabilidad del Macizo rocoso para la selección del porcentaje de sensibilizante</i>	130
<i>Figura 4.11: Tipos de Carguío con Camión Fabrica</i>	131
<i>Figura 4.12: Camión Fabrica EXSA S.A. – Tajo Ferrobamba</i>	133
<i>Figura 4.13: Diseño de Carga para Mineral</i>	139
<i>Figura 4.14: Diseño de Carga para Desmonte</i>	140



<i>Figura 4.15: Medición de esponjamiento</i>	141
<i>Figura 4.16: Esponjamiento en Mineral dentro del taladro con la MEQ73</i>	142
<i>Figura 4.17: Esponjamiento en Desmote dentro del taladro con la MEQ73</i>	142
<i>Figura 4.18: Sistema de iniciación electrónico</i>	144
<i>Figura 4.19: Diseño de iniciación electrónica para Mineral.....</i>	145
<i>Figura 4.20: Diseño de iniciación electrónica para Desmote</i>	145
<i>Figura 4.21: Pre Voladura - Proyecto 1-01-3765-011</i>	148
<i>Figura 4.22: Post Voladura - Proyecto 1-01-3765-011</i>	148
<i>Figura 4.23: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3765-011</i>	149
<i>Figura 4.24: Pre Voladura - Proyecto 1-01-3855-019-020</i>	150
<i>Figura 4.25: Post Voladura - Proyecto 1-01-3855-019-020.....</i>	150
<i>Figura 4.26: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3855-019-020.....</i>	151
<i>Figura 4.27: Pre Voladura Proyecto 1-01-3870-052</i>	152
<i>Figura 4.28: Post Voladura Proyecto 1-01-3870-052</i>	152
<i>Figura 4.29: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3870-052</i>	153
<i>Figura 4.30: Pre Voladura Proyecto 1-01-3900-055.....</i>	154
<i>Figura 4.31: Pre Voladura Proyecto 1-01-3900-055.....</i>	154
<i>Figura 4.32: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3900-055.....</i>	155
<i>Figura 5.1: Presencia de Humos Naranjas con Heavy Anfo 55 – Jauapaylla Alta</i>	163
<i>Figura 5.2: Diseño de carga para Mineral con Heavy Anfo 55.....</i>	168



Figura 5.3: Diseño de carga para Mineral con Mezcla Explosiva Quantex 73..... 169

Figura 5.4: Diseño de carga para Desmante con Heavy Anfo 55..... 172

Figura 5.5: Diseño de carga para Desmante con Mezcla Explosiva Quantex 73 173

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 2.1: Curva de distribución Granulométrica Tamizada, acotada a los tamaños mayores a 1” 71

Grafico 4.1: Densidad Inicial y densidad Final según tiempo de reacción 121

Grafico 4.2: Variabilidad de la densidad en la columna de carga 136

Grafico 4.3: Influencia de la Densidad final del explosivo sobre la Velocidad de Detonación 146

Grafico 4.4: Los valores obtenidos en los registros de VOD 147

Grafico 4.5: Comportamiento de la Velocidad de Detonación 147

Gráfico 4.6: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3765-011 149

Gráfico 4.7: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3855-019-20 151

Gráfico 4.8: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3870-052 153

Gráfico 4.9: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3900-055 155

Grafico 5.1: Análisis de Granulometría P80 Pruebas (MEQ73) – Mineral 160

Grafico 5.2: Análisis de Granulometría P80 Pruebas (MEQ73) – Desmante 162



GLOSARIO DE TERMINOS

Acoplamiento: Grado en que un explosivo llena un taladro, los explosivos a granel son acoplados totalmente.

Burden: Es la distancia perpendicular del taladro hacia la cara libre

Cara Libre: Es la condición física o área expuesta al ambiente que se requiere para poder dar al macizo rocoso la oportunidad de desplazamiento al momento de la detonación que es fragmentado o roto por el explosivo.

Carga de columna: Carga larga y continúa de un explosivo o agente de voladura dentro de un taladro.

Carga operante: Es la cantidad máxima de explosivo (Anfo, Emulsiones y Cebo) que detona dentro de una voladura por retardo espaciados a 10 metros.

Cebo: Combinación de una carga explosiva y un detonador que constituye una unidad.

Conexión: Conectar todos los tiros entre sí a fin de transmitir la propagación de energía entre ellos

Conminucion: Acción de fragmentar o disminuir el tamaño de un material.

Densidad de carga: Peso de un explosivo cargado por metro de taladro.

Densidad del explosivo: Peso de un explosivo en un volumen determinado.

Desviación de taladro: Taladro ejecutado que esta fuera del punto inicial planificado, la desviación es vista desde un punto de vista tridimensional pudiendo distorsionar el Burden y el Espaciamiento del diseño original.

Espaciamiento: Es la distancia lateral entre taladro y taladro

Explosivo: Son sustancias o productos químicos que bajo la acción de un fulminante o cualquier otro estímulo externo reaccionan instantáneamente, deben ser sometidos a ignición a través de detonadores para que se produzca la explosión.

Factor de Potencia: Es la cantidad de explosivo utilizado para un determinado volumen de material roto, se expresa en (kg/tm).

Iniciación: Efecto que inicia la detonación de la columna explosiva



Ley Cut off: es aquella ley de mineral, cuyo valor es igual al costo de producción. La ley de mineral es expresado en términos de porcentaje en casos de cobre, plomo, o estaño; en términos de Oz/tc o g/t en casos de plata y oro; mientras que el valor del mineral y el costo de producción son expresados en \$/t de mineral

Malla de perforación: Diseño inicial para perforación, con la finalidad de lograr una distribución uniforme de la energía, un confinamiento y nivel de energía adecuado.

Retardos: Pausa de tiempo determinado entre detonaciones e impulsos de detonación para permitir la iniciación de cargas explosivas separadamente.

Sobre excavación: Exceso de rotura más de los límites de excavación.

Taco: Material inerte introducido en el taladro detrás de la carga de columna, su propósito es retener los gases y la energía del explosivo dentro del taladro.

Tiros congelados: También llamado “dead Pressing” muerte por presión. Se debe al aumento en la densidad que sufren los explosivos a consecuencia de la presión ejercida por los gases producto de la detonación de un taladro aledaño.

Velocidad de detonación: Velocidad a la cual progresa la detonación a través de un explosivo.

Work Index: Índice de trabajo WI, parámetro que depende del material y del equipo de conminución.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La Voladura de Producción es un pilar de suma importancia dentro del ciclo minado en un tajo a Cielo Abierto ya que sus resultados influyen de forma significativa en las operaciones unitarias posteriores, logrando reducir o incrementar los costos de producción de forma directa.

Las Empresas de gran minería han establecido políticas de utilización de tecnologías adecuadas en la voladura de rocas y control ambiental, es así que la desintegración del material in situ y sus controles ambientales son de vital importancia y aprovechar al máximo la energía química del explosivo, para así obtener una fragmentación adecuada con el menor costo; elevando la productividad y mejorando el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo además de reducir el Work Index del chancado, dando como resultado un mejor Costo de Producción.

En la empresa M.M.G. Las Bambas, se analizaron todos los procesos operativos en la obtención del material fragmentado, teniendo deficiencias en el Power Factor o poder



rompedor, en la operatividad en campo así como en el nivel de humos rojizos producto de un mal balance de combustible utilizando los explosivos comerciales actuales, a eso añadir que sus costos por metro lineal de carga son mayores a la propuesta de la Mezcla Explosiva Quantex que se tiene como fin de un reemplazo futuro en vista de la continua competitividad de la industria de los explosivos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿Cómo influye en el mejoramiento de la voladura, la utilización de la Emulsión Gasificada (MEQ73) en el diseño, sistema de voladura de producción y económica en el tajo Ferrobamba en MMG Las Bambas?

1.2.2 Problemas Específicos

- 1) ¿Cómo es el proceso de carguío por taladro en la voladura de producción del tajo Ferrobamba, después de la utilización de la emulsión gasificada (MEQ73)?
- 2) ¿Cómo es el grado de fragmentación de la roca y la emanación de gases nitrosos en la voladura de producción usando la emulsión gasificada (MEQ73) en el tajo Ferrobamba?
- 3) ¿Cuáles son los costos operativos de voladura utilizando la emulsión gasificada (MEQ73) como reemplazo de la mezcla explosiva matriz de en el tajo Ferrobamba?



1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1 Objetivo General

Determinar y mejorar el diseño y sistema de voladura de producción de forma económica y operativa utilizando la emulsión gasificada (MEQ73) en comparación con la emulsión matriz en el tajo Ferrobamba MMG Las Bambas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Mejorar el proceso de carguío por taladro en la voladura de producción del tajo Ferrobamba utilizando la emulsión Gasificada (MEQ73).
- 2) Evaluar y mejorar el grado de fragmentación de la roca y reducir el porcentaje de generación de gases nitrosos en la voladura de producción usando emulsión gasificada (MEQ73) en el tajo Ferrobamba.
- 3) Determinar los costos operativos de la voladura de producción utilizando emulsión Gasificada (MEQ73) en remplazo de la mezcla explosiva matriz en el Tajo Ferrobamba.

1.4 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACION DE LA INVESTIGACION

1.4.1 Justificación

La presente investigación es importante porque presenta una alternativa de mejora dentro de una de las operaciones unitarias de mayor importancia en el ciclo de minado como es la Voladura; alternativa que con un correcto diseño de carga nos permitirá obtener mejores resultados a menor costo, en menor tiempo y cuidando el medio ambiente.



1.4.2 Delimitación de la Investigación

- **Delimitación Espacial**

El presente Estudio de Ingeniería se ejecuta en el Tajo Ferrobamba que pertenece a la Unidad Operativa Las Bambas, ubicada en la Comunidad de Fuerabamba del Distrito de Challhuahuacho – Progreso, Provincia de Cotabambas – Grau en la Región de Apurimac.

- **Delimitación operativa - temporal**

El presente trabajo de investigación se delimita a la operación unitaria de Voladura de Producción en el Tajo Ferrobamba de Las Bambas y que en tiempos comprende desde Junio del 2017 hasta Septiembre del 2017.

1.5 HIPOTESIS

1.5.1 Hipótesis General

La utilización de la Emulsion Gasificada (MEQ73) nos permitirá mejorar el diseño y sistema de voladura de producción así como la parte operativa y económica con la finalidad de conseguir mejores resultados en el Tajo Ferrobamba.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- 1) El uso de la emulsión gasificaste (MEQ73) posibilita el remplazo de la Emulsión Matriz, mejorando el proceso de carguío por taladro reduciendo los tiempos gracias al diseño de carga y tiempo de esponjamiento del explosivo.
- 2) La utilización de la Emulsión Gasificable (MEQ73), logra mejores resultados en la fragmentación de la roca y reduce la emanación de gases nitrosos.



3) El uso de la Emulsión Gasificable (MEQ73) reducirá el costo por metro lineal y por taladro de hasta un 20% con referencia al Heavy Anfo 55.

1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel del presente proyecto de investigación se realizará bajo el enfoque *descriptivo* y *aplicativo*, ya que el propósito de la investigación es especificar las propiedades y características del explosivo para luego identificar la relación existente entre las mismas con el propósito de demostrar nuestra hipótesis en base a los resultados de la emulsión gasificada (MEQ73) en las voladuras del Tajo Ferrobamba.

1.6.1. Tipo de Investigación

El presente investigación tiene una finalidad *aplicativa*, puesto que realiza procedimientos de trabajo utilizando la emulsión gasificada (MEQ73) en el área de voladura del Tajo Ferrobamba en Las Bambas.

En cuanto al diseño de investigación, es del tipo *experimental* ya que se realiza ensayos con diferentes mezclas para determinar una densidad y esponjamiento adecuados de la sustancia explosiva para obtener una fragmentación adecuada.

En tanto el método de manipulación de datos es *cualitativo*, ya que no se realizará una estadística exhaustiva y numérica, sino más bien, ver las ventajas que ofrece la aplicación de la (MEQ73) en el Tajo Ferrobamba Las Bambas.



1.6.2 Variables e Indicadores

Variable dependiente

Mejoramiento del diseño y sistema de voladura de producción

Indicadores:

- Costo por Tonelada Disparada (USD/Ton)
- Diseño de Carga (Kg/m)
- Rendimiento de equipos de Carguío. (Ton/Hra)

Variables independientes

Tiempo de Carguío por Taladro

Indicadores:

- Velocidad de Descarga (Flujo del explosivo) (kg/min)
- Factor de Esponjamiento del explosivo (m)

Fragmentación

Indicadores:

- Densidad del Explosivo (gr/cm³)
- Velocidad de Detonación (m/s)
- P80 (pulgadas)

Nivel de Humos

Indicadores:

- Gases Nitrosos (%)



Costo Operativo

Indicadores:

- Costo por metro lineal (USD/m)
- Factor de Carga (kg/m³)
- Factor de Potencia (kg/ton)

1.6.3. Población y muestra

a) Población.

La población del presente estudio lo conforman el "Tajo Ferrobamba". LAS BAMBAS – M.M.G.

b) Muestra.

La muestra del presente estudio lo conforman los 11 Proyectos de Voladura los cuales fueron el propósito de nuestra investigación dentro del Tajo Ferrobamba en la LAS BAMBAS – M.M.G.

1.7 FUENTES DE LA INFORMACION

Las fuentes de información para esta investigación son los reportes e informes entregados al área de Operaciones Mina de Las Bambas antes, durante y después del proceso de voladura por parte del equipo de trabajo que se encarga de cumplir con todos los estándares de operaciones y seguridad requeridos por la mina durante el protocolo de voladura, además de la información solicitada a la contratista EXSA.S.A. por parte de mi persona en diferentes oportunidades.



1.8 MÉTODOS DE MEDICIÓN

Para la obtención de datos recurrimos a la medición de algunas de nuestras variables independientes estableciendo cinco parámetros de medición que fueron comparados con los recopilados de la línea base, y con ello se determinó la calidad del explosivo y de la voladura en general.

- Velocidad de detonación (VOD).
- Densidad.
- Fragmentación.
- Taza de excavación (Dig-Rate).
- Cálculo del balance de oxígeno del explosivo.

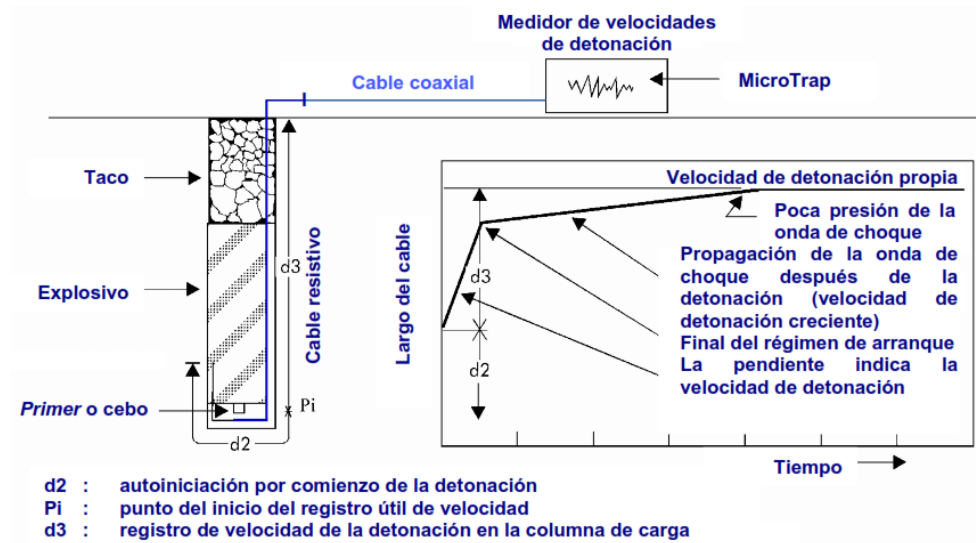
Cada uno de estos parámetros han tenido un procedimiento de medición específico para que los ensayos sean representativos y fiables. A continuación se describe el proceso que se siguió para cada prueba, los equipos utilizados y otros recursos que se necesitaron.

Velocidad de Detonación (VOD)

Se utilizó el equipo MicroTrap; este permite medir la VOD de un taladro por proyecto de voladura por el método de corto circuito. Es posible medir dos o más taladros, pero da la posibilidad de cortes y fallas en la medición.

La Figura 1.1 muestra un esquema general del método de medición, donde el cable resistivo (en corto circuito) se coloca junto al Booster y posteriormente se conecta al cable coaxial, el cual finalmente se conecta con el MicroTrap.

Figura 1.1. Método de medición de velocidad de detonación.



Fuente: Manual de Voladura de EXSA.

En la Figura 1.2 se aprecia la unión del cable resistivo (color verde) al Booster, el cual posteriormente se coloca en la base del taladro.

Figura 1.2. Instalación de cable resistivo junto al Booster y tubo de choque.



Fuente: Elaboración propia

Densidad

Para el caso de la mezcla explosiva Quantex, es importante medir la densidad inicial y la final (tras 15 minutos de esponjamiento). Primero, se toma una muestra en el vaso volumétrico



directamente de la manga de descarga, rápidamente se limpia el material que quede fuera del depósito y se pesa. Se controla quince minutos, se elimina el material que rebalsa el vaso volumétrico (producto de la gasificación) y se vuelve a pesar. Se toma la densidad cada 5 minutos para cuantificar el proceso de esponjamiento.

Los materiales necesarios para realizar la medición, los cuales forman parte de un kit obligatorio que debe tener cada Camión – Fábrica:

- Balanza.
- Vaso volumétrico de 1 litro.
- Trapos y espátula para limpieza.

Fragmentación

Se utilizó el software WipFrag, el cual en base a una fotografía del material y un punto de referencia dentro de la misma (Figura 1.3), es capaz de determinar la fragmentación, brindando el pasante requerido en este caso 80 (P80) para Las Bambas.

Por otro lado, es importante indicar que mediante este método no fue posible determinar la fragmentación de material fino, apelmazado y lodos. En esta situación se registraba la fragmentación de manera cualitativa y se le daba mayor relevancia a la tasa de excavación (Dig-Rate).



Figura 1.3 Fotos con puntos de referencia para medir fragmentación



Fuente: Propia

Tasa de excavación (Dig Rate)

Para evaluar la tasa de excavación (Dig-Rate) de los equipos de carguío, se deben tener en cuenta algunos factores externos al minado que influyentes también en el rendimiento de los equipos, como son: las condiciones climáticas, disponibilidad de equipos, condiciones de seguridad.

Para el caso del presente estudio se decidió evaluar la productividad de los equipos, no solo con data histórica, sino con las tasas de excavación que alcanzaron los equipos durante el momento de las pruebas con Mezcla Explosiva Quantex 73.

Para tener una data que posteriormente pueda ser comparable con los resultados de la tasa de excavación de una voladura con MEQ73, se obtuvieron las tasas de excavación de polígonos adyacentes a los polígonos volados con el nuevo explosivo en etapa de prueba. Aparte de la cercanía de los proyectos de voladura, se consideró que ambos tengan el mismo diseño de malla (espaciamiento y burden), de carga y principalmente que sea el mismo material.



De esta forma, puede asumir que se están dando las mismas condiciones para el minado, tanto de proyectos detonados con Anfo pesado a base de emulsión matriz, como aquellos cargados con MEQ73 a base de emulsión gasificable.

La información en cuanto a la tasa de excavación fue solicitada al área de operaciones mina, quienes brindaron data histórica la cual fue depurada y resumida para los polígonos cargados con los explosivos en estudio.

La tasa de excavación o Dig-Rate se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de excavación } \left(\frac{t}{h} \right) = \frac{\text{tonelaje nominal}}{\text{tiempo de carguio}}$$

Tenemos que agregar que este valor depende directamente de la densidad y cohesión del material, calidad de la voladura, habilidad del operador, entre otros factores que afectan la tasa de excavación de los equipos.

Cálculo del balance de oxígeno del explosivo

Se realizó el cálculo del balance de oxígeno de las diferentes mezclas, adicional a esto se utilizó una cámara fotográfica y/o filmadora para así poder evidenciar la presencia de humos naranjas, en caso se evidencie dichos humos naranjas se realizará la investigación para determinar las causas básicas y posibles, y luego establecer controles para evitar la emisión de humos naranjas.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

La emulsión gasificada o por su nombre comercial Mezcla Explosiva Quantex 73 es una tecnología de innovación enteramente desarrollada en el Perú, que se encuentra en proceso de patente internacional y que ya está beneficiando a la minería nacional pero con amplias proyecciones de poder ser utilizada a nivel mundial. Fue desarrollada por el equipo de Investigación y Desarrollo de EXSA, que sometió la tecnología a rigurosas pruebas y estudios en el Perú, obteniendo excelentes resultados.

La tecnología Quantex constituye una evolución en el mercado de productos de fragmentación de roca, obviando completamente el uso del tradicional Nitrato de Amonio Poroso o de baja densidad, logrando con ello ahorros significativos para los clientes, tanto en los precios de adquisición como en los costos de operación.

Dentro de las principales tesis relacionadas con las variables de estudio, se ubicaron los siguientes:



Título: “Estudio Técnico - Económico del uso de la Mezcla Explosiva Quantex 73 en la Unidad Minera Toquepala – SPCC”

Autor: Luis Alberto Iglesias Salas

Año: 2016

“Sostiene que con el uso de la mezcla explosiva Quantex 73 se obtuvo una disminución de costos del 10 % hasta el 20 % en comparación al Anfo pesado además también se determinó un incremento en la tasa de excavación del 4,8 %, en comparación al Anfo pesado que se venía utilizando”

Título: “Importancia de la Fragmentación de la Roca en el Proceso Gold Mill - Minera Yanacocha)”

Autor: José Luis Poma Fernández.

Año: 2012

“Sostiene que es importante lograr una buena impedancia (roca vs explosivo), ya que se aprovecha la energía del explosivo; en caso no se hubiese trabajado con HA 55, la reducción de los parámetros de perforación (burden y espaciamiento) no hubiese sido significativo, ya que la energía entregada por él HA 46 (305 Kcal/ton) es menor respecto que la del HA 55 (324 Kcal/ton)”.

Título: “Evaluación Técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando Emulsiones Gasificadas en Cuajone – Southern Peru”

Autor: Robert Osmar Medina Cortez, Medina

Año: 2014



“Sostiene que usando la emulsión gasificada en la mezcla AP-73Q, se obtuvieron mejores resultados en términos de fragmentación y uniformidad, el P80 disminuyó en un 21.5% comparado con los resultados de los análisis realizados en proyectos disparado con HA 45/55”

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Explosivos

Los explosivos comerciales actuales son el resultado de una gradual evolución que comenzó hace 600 años. La pólvora negra se usó por primera vez en armas alrededor del siglo 14. Pero no fue hasta el siglo 17 que este explosivo empezó a usarse como el método principal para fragmentar la roca. Cuando la pólvora negra fue aceptada en la industria minera, la cantidad de accidentes se incrementó y así emergió la necesidad por explosivos y sistemas de iniciación más seguros.

Se puede definir a los explosivos como productos químicos que encierran un enorme potencial de energía conformados por oxidantes, combustibles y sensibilizantes que bajo la acción de un iniciador u otro estímulo externo reaccionan instantáneamente con gran violencia generando fracturamiento de la roca y un gran volumen de gases que se expanden con gran energía a altas temperaturas.

2.2.2 Componentes de los explosivos

La mayoría de los explosivos usados hoy en día en la minas de superficie son explosivos sensibles al detonador. Bajo condiciones normales de uso se requiere de un cebo para iniciarlos en forma confiable, en la tabla 2.1 se observan los componentes de un explosivo Todos los explosivos sensibles a iniciador contienen las siguientes componentes.



Oxidante

Un oxidante es un producto químico que entrega oxígeno para la reacción. Nitrato de Amonio es de lejos el oxidante más común.

Combustible

El combustible reacciona con oxígeno para producir calor. Los combustibles comunes incluyen petróleo y el polvo de aluminio.

Sensibilizador

Un sensibilizador entrega espacios vacíos que actúan como “puntos calientes” y es donde empieza la reacción durante una detonación. Los sensibilizadores son generalmente aire o gas en la forma de burbujas muy pequeñas a veces encapsuladas en microballoons de vidrio.

Tabla 2.1: Componentes de los explosivos

EXPLOSIVO	OXIDANTE	COMBUSTIBLE	SENSIBILIZADOR
DINAMITAS	Solido Nitrato de amonio y otras sales	Solido Materiales absorbentes, pulpa de madera, harina, celulosa	Liquidos Nitroglicerina, nitrocelulosa, glicol.
ANFO OTROS CARBONITRATOS GRANULARES	Solido Nitrato de amonio granular	Liquido Petroleo Diesel, o aceites residuales, carbon.	Aire Poros vacios de aire en los prills de nitrato de amonio.
EMULSIONES	Solido Nitrato amonio y Otras sales (soluciones salinas)	Aceites minerales, emulsiones, petroleo, parafina.	Gasificacion Aire en microbalones (microesferas de vidrio) o agentes gasificantes(nitratos)

FUENTE: Explosivos utilizados en la industria minera PUCP (2011)



2.2.3 Propiedades de los explosivos

2.2.3.1 Velocidad de detonación.

Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través de la columna explosiva, ya sea cartucho o en el taladro.

Está influenciada por:

- La calidad de las materias primas.
- El diámetro de la carga.
- Grado de confinamiento.

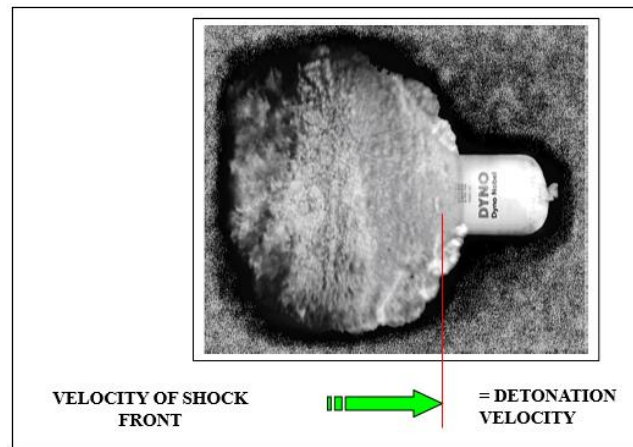
Sí en el extremo de una fila de cartuchos de explosivo, colocamos un detonador, e iniciamos éste, la detonación del explosivo se producirá con una cierta velocidad, que es la que denominamos velocidad de detonación del explosivo.

La detonación de un explosivo, es por tanto, la transformación casi instantánea de la materia que lo compone en gases. Esta transformación se hace a elevadas temperaturas y con un desprendimiento de un gran volumen de gases como se observa en la figura 2.1.

La velocidad de detonación es una de las principales características a tener en cuenta a la hora de la elección de un explosivo para un fin determinado.

Para unos trabajos interesan en unos casos explosivos lentos y en otros explosivos de gran velocidad de detonación, de ahí la importancia de la elección del explosivo, para obtener los mejores resultados.

Figura 2.1: Demostración Velocidad de Detonación



Fuente: Informe Curso Básico de Explosivos Orica

La velocidad de detonación de un explosivo se mide en metros por segundo, y es del orden de miles de metros.

2.2.3.2 Densidad.

Es el peso del explosivo por unidad de volumen (gr/cc) y controla la concentración de energía en un taladro, además es un factor importante para el cálculo de la cantidad de carga necesaria para una voladura. Un explosivo con una densidad menor a 1.0 gr/cc flotará en el agua.

La densidad de encartuchado es también una característica importante de los explosivos, que depende en gran parte de la granulometría de los componentes sólidos y tipo de materias primas empleadas en su fabricación.



Densidad de Carga Lineal (DCL)

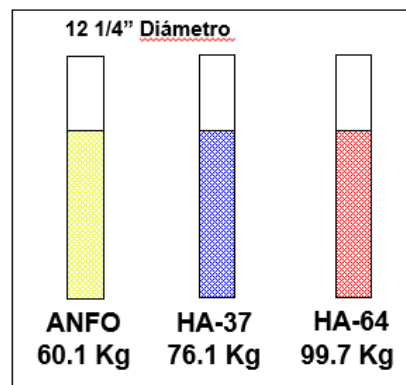
Es la cantidad de carga explosiva que sube en un metro para un diámetro determinado como se ve en la figura 2.2 la densidad de carga lineal varía según la mezcla explosiva.

$$DCL = 0.507 \times D^2 \times \rho \dots\dots(Kg/m)$$

D: Diámetro (pulg.)

P : Densidad del Explosivo (gr/cc)

Figura 2.2: Densidad de Carga por metro lineal para diferentes mezclas explosivas



Fuente: Informe Curso Básico de Explosivos Orica

HA-64:

$$DCL = 0.507 \times 12 \frac{1}{4} \times 12 \frac{1}{4} \times 1.31 = 99.7 \text{ Kg/m}$$

La densidad es un parámetro importante a tener en cuenta en la carga de taladros con agua, en su interior. Así, por ejemplo, la carga, en taladros con agua, de explosivos de densidad inferior a 1, independiente de la resistencia al agua del explosivo, resulta muy laboriosa, ya que éste flota, cosa que no ocurre con los de densidad superior a 1.



2.2.3.3 Resistencia al agua.

En éste punto cabe diferenciar tres conceptos:

- Resistencia al contacto con el agua.
- Resistencia a la humedad.
- Resistencia al agua bajo presión de la misma.

La resistencia al agua de un explosivo es la capacidad que tienen los explosivos para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características.

Los explosivos comunes no son a prueba de agua, ellos tienen sólo una “calidad de resistencia al agua” tales como: nula, regular, bueno, excelente.

El efecto del agua en la performance del explosivo es reducir la sensibilidad del explosivo, acompañado frecuentemente por la generación de gases nitrosos. Finalmente, se puede reducir la sensibilidad al punto que el producto no detone.

La resistencia al agua varía según la composición del explosivo y el empaquetamiento del explosivo.

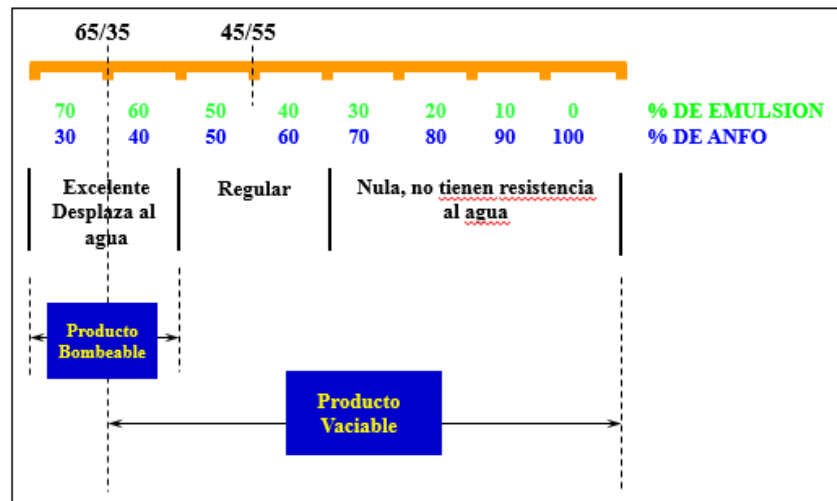
El ANFO tiene una resistencia al agua nula, ya que el nitrato del amonio es soluble en agua.

Las emulsiones son muy resistentes al agua, según la proporción en la mezcla, el explosivo tendrá una calidad de resistencia al agua como se observa en la figura 2.3.

Usualmente la resistencia al agua se clasifica para agua estática. Cuando el agua fluye por los taladros de voladura (agua dinámica), se agrega resistencia empaquetando el explosivo (mangas).



Figura 2.3: Resistencia al agua en base al porcentaje de Emulsión y Anfo



Fuente: Informe Curso Básico de Explosivos Orica

2.2.3.4 Sensibilidad.

Es la capacidad o aptitud que presenta todo explosivo para ser iniciado por un fulminante, un cebo o un cordón que se denomina “mínimo primer”.

En la práctica es el peso del más pequeño detonador (convencional, minibooster, primer reforzador, cordón detonante o carga de explosivo primario) capaz de llevar a cabo la detonación completa de un cartucho o carga de explosivo rompedor.

Los explosivos deben ser suficientemente sensitivos para ser detonados por un iniciador adecuado. Esta capacidad varía según el tipo de producto. Así, por ejemplo los fulminantes o detonadores se emplean para la mayoría de dinamitas mientras que los agentes de voladura usualmente no arrancan con ellos, requiriendo de un booster o multiplicador de mayor presión y velocidad.

Los detonadores más utilizados son los de número 6 y 8. En muchas dinamitas se nota un incremento de régimen de detonación al emplear el 8 en lugar del 6, por lo que se dice que

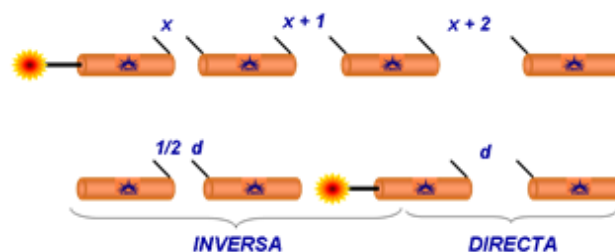


tienen mayor sensibilidad al N° 8. Por otro lado, pueden reaccionar sólo con un bajo régimen de detonación (hasta 2.500 m/s) si la carga iniciadora es insuficiente. Muchos de los detonadores no eléctricos de shock corresponden al N° 12. Para la clasificación de explosivos se emplea esta propiedad, agrupándolos en “altos explosivos” a los sensibles al detonador N° 8, como los explosivos hidrogel y dinamitas y los "noncap sensitives" o no sensibles al detonador N° 8, como son los "agentes de voladura" slurry, emulsión y granulares ANFOS.

2.2.3.5 Simpatía.

Cuando los explosivos tienen un nivel de sensibilidad a la iniciación relativamente alto, (como ocurre con la mayoría de las combinaciones basadas en la nitroglicerina), la distancia entre explosivos es pequeña y la roca es un efectivo transmisor de las ondas de tensión, el choque creado por la detonación de un tiro anterior puede iniciar una carga cercana en forma prematura como se observa en la figura 2.4. La detonación por simpatía también es estimulada por la presencia de agua subterránea y por características como: estructuras abiertas y mantos de arcilla. Ocurre con menor frecuencia cuando las perforaciones están escudadas una de otras por pozos huecos.

Figura 2.4: Prueba de transmisión o detonación por Simpatía



Fuente: Manual Práctico de Voladura – EXSA (2014)



2.2.3.6 Diámetro Crítico.

Las cargas explosivas cilíndricas tienen un diámetro particular por debajo del cual la onda de detonación no se propaga, o sólo lo hace con una velocidad muy por debajo a la de régimen.

A dicha dimensión se la denomina “diámetro crítico”, la que por ejemplo en algunos hidrogeles sensibles es del orden de 1 pulgada (2,54 cm) y en slurries de 3 pulgadas (7,5 cm) lo que es necesario conocer previamente.

Inclusiones de gas finamente dispersas reducen considerablemente el diámetro crítico de un explosivo. El diámetro crítico puede ser bastante grande (aprox. 5.0 pulg) para muchas explosivos a base de emulsión.

Los principales factores que influyen en la determinación del diámetro crítico son:

- Tamaño de las partículas.
- Reactividad de sus componentes.
- Densidad.
- Confinamiento.

Por su sensibilidad y alto grado de transmisión, las dinamitas aseguran siempre una correcta iniciación con el detonador mínimo, siendo los únicos explosivos capaces de asegurar la detonación completa de la columna explosiva del taladro.

2.2.3.7 Presión de detonación.

Es la presión que existe en el plano de Chapman-Jouguet detrás del frente de detonación, en el recorrido de la onda de detonación. Es función de la densidad y del cuadrado de la velocidad y su valor se expresa en (kbar) o megapascales (Mpa). Así, en los explosivos comerciales varía entre 500 y 1,500 Mpa.



Es un indicador significativo de la capacidad de fragmentación que posee un explosivo.

Existen varias formas para estimarla por cálculo y pruebas físicas complicadas como la del acuario para determinarla bajo el agua, pero dentro de la teoría hidrodinámica se muestra que su valor práctico expresado en kilobares es:

$$Pd = 250 \times \rho \times (VOD)^2$$

VOD: Velocidad de Detonación (km/s)

ρ : Densidad de Explosivo (gr/cm³)

Pd: Presión de Detonación (Mpa)

2.2.3.8 Estabilidad química o Tiempo de Duración

La estabilidad Química de un explosivo es la aptitud que este posee para mantenerse químicamente inalterado durante un cierto tiempo.

Esta estabilidad con la que el explosivo parte de fábrica, se mantendrá sin alteraciones mientras las condiciones de almacenamiento sean adecuadas, permitiendo al usuario tener un producto totalmente seguro y fiable para los trabajos de voladura.

Las pérdidas de estabilidad en el explosivo se pueden dar por almacenamiento prolongados en lugares con deficiente ventilación, pudiendo llegarse, hasta la inutilización del explosivo.

2.2.3.9 Energía/Potencia

La energía de un explosivo expresa la capacidad del explosivo para fragmentar. Un explosivo con mayor energía podrá trabajar sobre una mayor cantidad de roca, es por ello que el rendimiento del explosivo está en función de la composición química del explosivo, la forma



física y la naturaleza del confinamiento, el método de iniciación y el tipo así como la extensión del particionamiento de la energía disponible para hacer trabajo útil sobre la roca.

En otras palabras el efecto del explosivo sobre la roca circundante se puede predecir en forma más realista en términos de energías de fragmentación y de empuje.

2.2.4 Mecánica de la rotura de rocas por explosivos

Los materiales explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de oxidación-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 estas 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.

2.2.4.1 Proceso de reacción según su carácter fisicoquímico

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.

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.

Detonación

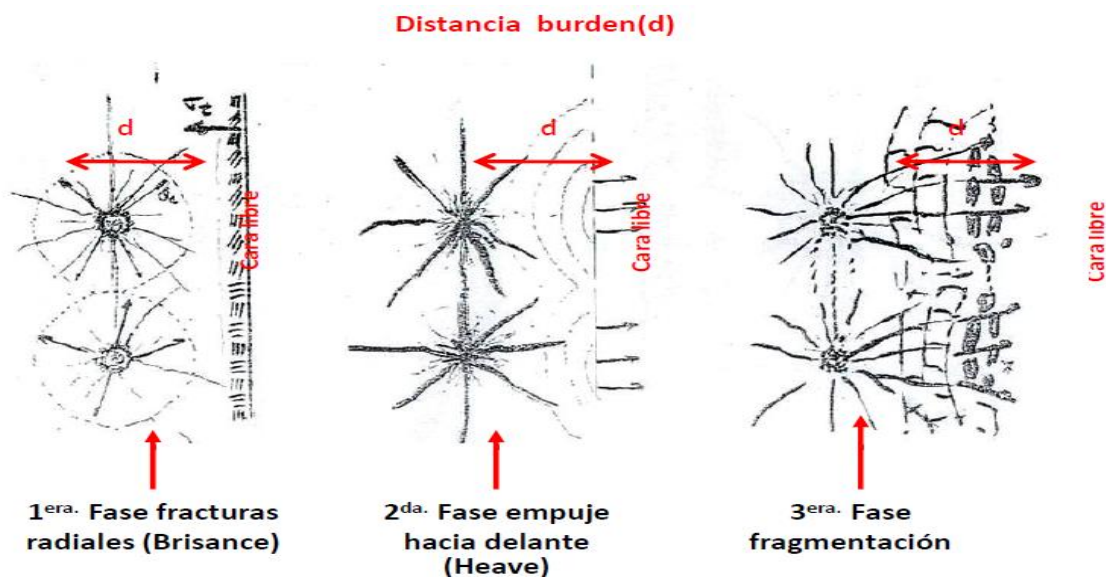
Es un proceso fisico-químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y por la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva que se traduce en presión sobre el área circundante.

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.

2.2.4.2 Etapas del proceso de fracturamiento de rocas

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que 3 son las etapas o fases principales que toman lugar en el proceso del fracturamiento de rocas por la acción de una mezcla explosiva comercial como se observa en la figura 2.5.

Figura 2.5: Etapas del Proceso de fracturamiento de rocas



Fuente: Diplomado Costos de Perforación y Voladura CAMIPER (2016)

Primera fase: Fracturas radiales (Brisance)

Cuando cualquier mezcla explosiva comercial que se encuentra cargada dentro de un taladro es detonada, se producen ondas compresivas o de choque.

La forma y magnitud de estas ondas compresivas que viajan a altas velocidades cuyo rango esta entre 3,000 – 5,000 m/seg., dependerá del tipo de mezcla explosiva comercial, del tipo de roca, del numero y posición de los boosters, altura de carga, diámetro del taladro y la relación de la velocidad de detonación con la velocidad de propagación de las ondas a través del macizo rocoso.

Se debe mencionar que estas primeras fracturas radiales se producen en las zonas adyacentes a los taladros y el tiempo necesario para esto, esta entre 1 a 2 ms.



Segunda fase: Empuje hacia adelante (heave).

Las altas presiones de los gases, hacen que estos produzcan las ondas compresivas las cuales serán refractadas y reflejadas.

Las ondas compresivas reflejadas cambiarán de signo (negativo) y se convertirán en ondas tensionales. Esta transformación ocurrirá cuando las ondas compresivas arriben a una cara libre, cuando la masa rocosa cambie de densidad o cuando ellas encuentran fallas geológicas o planos estructurales, etc., etc.

El fracturamiento de la roca comenzará en la cara libre o en cualquier discontinuidad donde las ondas compresivas son reflejadas.

Tercera fase: Fragmentación.

En esta etapa se produce la fragmentación total de la roca.

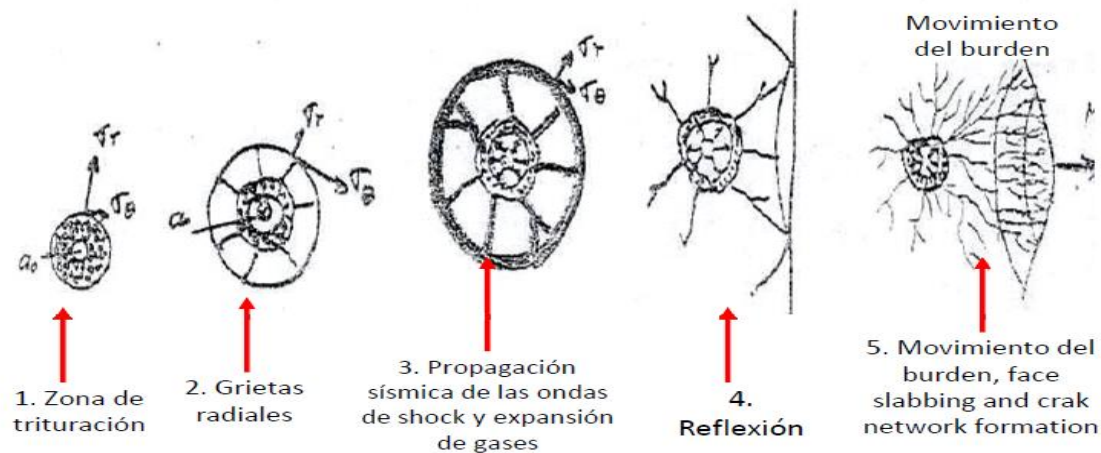
JOHANSSON: Ha dicho que: "Bajo la influencia de las altas presiones de los gases producidos por la detonación de cualquier mezcla explosiva comercial; las primeras fracturas radiales son extendidas, la cara libre falla y esta es movida hacia el frente".

Como en el caso del empuje hacia adelante (HEAVE); la primera parte del macizo rocoso es movida hacia adelante y la nueva cara libre reflejara lo restante de las ondas de choque producidas por las ondas compresivas.

Muchos investigadores han señalado que la fracturación puede dividirse también en cinco etapas o fases como se muestra en la figura 2.6 ya que la fragmentación es la más importante y única variable que debe ser tomada en cuenta para evaluar los resultados de un disparo desde un punto de vista técnico-económico-ecológico. Es debido a que la fragmentación es la única variable que interrelaciona a todas las operaciones minero-metalúrgicas que conforman el ciclo

total de la extracción del mineral (pre-minado, minado propiamente dicho, procesamiento de minerales, y venta de los productos minerales).

Figura 2.6: Proceso del Fracturamiento de rocas dividido en cinco etapas o fases



Fuente: Diplomado Costos de Perforación y Voladura CAMIPER (2016)

2.2.4.3 Condiciones fundamentales para la rotura de rocas

2.2.4.3.1 Confinamiento del explosivo en el taladro

Para lograr el mejor acoplamiento con la pared interior que permita transferir la onda de choque a la roca. Explosivo suelto, presencia de vacíos o desacoplamiento disminuyen enormemente este efecto.

2.2.4.3.2 Cara libre

Es indispensable para la formación y retorno de las ondas de tensión reflejadas que provocan la fragmentación. Si la cara libre es inadecuada la voladura será deficiente y si no hay cara libre las ondas de compresión viajarán libremente sin reflejarse, difundiendo a la distancia solo como ondas sísmicas.



2.2.4.3.3 Distancia del taladro a la cara libre

También denominada línea de menor resistencia o burden. Debe ser adecuada para cada diámetro de taladro. Si es muy larga la reflexión de ondas será mínima, e incluso nula y la fragmentación se limitara a la boca o collar del taladro como craterización.

Si estas condiciones son adecuadas, el empuje de los gases sobre la masa de roca en trituración provocara además la formación de planos de rotura horizontales, a partir de la cara libre como resultado de los esfuerzos de tensión producidos cuando la roca llega a su límite de deformación elástica y a la deformación convexa de la cara libre, donde se forman grietas de plegamiento, de las que nacen los planos de rotura horizontales mencionados. Este proceso se denomina rotura flexural.

En el momento de la flexión de la cara libre se produce además cierta proporción de rotura por descostre.

El material triturado y proyectado se acumula formando la pila de escombros o detritos, que se extiende al pie de la nueva cara libre, en una distancia mayor que la del burden original, denominada desplazamiento o spelling, debiéndose considerar que el volumen del material roto es mayor que el que se tenía in situ, lo que se denomina esponjamiento. Este aspecto se estima basándose en el factor de esponjamiento de los diferentes tipos de roca y a las dimensiones de corte efectuado por la voladura.



2.2.4.3.4 Fisuramiento cilíndrico radial

Una carga explosiva puntual (relación longitud/diámetro máximo: 6/1), es decir no mayor a 6 veces el equivalente del diámetro del taladro, produce generalmente una excavación en forma de copa o de cráter de limitada profundidad, mientras que en un taladro convencional (largo mayor de 6 diámetros) tiene expansión cilíndrica radial en toda su longitud.

Teniendo en cuenta que la presión de gases en la detonación va entre 9 kbar a 275 kbar alcanzando temperaturas entre 3000 a 7000 grados F, su efecto sobre la roca circundante a partir del eje del taladro produce teóricamente los siguientes grados de destrucción:

- A la distancia de dos diámetros, pulverización.
- A la distancia de 2 hasta 4 o 5 diámetros, fisuras cada vez más débiles y abiertas correspondientes a la zona de fisuramiento radial, acompañados de fragmentación menuda y media a cada vez más gruesa.
- Más allá de los 55 diámetros es la zona de deformación elástica, donde las vibraciones por impacto se transforman en ondas sísmicas.
- Esta distribución de grados de destrucción y alcance máximo del proceso de la detonación es importante para calcular la distancia entre los taladros de una voladura. Si es adecuada habrá buena fragmentación por interacción entre ellos; si es muy larga solo producirá craterización en la boca, dejando fragmentos sobredimensionados entre ellos, o lo que es peor, los taladros solamente soplarán los gases sin producir rotura entre ellos.



2.2.5 Fragmentación por voladura

2.2.5.1 Variables en el proceso de fragmentación de rocas

Cada compañía de cualquier actividad económica tiene un planeamiento estratégico a sus actividades; en el caso de las compañías mineras obligatoriamente diseñan un adecuado planeamiento estratégico para lograr sus metas a fin de año.

Teniendo en cuenta que las demás operaciones unitarias dependen de la Voladura Primaria para ello este departamento al diseñar un disparo primario debe tener en cuenta las variables controlables y no controlables mencionadas a continuación:

2.2.5.1.1 Variables Controlables

a) Geométricas

- Burden
- Espaciamiento
- Diámetro del taladro
- Longitud de carga
- Sobre Perforación
- Taco
- Altura de Banco
- Profundidad de taladro

b) Físico - Químicas

- Tipo de mezcla explosiva
- Densidad de la mezcla explosiva
- Velocidad de detonación



c) De tiempo

- Tipos y tiempos de retardo
- Tipos y secuencia de salida

d) Operativas

- Fragmentación requerida

2.2.5.1.2 Variables no controlables:

En su mayoría poseen propiedades aleatorias y son:

- Variedad y naturaleza del macizo rocoso
- Geología regional, local y estructural
- Hidrogeología y condiciones climatológicas
- Aspectos geotécnicos
- Características geomecánicas
- RQD RMR

2.2.5.2 Parámetros de perforación

2.2.5.2.1 Concepto de cara libre

Es el espacio expuesto al ambiente el cual se quiere disparar, ya sea el frente de una galería, chimenea y pique tendrá una cara libre o un tajeo de explotación en mina subsuelo tendrá dos caras libres.

Un banco de un tajo abierto, tendrá dos caras libres así como la esquina de un banco tendrá tres caras libres.



2.2.5.2.2 Diámetro de taladro

La selección del diámetro de taladro es crítico:

- Afecta a las especificaciones de los equipos de perforación, carga y acarreo
- También afecta al burden, espaciamiento
- Distribución de la carga explosiva
- Granulometría de la fragmentación
- Tiempo a emplear en la perforación
- Y en general a la eficiencia y economía de toda la operación.

2.2.5.2.3 Cálculo de la malla de perforación (Burden, Espaciamiento)

El burden, se considera el parámetro más determinante de la voladura.

Depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las características del explosivo a emplear.

Se determina en razón del grado de fragmentación y al desplazamiento del material volado que se quiere conseguir.

Si el burden es excesivo, la explosión del taladro encontrará mucha resistencia para romper adecuadamente al cuerpo de la roca, los gases generados tenderán a soplarse y a craterizar la boca del taladro.

Por el contrario, si es reducido, habrá exceso de energía, la misma que se traducirá en fuerte proyección de fragmentos de roca y vibraciones.

Para nuestro caso usaremos dos fórmulas teóricas básicas cuyos resultados iniciales sirvieron como punto de partida para el análisis comparativo de las mallas de perforación.



La fórmula de la teoría de R. Ash.

Relaciona el diámetro del taladro, densidad de roca y velocidad de explosión del explosivo. Se basa en los radios básicos (Kb) o relaciones que son adimensionales.

La experiencia práctica muestra que con el radio $Kb= 30$, se puede esperar resultados satisfactorios para condiciones de campo promedio. La fórmula es:

$$B = Kb \cdot \frac{D}{12} = \text{pies}$$

Kb: Estándar de carga

D: Diámetro de carga en pulgadas

B= Espesor en pies

La fórmula de C.J.Konya,

Basada en la teoría del R.Ash Determina el burden en la base a la relación entre el diámetro de carga explosiva y la densidad tanto del explosivo como de la roca, la fórmula es:

$$B = 3.15D \times \sqrt[3]{\frac{SGe}{SGr}}$$

D: Diametro de carga en pulgadas

SGE: Densidad del explosivo

SGr: Densidad de la roca

2.2.5.2.4 Longitud de taladro (L)

La longitud del taladro (L) Es la suma de altura de banco más la sobre perforación necesaria por debajo del nivel o razante del piso para garantizar su buena rotura y evitar que queden lomos o resaltos (pisos altos), que afectan al trabajo del equipo de limpieza y deben ser eliminados por voladura secundaria.



2.2.5.2.5 Sobre perforación

Esta sobre perforación debe ser por lo menos de 0,3 veces el valor del burden, por tanto:

$$L = H + (0,3 \times B)$$

Donde:

L: Longitud de taladro.

H: Altura de banco.

B: Burden.

Esta relación es procedente para taladros verticales que son los más aplicados en las voladuras de tajo abierto con taladros de gran diámetro.

Perforación Inclinada:

La perforación inclinada, paralela a la cara libre del banco, al mantener uniforme el burden a todo lo largo del taladro proporciona mayor fragmentación, esponjamiento y desplazamiento de la pila de escombros, menor craterización en la boca o collar del taladro, menor consumo específico de explosivos y dejan taludes de cara libre más estables.

Aumenta la longitud de perforación, ocasiona mayor desgaste de brocas, barras y estabilizadores, dificulta la carga de explosivos y tiende a desviación de los taladros, especialmente con los mayores a 20 m.



2.2.5.2.6 Taco o stemming (T)

Normalmente el taladro no se llena con explosivo hasta su parte superior o collar, esta parte superior se rellena con material inerte que tiene la función de retener a los gases generados durante la detonación, sólo durante fracciones de segundo, suficientes para evitar que estos gases fuguen como un soplo por la boca del taladro y más bien trabajen en la fragmentación y desplazamiento de la roca en toda la longitud de la columna de carga explosiva.

Si el taco es insuficiente, además de la fuga parcial de gases se producirá proyección de fragmentos, craterización y fuerte ruido por onda aérea.

Si el taco es excesivo, la energía se concentrará en fragmentos al fondo del taladro, dejando gran cantidad de bloques o bolones en la parte superior, especialmente si el fisuramiento natural de la roca es muy espaciado, resultando una fragmentación irregular y poco esponjada que presentara un frente de minado duro y con el material amarrado

Normalmente como relleno se emplean los detritos de la perforación que rodean al taladro, arcillas o piedra chancada fina y angulosa.

En ocasiones en taladros inundados se deja el agua como taco cuando la columna de carga es baja (también en voladura subacuática).

En la práctica su longitud usual (T) es de 1/3 del largo total del taladro.

También se le relaciona con el burden y se le da una longitud igual a la del burden.



Si se tiene en cuenta al burden y resistencia de la roca, el taco variará entre $T = 0,7 B$ para material muy competente, como granito homogéneo, o en un radio de taco o burden que puede aproximarse a 1, es decir: $T = B$ para material incompetente con fisuras y fracturas abiertas.

En la práctica también se relaciona el diámetro con la resistencia a la compresión, con valores para roca blanda a intermedia de:

$$T = (33 \text{ a } 35) \times \emptyset$$

Y para roca dura a muy dura de:

$$T = (30 \text{ a } 32) \times \emptyset$$

2.2.5.2.7 Altura de Banco (H)

Distancia vertical desde la superficie horizontal superior (cresta) hasta la parte inferior (piso de minado). o plataforma.

La altura de banco es función de: La altura del equipo de excavación y carguío, del diámetro de perforación, resistencia de la roca, de la estructura geológica y estabilidad del talud, de la calidad de mineral y de aspectos de seguridad.

En un equipo de carga y acarreo son determinantes la capacidad volumétrica (m³) y la altura máxima de elevación del cucharón, además de su forma de trabajo (por levante en cargadores frontales y palas rotatorias o por desgarre hacia abajo en retroexcavadoras).

Pudiéndose estimar la altura de banco con la siguiente fórmula:

$$H = 10 + (0,57 \times (C - 6))$$

Dónde:

C: es la capacidad del cucharón de la excavadora en m³



Por otro lado, se debe tener en cuenta que si la altura de banco es igual al burden (1:1) la fragmentación resultara gruesa, con sobreexcavacion y lomos al piso, porque la cara libre no se flexionara.

Si la altura es el doble del burden (2:1) la fragmentación mejora y los lomos disminuyen.

Si la altura de banco es tres a mas veces mayor (3:1) la relación H/B permitirá la flexión, lográndose fragmentación menuda y eliminación de los otros efectos.

Relación altura de banco (H) y Diámetro (\emptyset)

Por otro lado el diámetro máximo de taladro sugerido (en mm) para una altura de banco conocida, debería ser igual a la altura, en metros, multiplicada por 15.

$$\emptyset \text{ max} = (15 \times H)$$

Dónde:

\emptyset : diámetro máximo de taladro, en mm

H: altura de banco, en m.

Así, con un banco de 8 m, el diámetro máximo debería ser de $8 \times 15 = 120$ mm.

2.2.5.3 Parámetros de voladura

2.2.5.3.1 Características de los explosivos

En la selección del explosivo más idóneo para un fin determinado, es preciso conocer las características de cada explosivo, para a partir de ellas, elegir el que más convenga al tipo de aplicación que precisemos.



2.2.5.3.2 Columna Explosiva

Es la parte activa del taladro de voladura, también denominada “longitud de carga” donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro..

Es importante la distribución de explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. Usualmente comprende de 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada.

Así pueden emplearse cargas sólo al fondo, cargas hasta media columna, cargas a columna completa o cargas segmentadas (espaciadas, alternadas o Deck charges) según los requerimientos incluso de cada taladro de una voladura.

La columna continua normalmente empleada para rocas frágiles o poco competentes suele ser del mismo tipo de explosivo, mientras que para rocas duras, tenaces y competentes se divide en dos partes: La carga de fondo (CF) y la carga de columna (CC).



2.2.5.3.3 Carga Lineal (CL) (Kg./m)

La carga lineal o cantidad de explosivo por cada metro de la columna explosiva se determina por la siguiente formula:

$$CL = 0.5067 \times De \times \emptyset^2 \times 1.05$$

Dónde:

De = densidad del explosivo.

\emptyset = diámetro de la broca.

1.05 = constante de corrección ya que el diámetro del taladro es siempre un % mayor al de la broca

2.2.5.3.4 Carga de Fondo (CF)

Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso, para, junto con la sobreperforación, mantener la razante o el piso de minado, evitando la formación de lomos y también limitar la fragmentación gruesa con presencia de bolones.

Para determinar la altura de esta carga de fondo (CF) existen dos posibilidades:

- a) La primera se refiere a que la CF no debe ser menor a 0.6 veces el burden $CF = 0.6B$.
- b) La segunda se refiere a que la CF debe tener la energia necesaria para lograr el objetivo, para ello debemos tener una longitud minima de CF tal, en la que el explosivo logre su



velocidad de detonacion regimen y esta se lograra en una longitud de CF equivalente de 4 a 6 veces el diametro de la carga explosiva, este valor es f(calidad del explosivo)

Los productos usualmente empleados son: ANFO aluminizado, hidrogeles, Slurrex, emulsiones sensibilizadas, ANFOs Pesados 30/70 a 50/50, en razón a que la energía por unidad de longitud en el fondo del taladro debe ser al menos dos veces mayor que la requerida para romper la roca en la parte superior.

Para obtener una mayor efectividad, el cebo iniciador o booster se debe colocar en esta parte de la carga de fondo, preferentemente al nivel del piso del banco.

2.2.5.3.5 Carga de Columna (CC)

Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menos densidad, potencia o concentración ya que el confinamiento de la roca en este sector del taladro es menor, empleándose normalmente ANFO convencional, ANFO Pesado en relaciones de 10/90 a 20/80.

La altura de la carga de columna se calcula por la diferencia entre la longitud del taladro y la suma la carga de fondo más el taco.

$$CC = L - (CF + T)$$



2.2.5.3.6 Determinación del explosivo a usarse

Cada tipo de roca tiene sus características propias y para elegir el explosivo adecuado para la fragmentación requerida se debe conocer y tener en cuenta, tanto de la roca como del explosivo las siguientes características:

Los factores que tienen influencia en los resultados de la voladura no sólo tienen que considerarse el explosivo, está interrelacionado a otros parámetros importantes como son:

En el Macizo rocoso

Características del macizo rocoso

- Tipo de roca
- Características Físicas
- Características mecánicas
- Estructuras
- Hidrología

En el explosivo: Sus características

Características ambientales del explosivo:

- Sensitividad
- Resistencia al agua
- Vapores
- Flamabilidad
- Resistencia a la temperatura



2.2.5.3.7 Diseño de amarre y sistema de iniciación de las mallas perforadas

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad de taladros. En el diseño de una voladura de banco se puede aplicar diferentes trazos para la perforación, denominándose malla cuadrada, rectangular y triangular o alterna, basándose en la dimensión del burden.

El pre-corte debe ser iniciado separada o conjuntamente con la voladura de producción, sólo con una diferencia de a lo menos 100 ms, previo a la tronadura de producción.

Sistema de Inicacion Pirotecnico

Trasmite la energía a través de una onda de choque mediante la deflagración de una película explosiva que se encuentra adosada a las paredes internas de un tubo plástico.

Esta onda de choque es capaz de iniciar elementos de retardo que se encuentran en el interior del detonador.

Sistema de iniciación Electronico

Es un moderno y preciso Sistema de Iniciación, que puede controlar la energía desprendida por una voladura optimizando la fragmentación, disminuyendo el daño por vibraciones y controla la dilución.

Este sistema redefine los conceptos de precisión, exactitud, flexibilidad y seguridad ya que la dispersión de retardos es menor por tratarse de unos detonadores programados y activados electrónicamente.



2.2.5.3.8 Resultados de la voladura

Los resultados de la voladura deben ser cuidadosamente evaluados y deben considerarse lo siguiente:

Grado de fragmentación

El grado de fragmentación es un indicador de la calidad de la voladura y es medido indirectamente por la eficiencia de los equipos de carguío y transporte.

Volumen Roto (m³) o Toneladas métricas rotas (TMR)

Es la cubicación calculada del área de disparo en m³, el cual es transformado en el tonelaje respectivo relacionado la densidad de la roca que estamos disparando.

Factor de Carga: Es un índice que relaciona los kilos de explosivos utilizados en la voladura, relacionado al tonelaje roto total de la voladura.

Factor de Perforación: Son los metros perforados totales del número de taladros disparados relacionado al tonelaje roto total.

Además debemos observar lo siguiente:

- Forma y distribución del apilonamiento
- Presencia de pedrones o bancos (Voladura secundaria)
- Estado y número de toes o elevaciones
- Estado del macizo rocoso remanente
- Lanzamiento de rocas
- Sobrerotura



- Fracturamiento hacia atrás
- Vibraciones del macizo rocoso
- Impacto ambiental ocasionado.

2.2.5.4 Voladura de producción

Como su mismo nombre lo indica es para fragmentar el macizo rocoso, y extraer el mineral.

Una vez fragmentado el macizo rocoso para a través de los siguientes procesos metalúrgicos para convertirse en concentrado y/o metal.

La voladura de producción requiere del diseño de una malla de perforación y voladura (B x S) usando modelos matemáticos

Los taladros de voladura de producción destrozan la roca por interacción entre sí, con predominio de fracturamiento radial; para lograr este efecto es necesario mantener ciertas condiciones, como:

- 1.- Relación de espaciamiento a burden: $E = (1,3 \text{ a } 1,5) \times B$
- 2.- Relación de acoplamiento (diámetro de taladro a diámetro de cartucho): máxima de 1,2 a 1, buscando un adecuado confinamiento y atacado del explosivo.
- 3.- Distribución de la carga explosiva, ocupando en promedio los 2/3 de la longitud del taladro (66%) procurando la mayor concentración de carga al fondo del mismo.
4. Uso de taco inerte para retener la explosión en el taladro el mayor tiempo posible, y para mejorar el grado de confinamiento.
5. Disparo de todos los taladros de la voladura siguiendo un orden de salida, espaciados en tiempo de acuerdo a un esquema de secuencias (arranques, ayudas, cuadradores, alzas, etc.).



2.2.5.5 Voladura controlada

El objetivo de 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, 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 limite la superficie final de un corte o excavación.

2.2.5.5.1 Precorte, recorte

En términos generales, si el disparo para este corte es anterior a la voladura principal, se le denomina “Precorte o presplitting”, y si es posterior se le conoce como Recorte, voladura de contorno o voladura suave (Smooth blasting); en el caso de túneles también suele denominarse voladura periférica.

Concepto Teórico del Método:

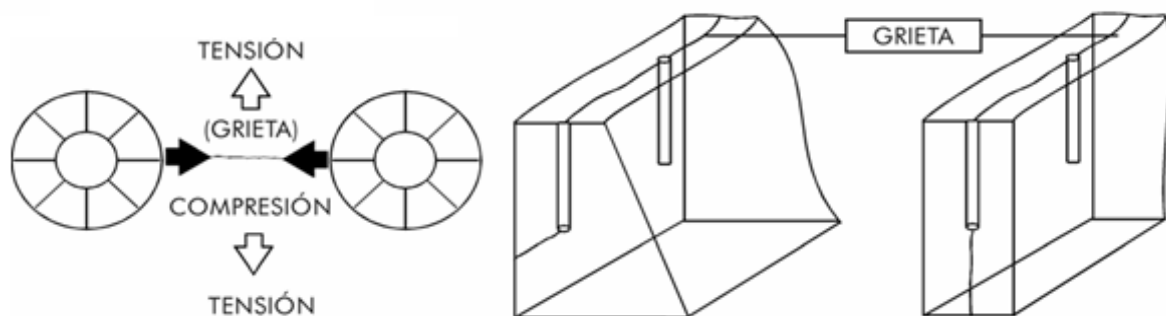
Una carga explosiva convencional acoplada, que llena completamente un taladro, al detonar crea una zona adyacente en la que la resistencia dinámica a compresión de la roca es ampliamente superada, triturándola y pulverizándola. Fuera de esa zona de transición, los esfuerzos de tracción asociados a la onda de compresión generan grietas radiales alrededor de todo el taladro, lo que se denomina fisuramiento radial.



Cuando son dos las cargas que se disparan simultáneamente, esas grietas radiales tienden a propagarse por igual en todas direcciones, hasta que por colisión de las dos ondas de choque en el punto medio entre taladros, se producen esfuerzos de tracción complementarios perpendiculares al plano axial.

Las tracciones generadas en ese plano superan la resistencia dinámica a tracción de la roca, creando un nuevo agrietamiento y favoreciendo la propagación de las grietas radiales en la dirección de corte proyectado, lográndose esto en especial cuando dos taladros son cercanos como se observa en la figura 2.7. Posteriormente estas grietas se amplían y extienden bajo la acción de cuña de los gases de explosión que se infiltran en ellas.

Figura 2.7: Taladros con cargas lineales desacopladas (Presión interna de los gases en expansión)



Fuente: Capacitación Centro Tecnológico de Voladura EXSA (2017)

La propagación preferencial en el plano axial junto con el efecto de apertura por la presión de gases permite obtener un plano de fractura definido. Según esto, el mecanismo de trabajo de una voladura de contorno comprende a dos efectos diferentes: uno derivado de la acción de la onda de choque y otro derivado de la acción de los gases en expansión.



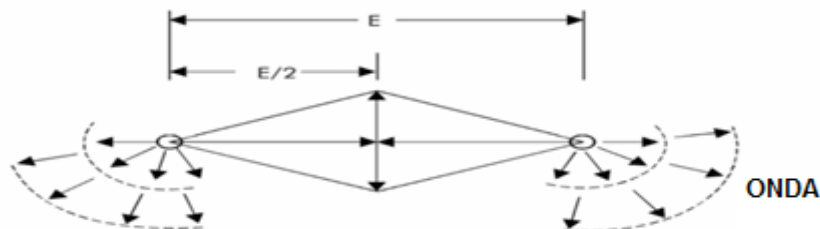
La presión de gases es clave en la voladura controlada, por lo que se debe tratar de mantenerla hasta que complete la unión de las grietas que parten de los taladros adyacentes. Esto se conseguirá adecuando la longitud de retacado para evitar el escape prematuro de los gases a la atmósfera.

2.2.5.5.2 Control de taludes

A diferencia de los taladros de voladura normal, los de voladura controlada deben espaciarse de tal modo, que las fracturas creadas se dirijan a los puntos de menor resistencia como se observa en la figura 2.8, es decir de taladro a taladro, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales

Entre sus condiciones fundamentales tenemos:

Figura 2.8: Principio del Fisuramiento linear en la roca



Fuente: Capacitación Centro Tecnológico de Voladura EXSA (2017)

1. Relación de espaciamiento a burden inversa a la normal; es decir menor espaciamiento que burden, usualmente

$$E = 0,5 \text{ a } 0,8 B.$$

2. Explosivo de mucho menor diámetro que el del taladro para que la relación de desacoplamiento sea mayor que la convencional de 2,1 a 1.



3. Carga explosiva linear distribuida a todo lo largo del taladro preferentemente con cartuchos acoplables como los de, o en ciertos casos carga amortiguada con espaciadores.
4. Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
5. Empleo de explosivo de baja potencia y velocidad, brisance.
6. Disparo simultáneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí, y antes de la voladura principal.
7. Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario no hay buen resultado como se observa en la figura 2.9.

Figura 2.9: Efecto de la corta distancia entre los taladros de recorte



Fuente: Capacitación Centro Tecnológico de Voladura EXSA (2017)

2.2.6 Medición y análisis de la fragmentación

La fragmentación es la más importante y única variable que debe ser tomada en cuenta para evaluar los resultados de un disparo desde un punto de vista técnico-económico. Es debido a que la fragmentación es la única variable que inter-relaciona a todas las operaciones mineras unitarias que forman el ciclo total de minado.

Llevar un monitoreo de la fragmentación que se va obteniendo en cada voladura con el objeto de hacer mejora continua para tener la fragmentación óptima que permita reducir los costos globales del negocio minero.



Esta operación se realizará durante la paralización del equipo de carguío, deberán de hacerlas dos personas, una moverá la regleta y la otra tomara las fotos además de hacer el papel de vigía. Estando cerca del talud del banco o frente de carguío cerciorarse de las condiciones del terreno y no arriesgarse, si las condiciones no son seguras comunicar y retirarse, si se va a realizar el trabajo en áreas alejadas de equipos en movimiento (por lo menos 50m. del área de trabajo del equipo de carguío) se debe también llamar por radio al supervisor de mina (B1) responsable del área para solicitar la autorización de ingreso.

Con los instrumentos de muestreo acérquese al frente de carguío o talud de banco y ubique la regleta o balón medido a escala en forma paralela encima del material fragmentado que desea analizar.

Llene el campo visor con roca fragmentada y ubique la regleta adecuadamente para la foto.

Incluya todos los tamaños como en la figura 2.10. Ningún bloque simple deberá ocupar más del 20 % del ancho de la imagen, la cantidad de fotos a tomar, queda a criterio del examinador, pero se deberá tener en cuenta la uniformidad de la fragmentación. Si la fragmentación de la pila es poco uniforme deberá incluir más fotos.

Para una resolución mejorada de fragmentos pequeños, use la capacidad de acercamiento de la cámara fotográfica para combinar imágenes a diferentes escalas de magnificación.

Tomar fotos panorámicas, para tener mayor información de cómo está el frente que se está minando.

Los resultados obtenidos deben ser registrados en el formato correspondiente.



Modelo de fragmentación

P80: Tamaño correspondiente al 80% pasante. Indica grado de fragmentación como se observa en el Grafico 2.1 en la curva de distribución gravimétrica tamizada.

Si Aumenta:

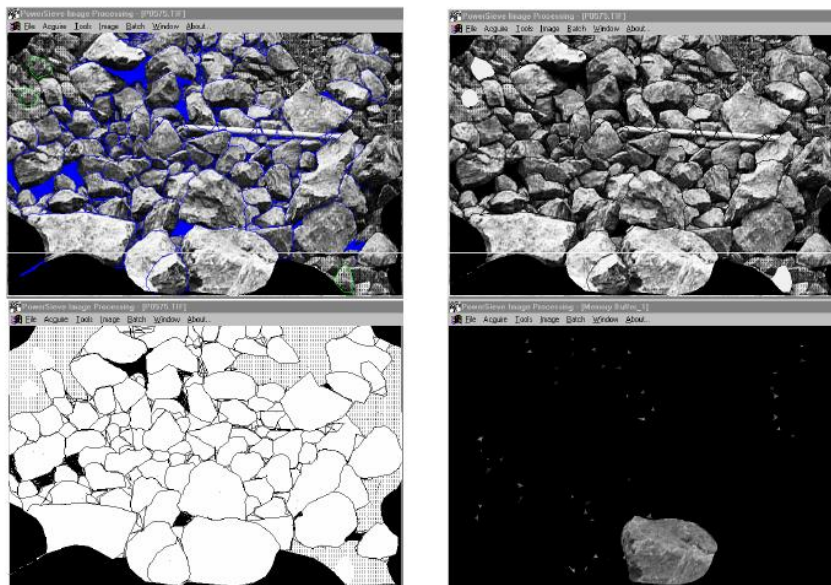
Factor de Carga (FC) ----- P80 disminuye

Work Index (Wi) ----- P80 aumenta

RQD ----- P80 Aumenta

$$\mathbf{P80 \text{ es } f((Wi \times RQD / FC))}$$

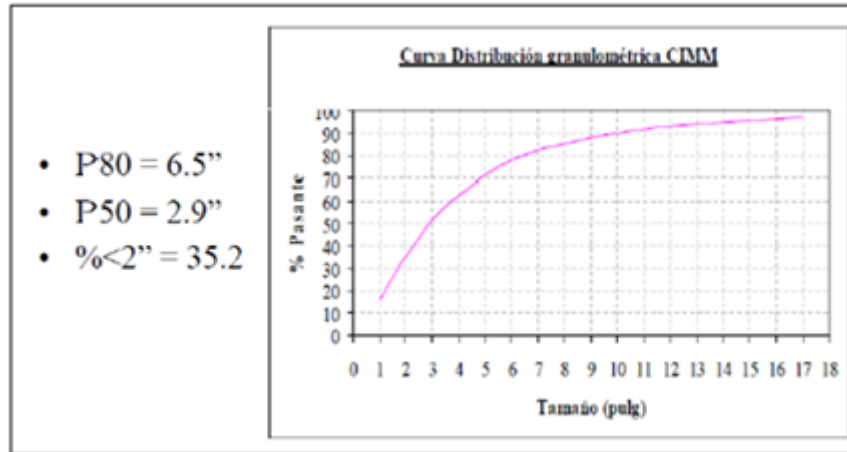
Figura 2.10: Análisis de la fragmentación mediante Software



Fuente: Manual de Split-Desktop 3.0



Grafico 2.1: Curva de distribución Granulométrica Tamizada, acotada a los tamaños mayores a 1”



Fuente: Manual de Split-Desktop 3.0

2.2.7 Calidad de humos y balance de oxígeno

Calidad de humos

Los humos residuales son el conjunto de productos gaseosos resultantes de la reacción de detonación del explosivo entre los que se hallan vapores nitrosos (NO_x), vapor de agua, monóxido de carbono (CO) y anhídrido carbónico (CO₂).

Los explosivos industriales poseen una composición tal que las reacciones químicas que se producen generan humos de voladura de limitado contenido en gases nocivos (CO y NO_x), lo que indica que se produce una reacción química completa.

No obstante, dado que, en general, las condiciones de aplicación se apartan de las condiciones teóricas, el nivel de gases tóxicos (CO, NO_x, etc.) generados en las voladuras es elevado, pudiendo ocasionar molestias e incluso graves intoxicaciones a las personas. Por ello nunca se

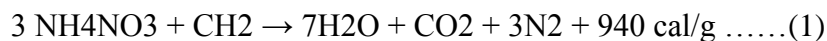


debe acceder a las inmediaciones de un frente después de una voladura, sin tener la seguridad de que se han ventilado los gases producidos en la misma, bien por medición directa o cálculo.

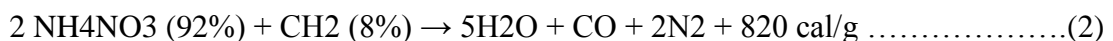
Balance de oxígeno

Los elementos que normalmente constituyen la formulación química de un explosivo (nitrógeno, carbono e hidrógeno) teóricamente deben dar como productos de la explosión nitrógeno (gas), dióxido de carbono y vapor de agua.

La reacción correspondiente al ANFO, explosivo formado por nitrato amónico y fuel-oil, sería:



Este supuesto corresponde al caso en que la composición del ANFO que reacciona sea del 94,5% de NO_3NH_4 y 5,5% de fuel oil. En el caso de que estas proporciones fueran distintas, se obtendría:



La reacción (1) corresponde al caso en que la cantidad de oxígeno que reacciona es la estrictamente necesaria para la oxidación completa del carbono y del hidrógeno, quedando el nitrógeno libre. Como puede verse, es a esta reacción a la que corresponde el mayor calor de explosión.

Cualquiera de las otras dos reacciones (2) y (3), que corresponden a formulaciones con defecto o exceso de oxígeno sobre el teórico necesario, aparte de generar un calor de explosión más bajo, también dar lugar a la liberación de una cierta cantidad de gases tóxicos (monóxido de



carbono u óxidos de nitrógeno), lo que es una cuestión particularmente importante si la voladura se realiza en un espacio subterráneo sin suficiente ventilación.

Al déficit o superávit de oxígeno que tiene un explosivo en su formulación química, expresado en % sobre el teórico necesario, se le denomina "balance de oxígeno" (B.O.). El B.O. sería por tanto nulo con la formulación (1), negativo con la (2) y positivo con la (3)

Como se ha visto, el B.O. afecta a la potencia del explosivo (calor de explosión) y a la producción de humos tóxicos.

2.3 EMULSION GASIFICADA

La emulsión gasificada es una emulsión que ha sido sensibilizada mediante la generación de burbujas muy pequeñas dentro de su matriz.

Una emulsión es gasificable químicamente mediante la adición de un aditivo, el cual al estar en contacto con la emulsión genera burbujas, que la hace sensible a un iniciador de alta potencia (booster, dinamita o emulsión sensible al detonador). Esta sensibilización se realiza en campo.

La emulsión que se fábrica en planta, transportada a mina, almacenada en silos, trasvasada a los camiones fábrica y finalmente bombeada a los taladros es sólo una solución oxidante no explosiva. Esto hace que todas estas operaciones sean totalmente seguras. Se convierte recién en un agente explosivo cuando se ha producido la gasificación dentro del taladro.

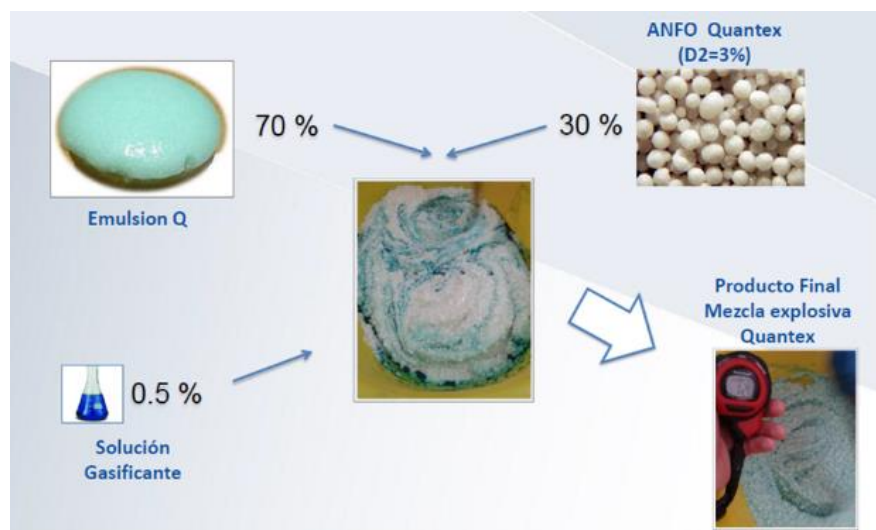
La emulsión gasificada substituye ventajosamente a las mezclas conocidas como “ANFO pesado” o “Heavy ANFO”, compuestas, en variadas proporciones, de ANFO

2.3.1 Mezcla Explosiva QUANTEX 73

Explosivo desarrollado por EXSA a partir del nitrato de amonio Quantex y una variante de la emulsión para gasificar: Slurrex Q, se trata de un ANFO pesado 73 gasificado que puede llegar a tener densidades finales de carga por encima de cualquier otro producto gasificado, por tanto alcanzar mayor energía, esto también puede ayudar para roca extremadamente dura.

El nitrato de amonio Quantex es un nitrato de alta densidad con un tratamiento especial que le permite integrarse de manera perfecta a la emulsión gasificada Slurrex G antes del proceso de gasificación para entregar la mayor energía posible sin sacrificar mayor consumo de explosivo. La densidad inicial de Quantex es mucho mayor a un nitrato estándar pero ello no quiere decir que se consumirá mayor cantidad de explosivo porque la densidad final que se quiere será exactamente la misma que se emplea siempre, solo bastará con incrementar o disminuir el caudal del agente reactivo (nitrito de sodio) como se observa en la figura 2.11 para obtener la densidad deseada con la fortaleza que inclusive tendrá mayor cantidad de puntos calientes.

Figura 2.11. Composición de la Mezcla explosiva QUANTEX (MEQ73)



Fuente: Portafolio para clientes de EXSA S.A. 2015



2.3.1.1 Slurrex G

Es una emulsión oxidante inerte no detonable para efectos del transporte hasta ser sensibilizado en el lugar de la aplicación para formar un agente de voladura, es decir funciona como ANFO Pesado al mezclarlo con ANFO en determinadas proporciones o como emulsión gasificada y ANFO pesado gasificado al aplicarle la solución para gasificar.

La solución oxidante inerte para gasificar posee en su formulación un medio ácido que le permite reaccionar con la solución para gasificar, además contiene un acelerador de la reacción que permite tener un producto sensibilizado a los 20 minutos de haber vertido la emulsión al taladro.

2.3.1.2 Nitrato de Amonio Quantex.

Nitrato de amonio de alta densidad que pasa por un proceso de tratamiento para optimizar su uso como explosivo. 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, el nitrato Quantex aporta mayor energía a una mezcla final altamente sensitiva, minimizando así los costos de voladura, logrando una buena fragmentación de roca. Es usado principalmente en la fabricación de ANFO, para mezclas pesadas y gasificadas que contienen 70% de emulsión.

Solo añadir 3% de diesel 2; de preferencia, la mezcla entre el Nitrato de Amonio y el diesel 2 debe efectuarse por un módulo especial o camión mezclador que esté especialmente diseñado para este fin.



2.3.1.3 Nitrito de Sodio

Es una sal oxidante en solución, posee una coloración especial para su correcta visualización al integrarse a la emulsión matriz para gasificar. El porcentaje de solución para gasificar determina la densidad final del ANFO pesado gasificado o emulsión gasificada, es decir existen distintos porcentajes de esta sal en solución para obtener densidades en una rango de 0.90 a 1.24 gr/cc.



CAPÍTULO III

AMBITO DEL ESTUDIO

3.1 GENERALIDADES

Las Bambas es un yacimiento situado entre las provincias de Cotabambas y Grau, Región Apurímac.

Las Bambas tienen Reservas Minerales de 6,9 millones de toneladas de cobre y Recursos Minerales de 10,5 millones de toneladas de cobre, y se espera que produzca más de 2 millones de toneladas de cobre en concentrado en sus primeros cinco años.

3.1.1 Ubicación

El Área Las Bambas se ubica en el Departamento de Apurímac en los Andes de la zona centro-sur de Perú, aproximadamente 75 km al sur-suroeste de la ciudad de Cusco, 300 km al noroeste de la ciudad de Arequipa y 150 km al noroeste de la operación Tintaya como se observa en la figura 3.1.

La explotación minera toma lugar totalmente dentro del Área Las Bambas y abarca los yacimientos cupríferos de Chalcobamba, Ferrobamba y Sulfobamba, y las concesiones mineras que el INGEMMET está ubicado en las provincias de Cotabambas y Grau del departamento de



Apurímac. Las áreas comprendidas han sido denominadas en dos zonas: Alto Fuerabamba (Zona III) y Azuljaja (Zona IV), y tienen unas superficies de 299,19 y 1 200,0Ha respectivamente, se encuentran a una altitud entre 3 700 y 4 600msnm. Están delimitadas por las poligonales que se describen con los siguientes vértices de la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Coordenadas UTM - Las Bambas

Punto	Norte	Este
P1	8 438 500	796 000
P2	8 438 500	794 000
P3	8 440 500	791 000
P4	8 441 700	790 000
P5	8 441 700	789 000
P6	8 440 500	789 000
P7	8 440 500	778 500
P8	8 446 500	778 500
P9	8 446 500	792 000
P10	8 443 000	792 000
P11	8 443 000	796 000

Fuente: Resumen Ejecutivo Las Bambas (GEOCATMIN)

Referencia: Datum: WGS84 - Proyección: UTM Zona 18 S

La Ubicación Política es como se muestra en la tabla 3.2.:

Tabla 3.2: Ubicación Política

N°	ZONA	DISTRITO	PROVINCIA
1	Ferrobamba	Challhuahuacho – Tambobamba	Cotabambas
2	Chalcobamba y Charcas	Chalcobamba – Coyllurqui	Cotabambas
3	Sulfobamba	Coyllurqui – Progreso	Cotabambas - Grau

Fuente: Propia



Figura 3.1: Mapa de Ubicación Mina Las Bambas



Fuente: EIA Las Bambas (2010)



3.1.2 Accesibilidad

Desde Lima a Cusco, vía aérea, para continuar por carretera afirmada la distancia aproximada desde la ciudad del Cusco hasta el Campamento, se comprende el siguiente recorrido que se muestra en la tabla 3.3.:

Tabla 3.3: Accesibilidad a Las Bambas

Tramo	Distancia (Km.)	Tiempo (Hr)	Estado de la Vía
Cusco – Campamento	236	7	Asfaltado.
Abancay – Campamento	201	8	Afirmada.
Lima - Campamento	938	2	Vuelo

Fuente: Propia

Otra vía para acceder a la zona es usando la carretera asfaltada Lima-Nasca-Puquio-Chalhuanca, debiéndose tomar un desvío de carretera afirmada antes de Abancay, en el distrito de Lambrana (sur) para llegar a la provincia de Cotabambas.

3.1.3 Historia

Realizado el Concurso Público Internacional PRI-80-03 con fecha 31 de Agosto de 2004 se adjudicó la buena pro a Xstrata Perú SA.

Es así que el 01 de octubre de 2004 se suscribe el contrato de opción minera para la transferencia y otorgamiento de las concesiones mineras que conforman el proyecto minero Las Bambas.

Xstrata Perú SA obtuvo la buena pro con una oferta total de transacción de US\$121 millones, de los cuales US\$ 30 millones son pagos diferidos en los siguientes años hasta la suscripción del contrato de transferencia y US\$ 91 millones han sido cancelados en la firma del contrato. El 50% del monto cancelado (US\$ 45.5 millones) se destina para el desarrollo de obras y proyectos sociales en favor de las provincias de Grau y Cotabambas.



El proyecto Las Bambas inicia su fase de exploración en marzo de 2005, esta etapa tiene una duración de hasta cuatro años durante el cual Xstrata podrá realizar exploraciones en la zona de concesión. Al término de este período, puede solicitar una prórroga de cinco años más, para lo cual debe realizar un pago de 2,5 millones de dólares y un aporte social también por un monto de 2,5 millones de dólares.

El programa de exploración que se inicia el 2006 tiene como objetivo realizar trabajos de perforación de 237 500m de profundidad, que será distribuido en siete áreas de exploración.

En 2009 culmina el estudio de factibilidad para que en 2012 se apruebe el EIA.

En 2013 se da inicio a la construcción de la mina y Glencore adquiere Las Bambas en el marco de la adquisición de Xstrata.

En 2014 Las Bambas es adquirido por el consorcio liderado por MMG, empieza el resaniamiento físico y la aprobación de la segunda modificación del EIA.

En 2015 construcción de las Bambas a un 95% para en el primer trimestre del 2016 dar inicio a operaciones.

3.1.4 Misión y Visión

La misión es hacer minería con el fin de generar riqueza para la gente, las comunidades en las que se desarrollan las operaciones y los accionistas de la empresa además de ser valorados como una empresa minera de nivel medio más importante del mundo para el año 2020

La visión es construir la empresa diversificada de metales base más respetada del mundo.



3.1.5 Proyecto de Expansión

Hasta la fecha se ha explorado el 20 % de la concesión y se ha determinado que el tiempo de vida de la mina supera los 20 años.

El minado del material se llevará a cabo en tres tajos abiertos: Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba figura 3.2. La operación se inició con Ferrobamba, el cual se ubica a diez kilómetros al este de Planta Concentradora. Chalcobamba y Sulfobamba se ubican al norte y oeste de la concentradora, respectivamente.

Figura 3.2: Delimitación Mina Las Bambas



Fuente: Pagina Web MMG – Las Bambas



Los recursos minerales y reservas minerales del proyecto en expansión se resumen en la tabla 3.4 y tabla 3.5 respectivamente

Tabla 3.4: 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

Fuente: Circular para Accionistas – Las Bambas 2014

Tabla 3.5: Reservas Minerales – 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	516
Total	952	0.72	6,891

Fuente: Circular para Accionistas – Las Bambas 2014



3.2 CLIMA Y RECURSOS

3.2.1 Clima

En el Área Las Bambas las temperaturas promedio fluctuaron entre los valores de 6,8 °C (Pamputa) a 9,0 °C (Fuerabamba). La temperatura máxima horaria alcanza su mayor valor de 14,2 °C (enero) en la estación Huanacopampa; mientras que la temperatura mínima horaria más baja fue de 1,9 °C (setiembre) en la estación Huanacopampa. En cuanto a las estaciones locales, el mayor valor promedio mensual de temperatura se registró en la estación Fuerabamba de 10,6°C en los meses de noviembre y diciembre; mientras que el menor valor fue de 4,8°C en Pamputa en el mes de julio. Se observa que las temperaturas promedio son mayores entre los meses de octubre a abril, y descienden a partir del mes de mayo. El mes de julio es considerado el mes más frío del año.

En el Área Las Bambas la humedad relativa promedio diaria fluctuó entre los valores de 62% (Fuerabamba y Huanacopampa) a 64% (Progreso). No existen fluctuaciones importantes entre los valores de humedad entre estaciones, siendo el promedio para el área de 63%. La humedad relativa promedio máxima para la zona alcanzó el valor de 90% en el mes de diciembre, periodo durante el cual la cobertura nubosa es mayor y las precipitaciones se incrementan. Mientras que la humedad relativa promedio mínima descendió hasta el valor de 10% en los meses de agosto y noviembre. De acuerdo a lo observado, las humedades relativas se incrementan desde el mes de noviembre hasta marzo, mes a partir del cual empiezan a disminuir debido al incremento de la insolación y disminución de la cobertura nubosa. Julio y agosto son considerados los meses más secos del año.



Figura 3.3: Mapa fisiográfico del Perú



Fuente: IRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales).



3.2.2 Hidrología

La fuente de agua fresca es del Río Challhuahuacho. La obtención de agua del río se logra mediante un reservorio construido en el curso del río. Si bien la oferta anual del río supera la demanda de agua del Proyecto, esa oferta es variable según la época del año y por lo tanto se definieron volúmenes de regulación para disponer del agua requerida a lo largo de todo el año y de flujo permanente de agua en el río aguas abajo del reservorio.

El volumen de regulación en el reservorio Challhuahuacho se limitará a un almacenamiento máximo de agua de 1,1 Mm³ por razones de seguridad para prevenir niveles máximos de inundación que pudiesen poner en riesgo al pueblo Challhuahuacho dada su cercanía al reservorio. Como consecuencia de este limitante y del caudal mínimo que debe mantenerse en el río, se ha planeado un segundo reservorio, el Reservorio Chuspipi (aproximadamente 3,6 Mm³).

La Mina cuenta con cuatro estaciones meteorológicas locales: Fuerabamba, Pamputa, Huanacopampa y Progreso con cuatro años de registros (2006-2009). Entre otras, cuenta también con 10 estaciones regionales entre ellas la estación Tambobamba la más cercana a la mina con registros de 15 años y considerada la más adecuada para establecer la distribución mensual de la precipitación total anual y la tendencia de este parámetro en el Área Las Bambas en el largo plazo



3.2.3 Flora

Se ha determinado la presencia de 270 especies de plantas vasculares en el área de estudio, distribuidas en 172 géneros y 62 familias.

Se han encontrado seis tipos de vegetación: Pajonal Alto, Pajonal Corto, Matorral, Vegetación de Roquedales, Bofedal y Vegetación Acuática.

El área corresponde principalmente a una zona de Pajonal de Puna (Pajonal Alto y Corto), la cual es vegetación alterada fuertemente por el sobrepastoreo y por la quema.

Los números de especies de plantas encontrados por tipo de vegetación en el área de estudio local se mencionan a continuación en orden descendiente:

Matorral (139 especies), Pajonal Corto (94 especies), Vegetación de Roquedal (62 especies), Pajonal Alto (31 especies), Bofedal (22 especies) y Vegetación Acuática (4 especies).

Las mayores coberturas fueron registradas para *Festuca orthophylla*, *Nassella depauperata*, *Baccharis tricuneata*, *Festuca rigescens*, *Jarava ichu*, *Barnadesia* sp. y *Dodonaea viscosa*.

En el área de estudio se registraron 15 especies amenazadas que han sido categorizadas de la siguiente manera: cuatro en Peligro Crítico (CR), una En Peligro (EN), seis Vulnerables (VU), dos Casi Amenazadas (NT) y dos Menor Preocupación (LC).

Se reportan 11 especies endémicas en el presente estudio: *Flourensia polycephala* (Asteraceae), *Calceolaria myriophylla* (Calceolariaceae), *Gentianella lobelioides* (Gentianaceae), *Gentianella brandtiana* (Gentianaceae), *Lupinus chrysanthus* (Fabaceae), *Senna birostris* (Fabaceae), *Salvia striata* (Lamiaceae), *Caiophora cirsiifolia* (Loasaceae), *Jaltomata dilloniana* (Solanaceae), *Nassella ayacuchensis* (Poaceae) y *Poa scabrivaginata* (Poaceae).



3.2.4 Fauna

Mamíferos

Se registró un total de 22 especies de mamíferos, lo que representa una riqueza considerable. Incluye 21 especies nativas y una introducida. Los roedores (orden Rodentia) y los carnívoros (orden Carnivora) son los componentes principales en toda el área de estudio, ya que presentan una mayor riqueza de especies y han sido registrados en todas las localidades y tipos de hábitat evaluados.

Las especies de mamíferos más comunes que se registraron en el área de estudio son, para los mamíferos grandes: El Zorro Andino *Lycalopex culpaeus*, el Zorrillo *Conepatus chinga*, la Comadreja *Mustela frenata* y la Vizcacha *Lagidium peruanum*; y, para los mamíferos pequeños, el roedor *Akodon subfuscus*.

Los roedores *Akodon subfuscus* y *Calomys sorellus* estuvieron entre las especies de mamíferos pequeños con mayor abundancia.

Aves

Se registra un total de 99 especies de aves pertenecientes a 29 familias. La composición general de la avifauna encontrada fue semejante a fines de la época seca y en la época húmeda.

Los ambientes terrestres contienen mayor variedad de especies que los ambientes acuáticos. En las evaluaciones realizadas se registraron 77 especies de aves de hábitats terrestres pertenecientes a 20 familias, mientras que en los hábitats acuáticos se registraron 22 aves pertenecientes a nueve familias.

En ambas épocas de muestreo (época seca y época húmeda), las familias con mayor número de especies fueron, en orden descendente, los mosqueros (*Tyrannidae*), los semilleros y espigueros (*Emberizidae*), los horneros (*Furnariidae*), los patos (*Anatidae*), las palomas



(Columbidae), los playeros (Scolopacidae) y los picaflores (Trochilidae) y las golondrinas (Hirundinidae).

Anfibios y Reptiles

Se registraron cuatro especies de anfibios y tres especies de reptiles. Todos los anfibios son anuros (sapos y ranas), incluyendo el sapo, *Rhinella spinulosa*, y las ranas, *Gastrotheca marsupiata*, *Pleurodema marmoratum* y *Telmatobius jelskii*. En el caso de los reptiles registrados se incluyen las lagartijas *Proctoporus succullucu*, *Liolaemus sp.* y *Stenocercussp.*

Los hábitats con mayor riqueza de herpetofauna fueron las orillas de riachuelos o ríos con la presencia de cinco especies. La especie presente en la mayoría de hábitats fue *Liolaemus sp.* Esta especie también fue la más abundante en ambas estaciones.

Los matorrales son los hábitats que presentaron índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson más altos. El índice de similitud de Sorensen fue mayor para los bofedales y lagunas, debido a que comparten casi todas sus especies, y fue menor para los riachuelos debido a que no comparten ninguna especie con los otros hábitats.

Peces

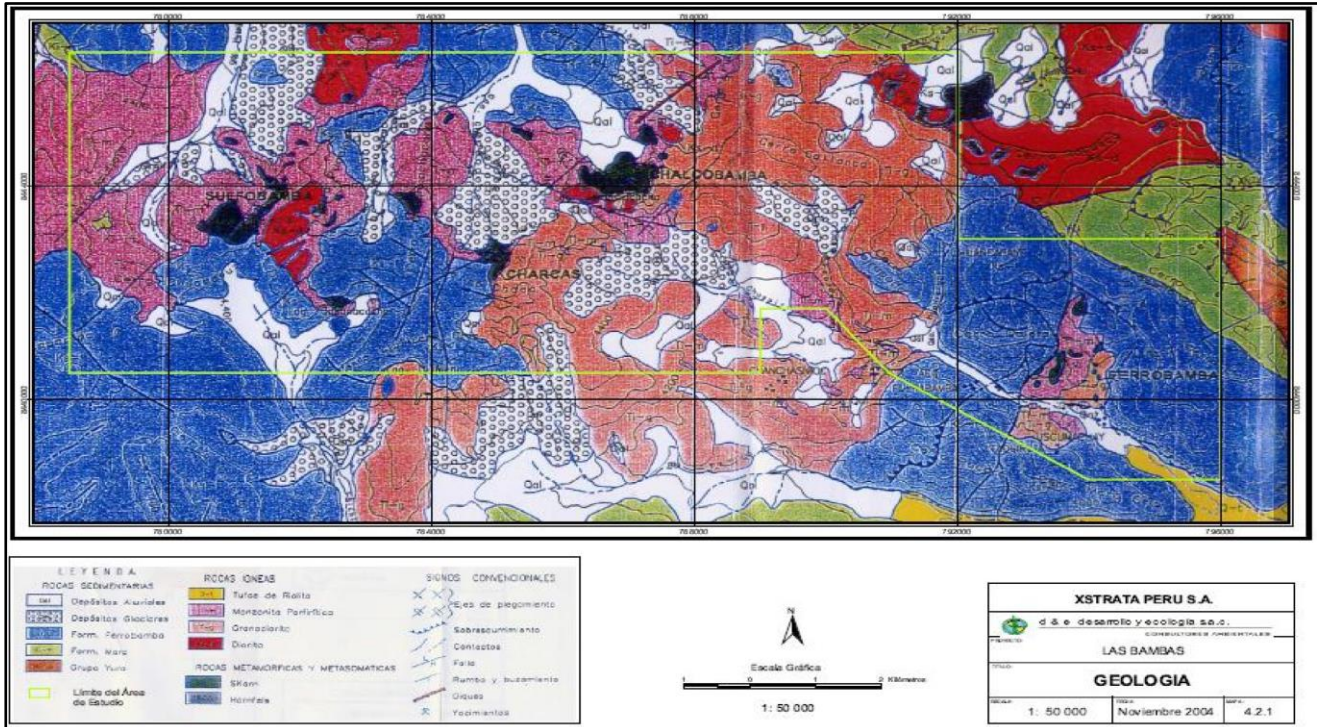
En total, se realizaron 82 muestreos de peces a lo largo del trazo propuesto del mineroducto. Se registraron 1 478 peces en total, pertenecientes a cuatro géneros y siete especies de peces identificadas: *Astroblepus formosus*, *A. mancoi*, *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris), *Orestias agassizii*, *O. mundus*, *O. cf. agassizii* y *Trichomycterus aff. rivulatus*. Considerando todas las estaciones muestreadas, el género más abundante fue *Trichomycterus*, contribuyendo con el 42% al total de peces registrados en todas las estaciones muestreadas.

3.3 GEOLOGÍA

La mineralización de cobre en Las Bambas esta principalmente emplazada en los contactos de calizas de la formación Ferrobamba y las rocas intrusivas de la Era Terciaria (granodiorita, cuarzo monzonita y cuarzo diorita). Las calizas corresponden a la Era Cretácea. La forma de mineralización más común es la Calcopirita, que contiene oro y plata asociados con Cobre. La mineralización se distribuye en bloques fallados de granate y magnetita en skarn figura 3.4.

Las unidades litológicas ígneas y sedimentarias que afloran en el Distrito Minero de Las Bambas son las formaciones Hualhuani, Mara y Ferrobamba, cuyas eras van desde el Jurásico Superior al Cretáceo Superior. Aunque varios minerales metálicos se han encontrado en Las Bambas, solamente algunos minerales ocurren en cantidades económicas y casi exclusivamente en el cuerpo skarn.

Figura 3.4: Mapa geológico - Las Bambas



Fuente: D&E Desarrollo y Ecología S.A.C.



3.3.1 Geología Local

En general, la geología del basamento en el área incluye rocas cretácicas carbonatadas y clásticas, moderada a fuertemente plegadas, que forman el techo de un batolito granodiorítico del Terciario (Eoceno). Las secuencias cretáceas en el área se presentan como grandes fragmentos de techo preservados en el batolito. Los estratos cretáceos y el batolito granodiorítico han aflorado a la superficie a través de una combinación de levantamientos regionales, fallas en bloque y erosión.

Los flujos volcánicos piroclásticos del Pleistoceno tardío se originaron desde los centros volcánicos hacia el Sur y formaron depósitos de tipo terraza, en las secciones más bajas de los valles, yaciendo de manera profundamente discordante sobre las secuencias sedimentarias e intrusivas erosionadas.

Localmente el área del presenta afloramientos aislados de monzonitas, dentro del complejo de intrusiones graníticas, en contacto gradacional con estructuras sedimentarias, suprayaciendo a las formaciones se presenta depósitos no consolidados compuestos por suelo residual producto de la alteración in situ de la roca, cuya descripción es citada a continuación:

- **Calizas:** se presenta en estratos sedimentarios de resistencia baja a alta, moderadamente alterada a caliza marmolizada de grano fino en estratos medianos a gruesos.
- **Monzonita:** se presenta en afloramientos intrusivos que surgen en todo el sector noreste donde se emplazará el botadero. En superficie esta roca se encuentra moderadamente fracturada y alterada; textura granular y de coloración gris blanquecino.
- **Suelos residuales:** alteración in situ de la roca, compuesta por grava arcillosa con arena, grava limosa, plasticidad media a alta, densa a medianamente densa, color gris claro, estructura homogénea, grava angulosa a subangulosa, con bolonería y bloques.

La mineralización del yacimiento está asociadas a depósitos skarn controlados estructuralmente, relacionados a intrusiones ígneas del Eoceno tardío, con fallas y fluidos

3.3.2 Geología regional

En el área sobre yacen secuencias sedimentarias fuertemente plegadas y falladas del periodo Cretácico inferior. Las secuencias cretáceas, desde la más antigua hasta la más reciente, incluyen en la base la Formación Soraya, que está conformada por cuarcitas, la sobreyacente Formación Mara está compuesta de lutitas rojas y calizas y también por las calizas de la secuencia superior de la Formación Ferrobamba. Estas secuencias se deformaron y levantaron en el Cretácico tardío al Terciario temprano. Las secuencias clásticas continentales del Grupo de Puno, se depositaron sobre la secuencia cretácica deformada y levantada hacia el noreste del área de la mina.

La mineralización de cobre está principalmente emplazada en los contactos de calizas de la formación Ferrobamba y las rocas intrusivas de la Era Terciaria (granodiorita, cuarzo monzonita y cuarzo diorita). Las calizas corresponden a la Era Cretácea, similar a los depósitos de Skarn en Tintaya, Antamina y Magistral, esto se observan en la figura 3.5.

Figura 3.5: Cronoestratigrafía generalizada del distrito minero Las Bambas.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS				MAGMATISMO	MINERALIZACION	OROGENIA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente			30 - 50 m		Morrena, aluvial			
		Pleistoceno	Gpo Barroso	Vol. Vilcarani	100 m		Tufos dacíticos		Quechua 4 1.5 Ma	
	TERCIARIO	Plioceno							Quechua 3 5 - 4 Ma	
		Mioceno							Quechua 1, 2 17 - 4 Ma	
		Oligoceno							Incaica 3, 4 30 - 22 Ma	
		Eoceno							Skarn	Incaica 2 43 - 42 Ma
		Paleoceno							Incaica 1 59 - 55 Ma	
MESOZOICO	CRETACEO	Superior		Fm Anta	50 - 150 m		Limo-lutitas rojizas		Peruana 84 - 79 Ma	
		Medio		Fm Ferrobamba	300 - 500 m		Calizas masivas, clásticas, bioclásticas, chert			
		Inferior			Fm Mara	50 - 200 m		Clásticos calcáreos limolutitas areniscas		
			Gpo Yura		Fm Soraya	200 - 300 m		Areniscas		

Fuente: Tesis Edward Galindo G. 2018



3.3.2.1 Estratigrafía

En el área del proyecto afloran unidades sedimentarias asociadas a fases regresivas (continentales) y transgresivas (marinas), ocurridos durante el Jurásico superior a Cretáceo superior a finales de la orogenia Hercínica.

3.3.2.1.1 Formación Ferrobamba

Es la unidad sedimentaria de mayor extensión y espesor en el proyecto. Está constituida por delgadas secuencias de calizas masivas, fosilíferas, con nódulos de chert, laminadas y calizas clásticas. Aflora en las cuatro áreas de interés Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba y Azuljaja). Es un “metalotecto” importante, ya que en contacto con intrusivos mineralizantes da lugar a la formación de cuerpos de skarn de Cu (Mo-Au). Su edad es Albiano –Turoniano del Cretáceo medio y su espesor dentro del proyecto sobrepasa los 300 metros.

3.3.2.1.2 Formación Soraya

Está integrada por areniscas y cuarcitas de gran dureza, con algunas intercalaciones de limonitas, más débiles. Esta formación se encuentra afectada por plegamientos. Los afloramientos se presentan en las partes altas del río Record, en la margen derecha del río Conjaca, en la margen derecha del río Tambo y en la margen izquierda de los ríos Record y Conjaca.

3.3.2.1.3 Formación Mara

Sobreyace, en concordancia, a la formación Soraya. Está integrada por fangolitas de color marrón, con algunas intercalaciones de limonitas silicificadas, y areniscas. Esta formación se emplaza en la ladera sur del valle del río Tambo, y en algunos cortes del terreno que se aprecian en el río Record, al noroeste del poblado de Challhuahuacho, al norte del depósito de Ferrobamba.



3.3.2. Geología económica

Minerales metálicos con valor económico

Los últimos resultados de muestreo de oro por Centromín Perú (2000) indican que la mineralización de oro ocurre en confluencias de skarn distantes y próximas, y en vetas de cuarzo emplazadas en skarn, contactos de skarn intrusivos, calizas recristalizadas e intrusivas. Según se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: *Minerales Metálicos con Valor Económico*

Minerales Principales	Sulfuros	Calcopirita
		Bornita
		Pirita
		Molibdenita
	Óxidos	Magnetita
		Hematita
Minerales Escasos	Sulfuros	Digenita
		Calcocita
		Pirrotita
		Cubanita
	Óxidos	Limonita
		Ilmenita
		Rutilo
	Carbonatos	Malaquita
		Azurita

Fuente: D&E desarrollo y ecología S.A.C

3.4 DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

El distrito minero Las Bambas comprende los yacimientos de Chalcobamba y Charcas, Ferrobamba, Sulfobamba, con un área de concesión minera de 35,000 Has. Los yacimientos de cobre son del tipo "skarn", con sulfuros, óxidos de hierro, además cuenta con mineralización aurífera como potencial de exploración. Se estima recursos mineros superiores a 500 millones de toneladas, con una ley de cobre del 1%, y un potencial de exploración en una extensa área mineralizada de 35,000 hectáreas.



Tipo de yacimiento

Las Bambas se encuentran en la franja metalogénica de skarn del Batolito Yauri – Andahuaylas de edad Eoceno – Oligoceno ubicado en la parte central del departamento de Apurímac, con una orientación general E-O y se prolonga hacia el sur del departamento del Cusco con una dirección NS. La forma de ascenso del magma en la franja Andahuaylas – Yauri puede haberse dado por condiciones favorables como presión confinante, permeabilidad del medio, grado de fusión, estructuras profundas (cámaras magmáticas) de distintos tamaños y geometrías y estructuras sub superficiales evidenciado por estructuras de diques filones o sills. En Las Bambas se observan 4 etapas de intrusión. La primera de composición diorítica con un promedio de 55 % de sílice que forma el skarn de magnetita +- granate de Chalcobamba y granate +- magnetita en Sulfobamba. La segunda etapa de intrusión de composición granodiorítica que varía de granodiorita hornbléndica a granodiorita biotítica que está relacionada a la formación de skarn en la zona de Ferrobamba y netamente ligado al pórfido Cu–Mo, y variaciones a monzonita con incrementos de biotita relacionadas a la mineralización de cobre. Una tercera etapa de intrusión de composición monzonítica hornbléndica con su posterior alteración hidrotermal y mineralización tipo stockwork.

3.5 DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES MINA LAS BAMBAS

3.5.1 Descripción del diseño de minado

3.5.1.1 La explotación a tajo abierto en la Las Bambas

En la explotación de un tajo abierto uno busca extraer y procesar las reservas que nos entreguen el mayor margen de beneficio (Ingresos - Costos), por lo que la explotación de fases dentro de la mina, es un camino que permite lograr este objetivo.



En el caso que se tenga un yacimiento de Cobre Oxidado, de donde se obtenga Cobre por medio de la lixiviación, debemos notar que la producción anual es constante, es decir no se maneja el concepto de sacar el máximo de fino en los primeros años, ya que la capacidad de refinación de la planta de beneficio es limitada (constante), por lo que es difícil pensar en buscar leyes que me den mejores beneficios en los primeros períodos del proyecto. En este caso es relevante que se cumpla con la ley en la solución que envío a la planta para cumplir con la producción final de cátodos de la planta y por el otro lado si se tiene una ley de cabeza mayor se estará utilizando menor espacio para lixiviar el material y obtener una solución con la ley deseada, costará menos y el beneficio económico viene dado por una disminución de los costos para una mismo valor del ingreso (producción constante de Cobre fino).

Ley de Corte (Cut off)

Las Bambas tiene una ley de corte de 0,30%. (Segun los resultados obtenidos a través de 329,000 metros de perforación)

Ley de Cabeza

Las Bambas tiene una ley de cobre de la siguiente manera:

- Ferrobamba: 0,67 %
- Sulbobamba: 0,75 %
- Chalcobamba: 1 %

Relación de desbroce

Las Bambas trabaja con un radio de desbroce máximo de 1/ 0,66, lo que significa que se tiene que mover 0,66 TM de desmonte para extraer una TM de mineral.



3.5.1.2 Parámetros generales del diseño del tajo Ferrobamba

Según la geometría y características del depósito, el pit se ha diseñado usando la técnica de "Cono Flotante" (Lerchs - Grossmann).

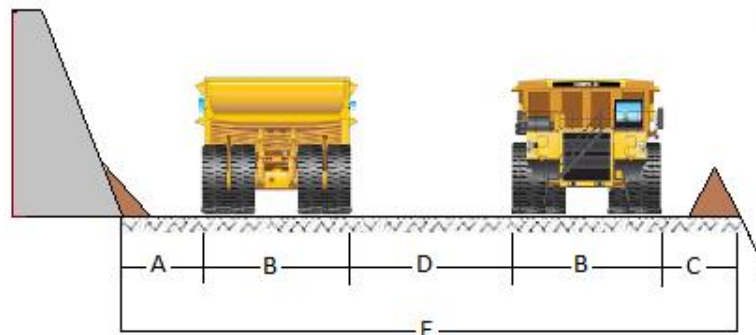
Se ha modelizado el cuerpo mineral en el software Medsystem, a través del cual se ha determinado el plan de minado en el Área Las Bambas que incluirá el desarrollo de tres tajos abiertos. El tajo Ferrobamba tendrá una huella final de aproximadamente 311 Ha, el Tajo Chalcobamba de 130 Ha y el Tajo Sulfobamba de 75 Ha. Los tajos se excavarán mediante la conformación de una serie de bancos, lo que hacen necesaria la construcción de un conjunto de rampas, taludes y bermas. Los criterios de diseño serán:

- **Altura de Banco:** La altura de banco propuesto es de 15 m para banco simple y 30 m para banco doble.
- **Angulo de talud total:** para este parámetro la línea trazada desde la cresta del banco hasta el piso hace un ángulo con la horizontal desde 34° (α) en material argilizado y cloritizado y Angulo de cara de banco de 65° (λ) en material silicificado y cuarzo alunitizado.
- **Profundidad de tajos:** La profundidad para el tajo Ferrobamba es de 855 m, 435 m para el tajo Chalcobamba y 360 m para el tajo Sulfobamba.
- **Ancho de rampa:** por diseño se determinan rampas de hasta 35 m basado en el ancho de un camión típico de 300 t de transporte de material como se observa en la figura 3.6,

permitiendo el pase para tres equipos de acarreo en la Rampa Ccomerocacca como excepción.

- **Ancho Mínimo de Expansión:** 70 m por ambos costados y 45 m por un solo costado, considerando un radio de carguío de 30 metros como se observa en la Figura 3.7.
- **Pendiente de rampa:** La pendiente de rampa es de 8% - 10% máximo debido al uso de los equipos pesados que se tienen en mina.
- **Altura de Berma:** por regla general la altura de las Bermas de Seguridad deben ser las $\frac{3}{4}$ partes de la llanta, en Las Bambas se ha determinado como alturas entre 2 a 4 metros ya que se cuentan con los camiones Caterpillar 797F que tienen llantas de hasta 4.03 metros de diámetro.

Figura 3.6: Diseño de ancho de Rampas – Tajo Ferrobamba



Fuente: Área de operaciones M.M.G.- Las Bambas

Dónde:

A: Distancia de seguridad: 5 m

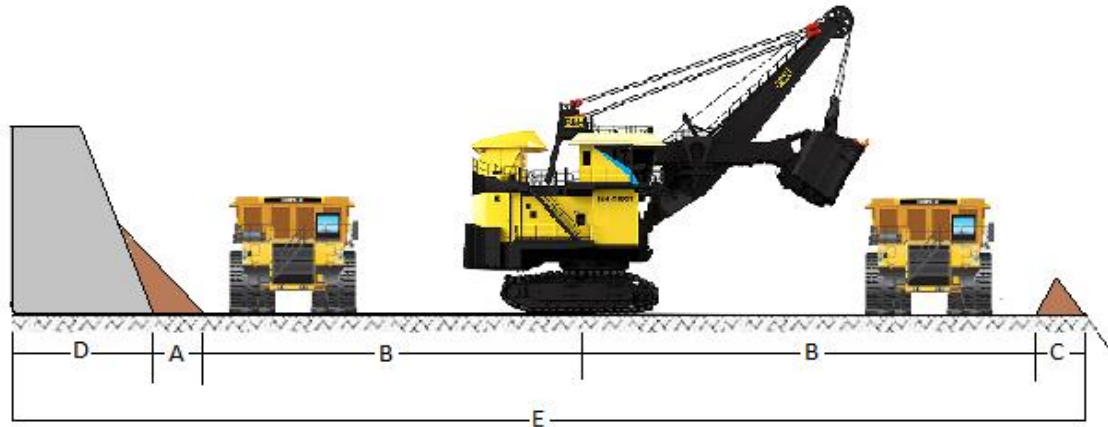
B: Ancho del Camión: 8.70 m

C: Berma: 5 m

D: Distancia entre camiones: 7.60 m

E: Ancho de vía/camino ($A+2*B+D+C$): 35 m

Figura 3.7: Diseño ancho promedio de minado – Tajo Ferrobamba



Fuente: Área de operaciones M.M.G.- Las Bambas

Dónde:

A: Distancia de Seguridad: 5 m

B: Ancho de carguío para un camión: 30 m

C: Berma: 5 m

D: Ancho de material disparado: 80

E: Ancho mínimo de minado ($A+2*B+C$): 70 m

3.5.2 Programa de Producción en Las Bambas MMG

Viene a ser el plan de producción a corto, mediano y largo plazo, los parámetros básicos para este programa son:

Capacidad de la mina, leyes de corte, relación de desbroce, y otros. A partir de estos datos, nosotros podemos elaborar el programa de producción:

- Producción:** Está dado para las tres unidades de producción, Ferrobamba, Sulfobamba y Chalcobamba.



El primer tajo en iniciar operaciones es Ferrobamba y su producción es como se muestra en la

Tabla 3.7

Tabla 3.7: Producción Tajo Ferrobamba Las Bambas

Producción anual:	50 000 000 TM
Horas trabajadas por día:	22
Días Trabajados por mes	30

Fuente: Circular Operaciones Mina Las Bambas (2016)

b) Preparación de planos semanales, mensuales y anuales: Es importante hacer la actualización de estos planos conforme se avanza con el minado, y evaluar constantemente el diseño del pit final. Entre los planos elaborados, tenemos: planos de mina, y planos de dureza por nivel, donde se detalla la distribución de la estructura mineralizada.

c) Evaluación de las velocidades de producción y capacidad requerida de la mina: Constituye la obtención de datos de performance de equipos para su respectiva evaluación en parámetros de rendimientos, disponibilidad mecánica, utilización y otros, para luego definir la cantidad de equipo requerida por la mina.

d) Cálculo y almacenamiento de programas de mina anuales para el análisis económico: constituye el resumen de los tres puntos anteriores para la respectiva evaluación económica.

3.5.3 Operaciones unitarias en el Tajo Ferrobamba

Como se sabe, la cadena de valor industrial minero-metalúrgico comienza con las operaciones unitarias binomiales de perforación y voladura, terminando con la obtención de los metales y/o concentrados.



Por otro lado, muchos investigadores a nivel mundial han demostrado que la fragmentación obtenida como resultado de las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura tiene un impacto hasta del 70% del costo total (US\$/Tm) en las operaciones minero-metalúrgicas.

3.5.3.1 Perforación en el tajo Ferrobamba

La perforación cumple un papel muy importante dentro de las operaciones unitarias ya que esta nos posibilita trabajar de manera más eficiente el proceso de la voladura, es por ello que se encuentran dentro de las denominadas operaciones unitarias binomiales ya que el éxito de una depende del trabajo realizado en la otra.

En las Bambas se cuenta con 7 perforadoras rotativas eléctricas para taladros de producción o primarios con diámetros de 12 ¼” y profundidades de hasta 16.5m como se observa en la figura 3.8.

- TD#1 (PyH 250XP)
- TD#2 (PyH 250XP)
- TD#3 (PyH 320XP)
- TD#4 (PyH 320XP)
- TD#5 (CAT MD6640)
- TD#6 (CAT MD6640)
- TD#7 (CAT MD6640)

Figura 3.8: Perforadora Rotativa en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas



Fuente: Propia

Estas perforadoras realizan taladros de producción con diámetros de 12 ¼” y profundidades de hasta 17 metros según el diseño de cada proyecto de voladura, alcanzando un rendimiento promedio de 92% llegándose a perforar 9800 metros al mes.

Para la perforación del pre-corte se trabaja con 2 perforadoras de martillo de fondo Sandvik DR560 como se observa en la figura 3.9, con motor diésel ambas realizan taladros con diámetros de 5”, profundidades de 17m e inclinaciones desde 65° a 70° para el pre-corte, además de realizar también perforaciones en caso de bolonería producto de voladuras anteriores o para voladura secundaria.

Figura 3.9: Perforadora para Pre- Corte Sandvik DR560 en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas



Fuente: Propia

3.5.3.1.1 Tipos de Taladros para voladura controlada en el Tajo Ferrobamba

Siguiendo los parámetros para conseguir una voladura controlada en el Tajo Ferrobamba ya que es necesario controlar los efectos negativos de la voladura de rocas; de tal manera, que la resistencia inherente de las paredes de las labores mineras remanentes, no sean destruidas o afectadas. Es por ello, que los especialistas han inventado una serie de modelos matemáticos disponibles para ser usados en la industria minera, así se tienen los siguientes:

- Perforación en línea (Line drilling)
- Pre-corte con espaciado de aire (air deck pre-splitting).
- Voladura de recorte.
- Voladura lisa (smooth blasting)
- Voladura amortiguada (buffer blasting)



Los diferentes modelos matemáticos de la voladura controlada han sido desarrollados a través del tiempo y estas se empezaron a usar en la década de los años 50. El modelo matemático de perforación en línea, envuelve la creación de un plano de debilidad, el cual es obtenido mediante el uso de una serie de taladros cercanamente espaciados con o sin cargar y se encuentran en el límite de la labor minera figura 3.10. En las Bambas tenemos cuatro tipos de taladros en las voladuras de producción:

Taladros de Precorte.- Tienen de 15 -16 m de profundidad, están espaciados de 1 – 1.5 m entre si y su inclinación es variable de 60° a 90° y 5” de diámetro y estos son cargados con emulsión encartuchada (Senatel Powersplit) de 1 ½”, amarrados mediante cordón detonante (Cordtex) que para su iniciación es conectado a un fulminante detonado de forma electrónica.

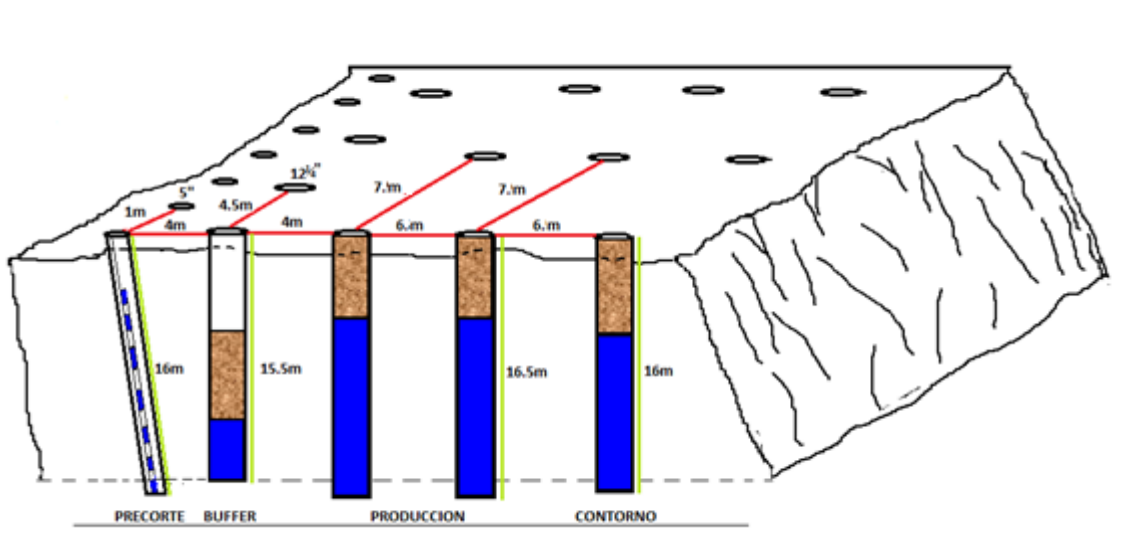
Taladros Buffer.- Tienen 14 -15.5.m de profundidad, están espaciados entre si a cada 4.5 m y son taladros de recorte que son cargados 1/3 parte por emulsion, otra 1/3 parte es el taco y la otra 1/3 parte es una cámara de aire dependiendo del diseño de carga estas no suelen tener sobre perforación.

Taladros de Producción.- Tienen 16.5 m de profundidad promedio y tienen un burden y espaciamiento de 6 m x 7 m para voladura de mineral y 8.7 m x 10 m para voladura de desmonte por lo general, aunque estos parámetros pueden cambiar dependiendo del tipo de roca y la mezcla explosiva a usar, tienen una sobre perforación de 1.5 m y por lo general un taco de 6.5m.

Taladros de Contorno.- Tienen 15 -16 m de profundidad promedio y tienen un espaciamiento de 7 m para voladura de mineral y 10 m para voladura de desmonte con una sobre perforación

de 1.5m su principal característica es que tienen un taco mayor al de los taladros de producción ya que su función es cuidar la proyección que pueden causar los taladros cercanos a la cresta del banco.

Figura 3.10: Tipos de Taladros para Voladura de Producción en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas

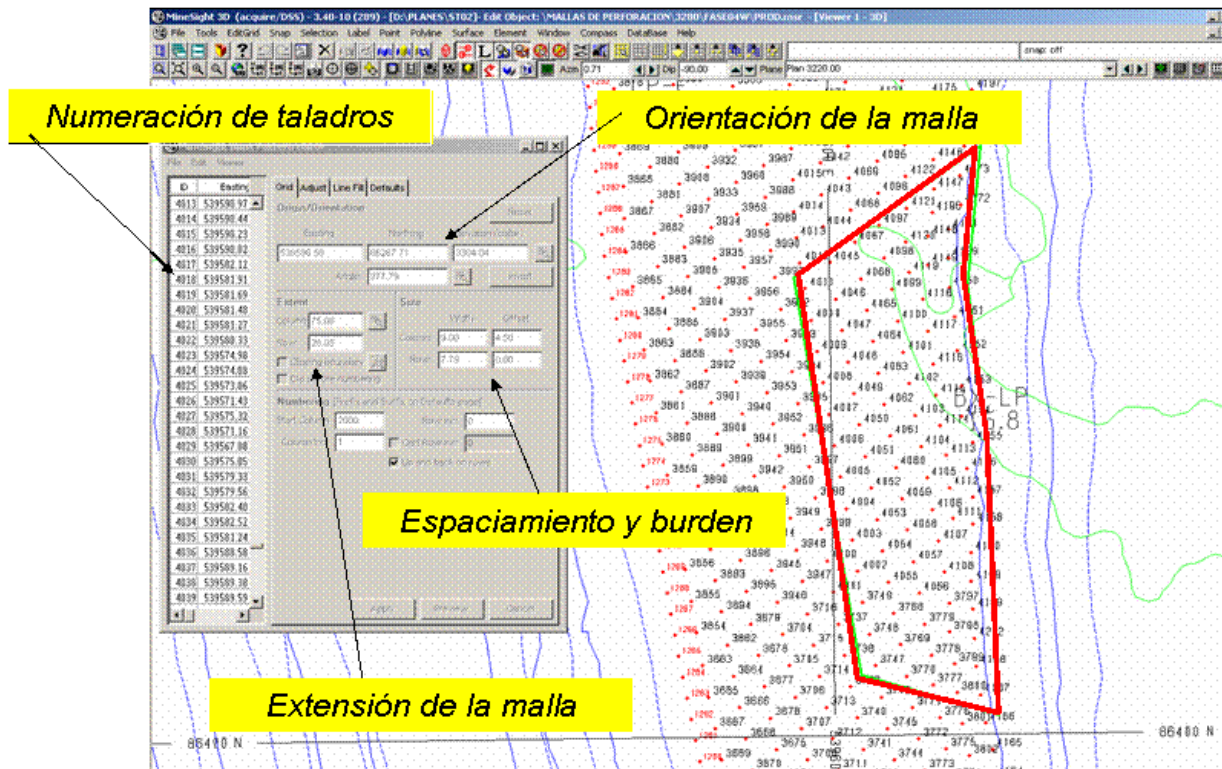


Fuente: Propia

3.5.3.1.2 Diseño de la malla de perforación para el Tajo Ferrobamba

El diseño de las mallas de perforación son por parte del Área de Planeamiento de la Compañía M.M.G. mediante el Software Minesight basado en los parámetros básicos de Burden y Espaciamiento es por ello que estos son a menudo vistos como los aspectos de mayor importancia como se puede observar en la figura 3.11.

Figura 3.11: Uso de Minesight para el diseño de mallas.



Fuente: Área de Planeamiento – Las Bambas

El burden depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las características del explosivo a emplear.

Se determina en razón del grado de fragmentación y al desplazamiento del material volado que se quiere conseguir.

Si el burden es excesivo, la explosión del taladro encontrará mucha resistencia para romper adecuadamente al cuerpo de la roca, los gases generados tenderán a soplar y a craterizar la boca del taladro.

Por el contrario, si es reducido, habrá exceso de energía, la misma que se traducirá en fuerte proyección de fragmentos de roca y vibraciones.



Aplicación teórica para hallar el Burden según R. Ash

La experiencia práctica muestra que con el radio $K_b = 30$, se puede esperar resultados satisfactorios para condiciones de campo promedio. La fórmula es:

$$B = K_b \cdot \frac{D}{12} = \text{pies}$$

K_b : Estándar de carga

D: Diámetro de carga en pulgadas

B= Espesor en pies

Tabla 3.8: Estándares de carga K_b dependiendo del Tipo de Roca y densidad del Explosivo

Densidad e Explosivo y Roca	K_b
Explosivo de densidad alta: 1.6 gr/cm ³ En roca de baja densidad	40
Explosivo de densidad: 1.6 gr/cm ³ En roca de densidad media: 2.7 gr/cm ³	35
Explosivo de densidad 1.2 gr/cm ³ En roca de densidad: 2.7 gr/cm ³	30
Explosivo de baja densidad: 0.8 gr/cm ³ En roca densa o dura: 3.2 gr/cm ³	20

Fuente: Perforación y Voladura de Rocas (Mgt. Ing. Carlos R. Franco Mendez)

Entonces tenemos:

$$B = 30 \frac{12.25}{12} = 30.62 \text{ pies} \times 0.3048 = 9.33\text{m}$$

En teoría tenemos 9.33m de Burden pero reducimos el 30% para mejorar la fragmentación aprovechando el radio de influencia del taladro y tenemos 6.55 m de Burden practico.

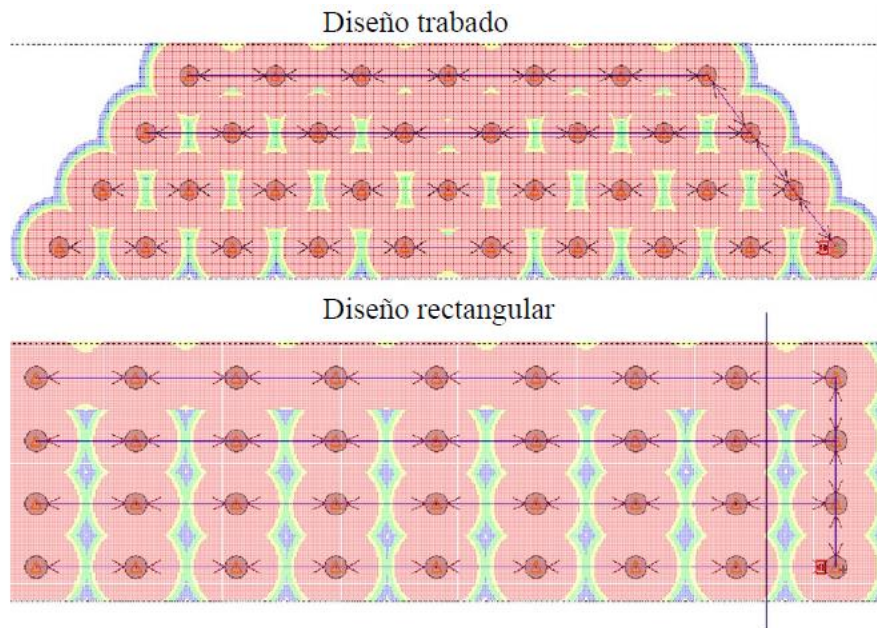
Espaciamiento:

En la práctica, normalmente el espaciamiento igual al burden para malla cuadrada $E = B$, para malla rectangular y para malla triangular el $E = 1.15 B$ (figura 3.12), en las Bambas el

Espaciamiento se halla con un Estándar de Espaciamiento $K_s=1.15$ tanto para diseño trabajo como para cuadrado o rectangular, así tenemos la fórmula:

$$S = K_s * B = 1.15 \times 6.55 = 7.53 \text{ m}$$

Figura 3.12: Diseños de mallas más frecuentes en el Tajo Ferrobamba



Fuente: Propia

Actualmente, el tipo de mallas usadas son de acuerdo al tipo de material o roca además estas pueden sufrir modificaciones según la dureza del material y la profundidad del tajo como se observa en las Tablas 3.8, 3.9 y 3.10 así tenemos:

Malla en Mineral

Tabla 3.9: Malla de perforación en Mineral

Tipo de Taladro	Diámetro (Pulg)	Espaciamiento (m.)	Burden (m.)	Sub Drill (m.)	Roca	Dureza
Producción	12 ¼	7-7.5	6-6.5	1.5	Sk	R5,R6
Buffer	12 ¼	4.5-5	4-4.5	0	Sk	R5,R6
Pre- Corte	5	3	4-4.5	0	Sk	R5,R6

Fuente: Área de Operaciones – Las Bambas; Elaboración Propia



Malla en Caliza

Tabla 3.10: Malla de perforación en Desmante (Caliza)

Tipo de Taladro	Diámetro (Pulg)	Espaciamiento (m.)	Burden (m.)	Sub Drill (m.)	Roca	Dureza
Producción	12 ¼	10	8.5	1.5	Cz	R4
Buffer	12 ¼	4.5-5	4-4.5	0	Cz	R4
Pre- Corte	5	3	4-4.5	0	Cz	R4

Fuente: Área de Operaciones – Las Bambas; Elaboración Propia

Malla en Monzonita

Tabla 3.11: Malla de perforación en Desmante (Monzonita)

Tipo de Taladro	Diámetro (Pulg)	Espaciamiento (m.)	Burden (m.)	Sub Drill (m.)	Roca	Dureza
Producción	12 ¼	10	8.7-9	1.5	Mz	R3
Buffer	12 ¼	4.5-5	4-4.5	0	Mz	R3
Pre- Corte	5	3	4-4.5	0	Mz	R3

Fuente: Área de Operaciones – Las Bambas; Elaboración Propia

3.5.3.2 Voladura en el tajo Ferrobamba

El objetivo primordial de la voladura es destruir la estructura del macizo rocoso de forma óptima de manera que un equipo mecánico pueda excavar eficientemente los fragmentos de roca, todo esto minimizando daños sobre las rocas adyacentes o remanentes

3.5.3.2.1 Voladura de Producción en el Tajo Ferrobamba

La importancia de la voladura es fundamental en el proceso de la producción ya que una buena fragmentación influye de gran manera en las subsiguientes operaciones unitarias como carguío, acarreo, chancadora primaria, chancadora secundaria o quizá cuando exija realizar una voladura secundaria producto de bolonería.



Como bien se sabe, cada compañía tiene su propia metodología para calcular el costo total en \$/Tm volada, pero lo resaltante es saber cuán importante es invertir en voladura, obteniendo un costo mínimo en \$/Tm y lo más costoso que es invertir en \$/kW-h. ya que la idea es no incrementar el Work Index de la Chancadora.

Bajo esta premisa hay que enfatizar que una buena fragmentación de roca como resultado de una buena voladura representa un impacto sustancial en la rentabilidad de la mina

Si la fragmentación de las rocas de producción no es la adecuada, se incrementarían los costos de operaciones, tales como: perforación y voladura secundaria, incremento de la dificultad de transporte, disminución del factor de carga de los volquetes, incremento de consumo de energía en el chancado y molienda. Entonces se tendrán elevados costos de operación en US\$ por tonelada fragmentada.

3.5.3.2.2 Selección de la Mezcla Explosiva en el Tajo Ferrobamba

La elección de una mezcla explosiva comercial tiene una influencia determinante en la reducción de costos operacionales; sin embargo, esto ha traído como consecuencia un incremento de la concentración de energía en el área del disparo, creando problemas de back break en el macizo rocoso remanente que debe ser afectado por la ondas de choque inducidas por la voladura de rocas.

Hasta la fecha el explosivo utilizado en mina ha sido el Heavy Anfo (HA) en sus mezclas: 37, 46, 55, 64 y 73 por parte de la Empresa Orica Mining Services que a su vez está implementando en la mina su nuevo producto como emulsión gasificada el Fortis Extra 100 que si bien es un

explosivo que genera más energía que el Heavy Anfo y tiene buena resistencia al agua no termina de convencer por sus resultados en fragmentación, la generación de humos rojizos y el tiempo de esponjamiento de 30 minutos que genera un retraso en la parte operativa de los proyectos de Voladura.

3.5.3.3 Carguío y Transporte

Dentro de las operaciones unitarias el Carguío y Transporte es uno de los que mayor análisis abarca ya que se encuentran ligadas directamente entre sí, por lo tanto el dimensionamiento de la flota considera las dos operaciones unitarias como un conjunto, debiendo recurrir al análisis de distintas combinaciones de equipos compatibles entre sí y también compatibles con la operación Figura 3.13.

Figura 3.13: Equipos de Carguío y Transporte en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas



Fuente: Propia

El carguío se realiza con palas eléctricas PyH y palas hidráulicas CAT con capacidades nominales de cuchara desde 44.5 yd³ a 80 yd³ y carga útil nominal de 50 TM a 81.8 TM, figura 3.14, así como un Cargador Frontal Letourneau L2350

- #1 CAT 6060 (44.5 yd3 50 TM)
- #2 CAT 7495 (80 yd3 81.8 TM)
- #3 PyH 4100XPC (64 yd3 70 TM)
- #4 PyH 4100XPC (64 yd3 70 TM)
- #13 CAT 6060 (44.5 yd3 50 TM)

Figura 3.14: Pala Electrica #4 PyH 4100XPC



Fuente: Propia

Para el transporte se utilizan camiones de diversos modelos entre los cuales se tiene:

- Komatsu 930 E (276 yd3 300 TM)
- Caterpillar 793F (250 yd3 280 TM)
- Caterpillar 797F (350 yd3 390 TM)



Capacidades desde 276 yd³ hasta 350yd³ y carga útil nominal varía desde las 300 TM a 390 TM, figura 3.15.

Figura 3.15: Flota de Camiones mineros Komatsu 930 E y CAT 797F en el Tajo Ferrobamba



Fuente: Propia



CAPÍTULO IV

MEJORAMIENTO DE LA VOLADURA UTILIZANDO EMULSION GASIFICADA (MEQ73) EN EL TAJO FERROBAMBA - MMG LAS BAMBAS -APURIMAC

4.1 COMPOSICION Y OBTENCION DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX

La Mezcla Explosiva Quantex es un explosivo basado Emulsion gasificada y potenciado con nitrato de amonio de alta densidad además de otros componentes como se observa en la Figura 4.1.

4.1.1 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 sensitiva, minimizando así los costos de voladura, logrando una buena fragmentación de roca.



Es usado principalmente en la fabricación de ANFO, para mezclas pesadas y gasificadas que contienen 70% de emulsión. Tabla 4.1.

Recomendaciones de uso:

Solo añadir 3% de Diésel 2; de preferencia, la mezcla entre el Nitrato de Amonio y el Diésel 2 debe efectuarse por un módulo especial o camión mezclador que esté especialmente diseñado para este fin.

No debe estar en contacto con agua en su forma de nitrato ni en su transformación a ANFO, ya que produce la descomposición del prill.

Tabla 4.1: Características técnicas del Nitrato de Amonio Quantex

Especificaciones Técnicas	Unidades	Nitrato de Amonio
Pureza		98% minimo
Densidad (caída libre)	g/cm ³	0.94 +/- 0.04
Densidad (compactado)	g/cm ³	1.02 +/- 0.04
Humedad		0.50% max.
Insolubles en agua		1.00% max

Fuente: Ficha Técnica EXSA.

4.1.2 Slurrex G

Es una emulsión gasificable químicamente mediante la adición de un aditivo, el cual al estar en contacto con la emulsión genera burbujas, que la hace sensible a un iniciador de alta potencia (booster, dinamita o emulsión sensible al detonador).

Emulsión a granel especialmente diseñada para la reducción de gases nitrosos y para ser usada en taladros con agua, permitiendo de esta forma la reducción en los costos de operación dado



que se puede controlar la densidad del explosivo, lo que brinda un gran poder energético y lo hace aplicable a taladros de grandes dimensiones. Tabla 4.2.

Recomendaciones de uso:

Esta emulsión gasificable es sensibilizada en el momento justo del bombeo al taladro, para ello se añaden sales especiales que definen la densidad final del producto, por tanto debe efectuarse muestreos de densidad durante el carguío de taladros.

Se debe esperar entre 15 a 20 minutos para conseguir el esponjamiento deseado.

Tabla 4.2: Características Técnicas del Slurrex G

Especificaciones Técnicas	Unidades	Slurrex G
Densidad	g/cm ³	1.36 ± 3%
Velocidad de detonación	m/s	No aplica
Resistencia al agua	Hora	72

Fuente: Ficha Técnica EXSA

4.1.3 Nitrito de Sodio

Solución formulada para promover generación de nitrógeno sensibilizando así el Slurrex G.

Contiene: antilevadura

Características en tabla 4.3.

Tabla 4.3: Características Técnicas del Nitrito Sódico

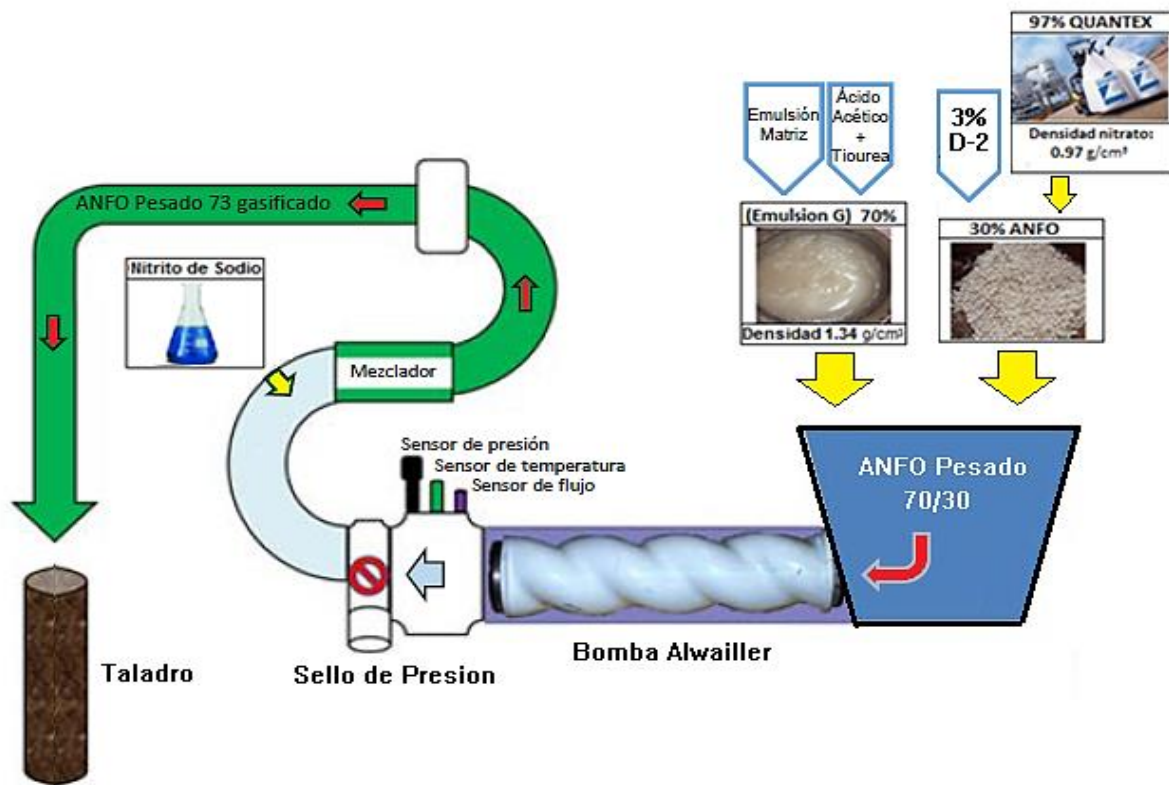
Estado físico:	Cristalino
Color:	blanco hasta ligeramente amarillento
Olor:	ligero olor
Valor pH:	8 – 9 (100 g/l, 20 °C)
Punto de fusión:	280 °C
Densidad:	2,1 g/cm ³

Fuente: Ficha Técnica hoja MSDS

Fabricación de la Mezcla Explosiva Quantex 73

El proceso de fabricación de la Mezcla Explosiva Quantex 73 se muestra en el siguiente Figura 4.1, donde se observa que la nitrificación ocurre en la etapa final de la mezcla, justo antes de descargar en el taladro.

Figura 4.1: Fabricación de la Mezcla Explosiva Quantex



Fuente: Propia

Emulsión Gasificada Quantex 73

1. Se prepara ANFO con el N.A. “Quantex” al 3% de combustible.
2. Densidad ANFO 3% = 0.97 g/cc \pm 3%
3. Se prepara el H.A. 73 con el Slurrex G (70%) y el ANFO (30%) al 3% Diesel.
4. El balance de oxígeno del HA-73Q gasificado “Q” = - 1.7
5. Se dosifica la solución L8 al 0.25 – 0.4% para la gasificación.

Sensibilización de la Emulsión Gasificada (MEQ73)

Este estudio se enfoca en la sensibilización de la mezcla mediante la generación de burbujas de aire por la adición de un agente gasificante, siendo en este caso el nitrito de sodio (NaNO_2). Esta sustancia química reacciona con el nitrato de amonio (NH_4NO_3), generando pequeñas burbujas de gas nitrógeno. A continuación se muestra la reacción química que ocurre.

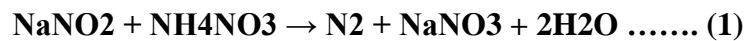
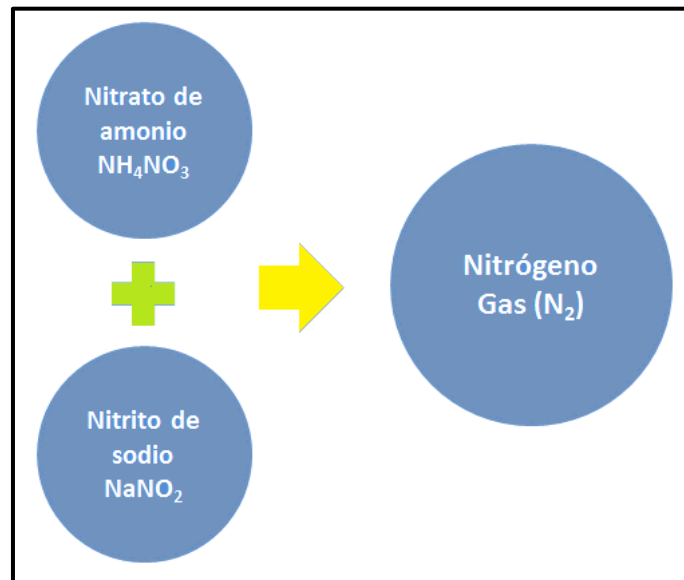


Figura 4.2: Sensibilización química para la generación de burbujas de nitrógeno



Fuente: Propia

La reacción (1) se lleva a cabo de manera muy lenta y con la finalidad de acelerar el proceso de gasificación se agrega ácido acético, el cual se encarga de romper algunas microgotas de emulsión y liberar al nitrato de amonio en su interior para que reaccione con el nitrito de sodio. También es necesario agregar el catalizador tiourea, el cual se encarga de acelerar aún más el proceso de gasificación.



La adición del ácido acético le da un carácter ácido a la emulsión. Asimismo, la cantidad de adición, junto con la tiourea, se determina durante las pruebas del explosivo, debido a que son solamente catalizadores y no intervienen en la reacción de formación del gas nitrógeno.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de nitrito de sodio que es agregado a la mezcla de HA-73 gasificable para lograr la densidad final deseada, partiendo de una densidad inicial de 1.36 g/cc. Cabe indicar que el tiempo que dura el proceso de gasificación de un taladro es de 15-20 minutos, por lo que se tiene que esperar este tiempo antes de tapar el taladro.

Tabla 4.4: Flujo de Nitrito de Sodio para gasificar la MEQ73 según el flujo de descarga

Densidad Final (g/cc)	Nitrito de Sodio (%)	Flujo de Explosivo (Kg/min)			
		350	300	250	200
		Flujo de Nitrito de Sodio (Kg/min)			
1.20	0.21	0.760	0.650	0.540	0.440
1.15	0.28	0.998	0.865	0.713	0.560
1.11	0.36	1.295	1.110	0.925	0.750
1.06	0.43	1.565	1.340	1.115	0.900
1.01	0.51	1.810	1.550	1.300	1.030
0.96	0.61	2.100	1.800	1.500	1.300

Fuente: Asistencia Tecnica EXSA S.A. – SIVE Las Bambas

4.2 DENSIDAD DE LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX EN EL TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS

4.2.1 Densidad Inicial sin gasificar

Esta densidad solo se puede medir con precisión en laboratorio, haciendo la mezcla en recipientes y agregando la solución de nitrito de sodio (gasificante). En el proceso de carguío con camión, la mezcla ingresa al taladro ya con algún grado de gasificación que se inicio en el



mezclador estático, por lo tanto la muestra de mezcla más inicial que podamos obtener en campo siempre tendrá menor densidad que la inicial.

Sin embargo esta densidad medida en la boca de la manguera puede usarse solo como referencia, es muy susceptible a detalles operativos como tipos de mezclador, longitud de manguera, velocidad de flujo y paradas en el bombeo, etc.

4.2.2 Tiempo de Gasificación

Es el tiempo en el que la mezcla explosiva ya dentro del taladro empieza a esponjarse de manera que disminuye su densidad para incrementar su volumen y así su longitud de carga lineal como se observa en la figura 4.3.

Figura 4.3: Tiempo de Gasificación dentro del taladro

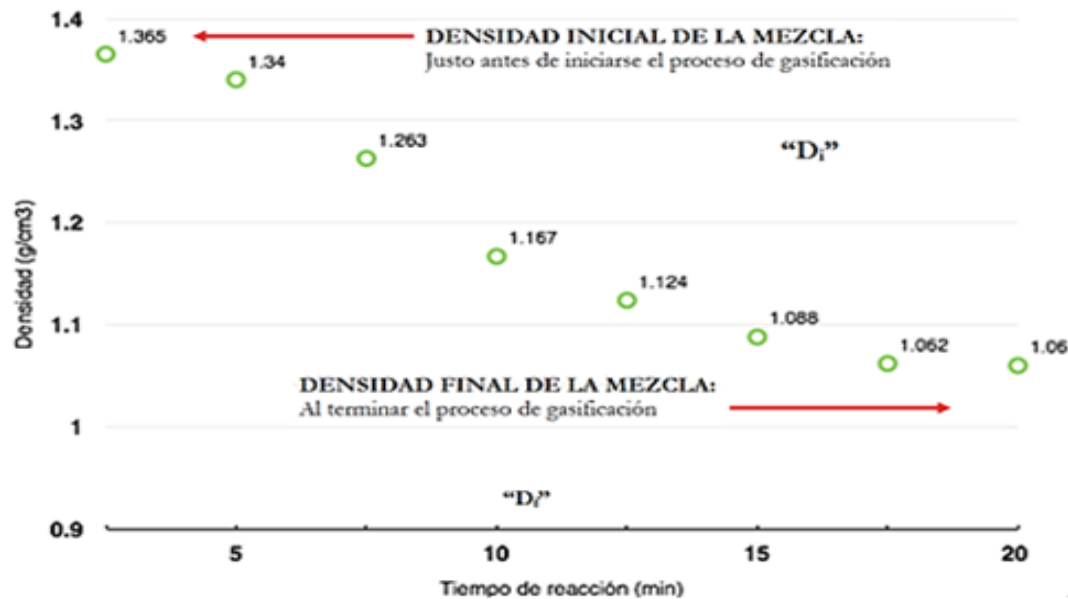


Fuente: Reporte de Asistencia Técnica EXSA SIVE – Las Bambas



Es seguramente la parte más importante de la gasificación de la mezcla, tomar nota de la densidad inicial y la densidad final como se muestra en el grafico 4.1 ya que es el punto de partida para la evaluación del rendimiento de nuestra columna explosiva.

Grafico 4.1: Densidad Inicial y densidad Final según tiempo de reacción



Fuente: Portafolio técnico para clientes EXSA (2016)

4.2.3 Densidad de copa y densidad real de carga

Densidad de copa solo permanece en la parte superior de la columna.

Esta densidad solo se encuentra invariable en la parte superior de la columna explosiva. Durante el tapado la parte superior de la columna experimenta compresión por peso del taco. Sin embargo ésta densidad puede medirse con mucha precisión en campo, aunque no permanecerá mucho tiempo con ese valor cuando la mezcla experimente compresión dentro del taladro.

Densidad real de carga

Se comprueba con un dispositivo dentro del taladro. Figura 4.4.

- Dentro del taladro se introducen sensores de presión hidrostática, se transluce una señal eléctrica hacia un dispositivo grabador en superficie.
- El programa calcula la densidad en el nivel del sensor, en función a la presión registrada.
- El monitoreo de presión/densidad es continuo hasta el momento del tapado y detonación.

Figura 4.4: Equipo para medir la densidad real de carga dentro del taladro

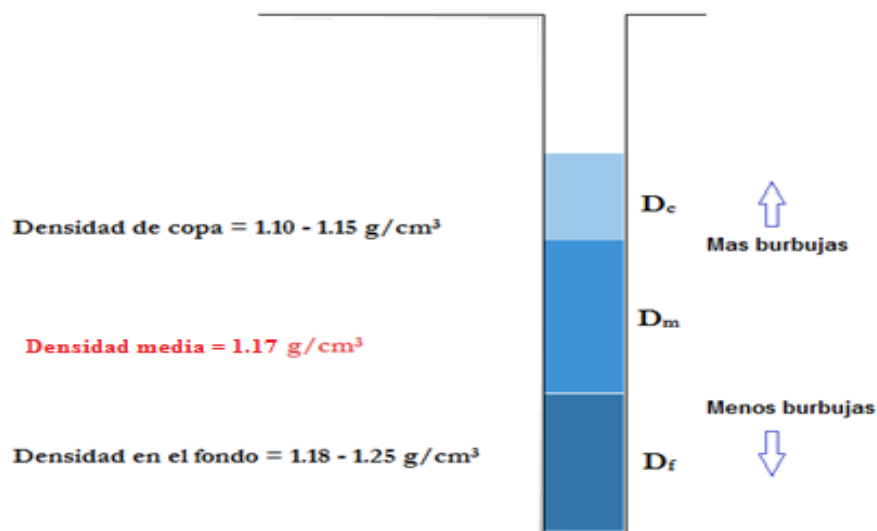


Fuente: Reporte Asistencia Técnica EXSA SIVE – Las Bambas

4.2.4 Estándar de partida para el Tajo Ferrobamba en Las Bambas

Se establece el rango de densidades óptimo para cargar en las distintas zonas de la mina Las Bambas como se observa en la figura 4.5.

Figura 4.5: Rango de Densidades Óptimo



Fuente: Reporte Asistencia Técnica EXSA SIVE – Las Bambas

4.3 FACTORES Y PROCESOS QUE TIENEN UNA INFLUENCIA DETERMINANTE EN LOS RESULTADOS DE UNA VOLADURA DE ROCAS CON LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73

4.3.1 Impedancia de un explosivo

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



Definición

Se puede definir como el producto de la velocidad y la densidad.

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

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

$$\rho_{\text{explosivo}} \quad VOD = \rho_{\text{Rock}} \quad V_P$$

Dónde:

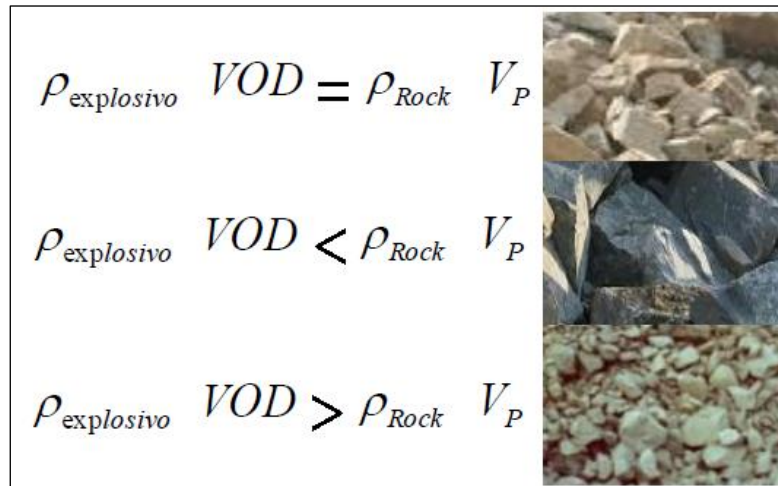
ρ = es la densidad

VOD =Velocidad de detonación del explosivo

Vp= Velocidad de onda P dentro del macizo rocoso

Tomando en cuenta el objetivo del balance que debe existir entre la resistencia de la roca (típicamente con velocidad de la onda P, en el rango de 4500 a 6000 m/sec.), se obtendrá mejor fragmentación cuando se use un explosivo con alta densidad y alta velocidad de detonación como observamos en la figura 4.6

Figura 4.6: Efecto de Densidad y la velocidad de detonación del explosivo sobre la fragmentación.



Fuente: Capacitación Voladura Primaria EXSA. S.A. – Mina Las Bambas (2017)

4.3.2 Medición de densidades en laboratorio y en campo

La medición en campo de la densidad final es determinante para el correcto desempeño de la MEQ73 así sabremos qué porcentaje de sensibilizante necesita nuestra mezcla explosiva. Figura 4.7. Se debe calibrar el camión a la densidad requerida al inicio de su operación y se debe comprobar durante todo el carguío.

Figura 4.7: Selección del porcentaje de sensibilizante para el tipo de roca adecuado



Fuente: Portafolio técnico para clientes EXSA (2016)

“A mayor porcentaje de sensibilizante se tiene menor densidad de la emulsión y a menor porcentaje mayor densidad”

“A mayor temperatura se alcanza menor densidad de la emulsión gasificada y a menor temperatura mayor densidad de la misma”

Una vez obtenida la densidad de diseño se debe comprobar con cuatro mediciones más.

El supervisor de carguio debe identificar rápidamente por el color y textura que la muestra no llegará a la densidad de diseño.

El supervisor de carguio debe indicar al operador que regule la inyección de sensibilizante.

Las paradas del camión pueden originar una desincronización del bombeo y se obtendrían densidades no deseadas pero debe esperarse y normalizarse sin regular el flujo de nitrito de sodio.



Procedimiento para medición de densidad de mezcla explosiva Quantex

Se realizó la medición de densidad de la mezcla explosiva en campo como se observa en la figura 4.8 y se procedió con los siguientes pasos:

1. El personal de Asistencia técnica, con vaso y regla en la mano deberá ubicarse en el primer taladro de prueba.
2. Obtener en el vaso una muestra de la mezcla directamente de la descarga vaceable o bombeable durante el carguio del primer taladro de prueba.
3. Razar con la regla y limpiar exceso de muestra fuera del vaso.
4. Pesar el vaso con la muestra y registrar el tiempo y peso en una tabla en formato de control.
5. Repetir el paso anterior cada 5 minutos, antes de cada pesaje deberá razar y limpiar el vaso.
6. Completar la tabla con 4 pesajes cada 5 minutos.
7. Verificar el cese de reacción y esponjamiento en el vaso.
8. Realizar último pesaje que corresponde a la densidad final en copa.
9. Anotar densidad de copa en el formato y reportar al operador de carguio..
10. Regulación de la densidad de mezcla
11. Si la densidad medida no es la establecida por diseño, se debe detener el proceso de carguio y regular la inyeccion de nitrito.
12. Repetir los pasos 1 y 2 hasta conseguir la densidad de copa requerida por diseño.
13. Comunicar al operador de carguio que se ha conseguido la densidad requerida y se puede continuar con el proceso.

Figura 4.8: Medición de Densidades en Campo



Fuente: Propia

Control de la densidad de mezcla

Observar constantemente el aspecto y textura de la mezcla.

También observar si hay pico de presión o cambios en la velocidad de descarga.

Si se detecta visualmente, cambios en la mezcla deberá repetirse el proceso de regulación de densidad.

CUIDADO, el Operador de camión mezclador y operadores de piso no deberán de perder de vista el estado de la mezcla, evaluar su color y textura para comunicar al Ingeniero de asistencia técnica si existe alguna anomalía.

ES OBLIGATORIO realizar la medición de densidad al inicio de carguío por cada reabastecimiento del camión mezclador de explosivos.

ES OBLIGATORIO realizar la medición de densidad al reiniciar el acarguío después de paradas prolongadas del proceso.




ES RECOMENDABLE realiza dos mediciones de densidad por cada reabastecimiento del camión, pero el control de mezcla debe ser constante.

ES PERMISIBLE no medir la densidad cuando la mezcla no presente variaciones en su color y/o textura o cuando el operador de carguio comprueba que el sistema tiene un comportamiento estable. Pero el operador de carguio debe continuar con el control visual constante de la mezcla.

4.3.3 Evaluación de las condiciones de taladro antes del carguío de explosivos

Es importante realizar un sondeo y evaluación de los taladros previo carguío ya que estos normalmente presentan diferente condiciones como se muestran en la figura 4.9.

Figura 4.9: Evaluación de las condiciones de los taladros antes del carguío

		
<ul style="list-style-type: none"> • Taladro bien formado • Diametro normal • Forma cilindrica • Adecuado confinamiento • Se cumple diseño de carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Taladro con ensanchamientos • Diametro mayor • No forma cilindrica • Confinamiento irregular • No se cumple diseño de carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Taladro con oquedales • Hueco con diámetro mayor • No forma cilindrica • Confinamiento no adecuado • Perdida de columna de carga

Fuente: Propia

4.3.4 Carguío selectivo por zonas

4.3.4.1 Según macizo rocoso

Para seleccionar el espectro de energía necesario de acuerdo al tipo de roca necesitamos saber la volabilidad o la resistencia de roca para saber el porcentaje de sensibilizante necesitaremos para cada proyecto de voladura Figura 4.10:

Figura 4.10: Volabilidad del Macizo rocoso para la selección del porcentaje de sensibilizante.

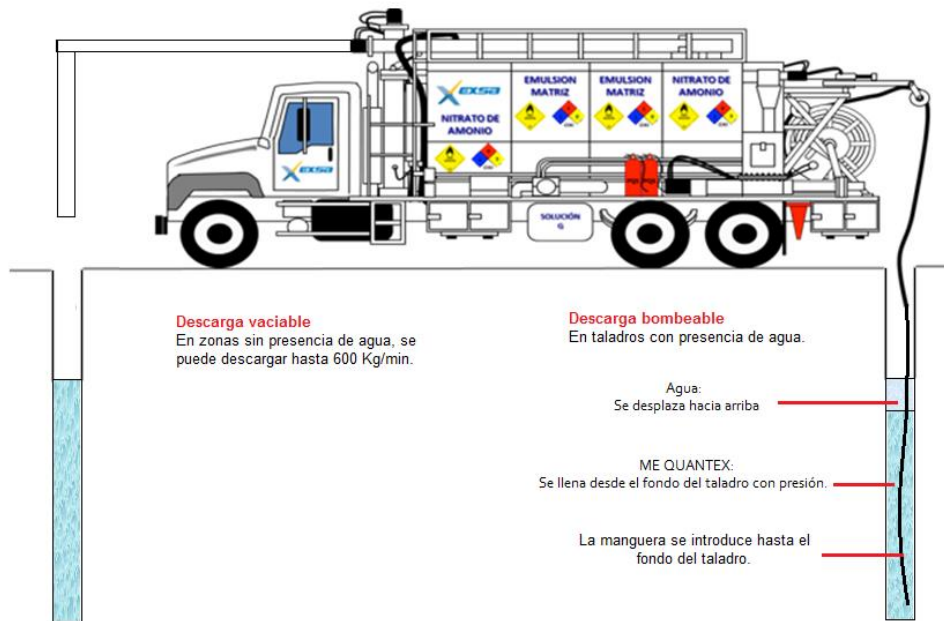


Fuente: Portafolio técnico para clientes EXSA (2016)

4.3.4.2 Según humedad en el taladro

La siguiente figura 4.11 nos muestra los tipos de carguío con camión fábrica según la presencia de agua.

Figura 4.11: Tipos de Carguío con Camión Fábrica



Fuente: Reporte Asistencia Técnica EXSA SIVE – Las Bambas

En taladros secos

1. Realizar la descarga del producto desde el taco inicial despues de agregar la emulsión gasifica, Antes de este procedimiento
2. Cerciorarse que la coloración del producto sea uniforme,
3. El operador debe controlar el peso de la carga diseñado para el taladro,
4. El winchero debe considerar el esponjamiento de producto para controlar el taco.
5. El esponjamiento demora mínimo 15 min, se debe verificarse en forma periódica.
6. Terminado el esponjamiento, se procederá al tapado de taladros,



En taladros con agua

Se considerará todos los puntos del carguío de taladros secos pero en este caso el bombeo del producto se realiza desde el fondo del taladro.

4.3.5 Disponibilidad mecánica en camiones fábrica

En lo que respecta a la disponibilidad mecánica se contó con 02 camiones preparados para el inicio de pruebas el camión C6F-842 (utilizado en sistema vaciable y bombeable) y el F0D-860 (apoyo en sistema bombeable), Estos camiones tienen las siguientes características:

Camión Mezclador Sistema Vaciable C6F-842:

El camión mezclador se encuentra en perfectas condiciones mecánicas y operativas para realizar las pruebas con la ME Quantex 73 en sistema vaciable.

Se realizó la calibración de los flujos del porcentaje de la solución gasificante determinándose las condiciones de trabajo siguiente:

- ❖ Flujo de ME Quantex 73 : 630 kg/min.
- ❖ Velocidad de Bomba : 1500 rpm
- ❖ Presión de bombeo : 45 psi
- ❖ Porcentaje de Solución G : 0.10 - 0.11%
- ❖ Flujo de Solución G : 0.8 lt/min
- ❖ Flujo de Petroleo + Aceite : 1.6 gl/min
- ❖ Porcentaje de Absorción de Petróleo : 3%

Camión Fábrica Sistema Bombeable FOD-860:

El camión fábrica se encuentra en perfectas condiciones mecánicas y operativas para realizar las pruebas con ME Quantex 73 como se observa en la figura 4.12,

Se realizó la calibración de los flujos del porcentaje de la solución gasificante determinándose las condiciones de trabajo siguiente:

- ❖ Flujo de ME Quantex 73 : 320 - 350 kg/min.
- ❖ Velocidad de Bomba : 1200 rpm
- ❖ Presión de bombeo : 60 psi
- ❖ Porcentaje de Solución G : 0.20%
- ❖ Flujo de Solución G : 07-08 lt/min
- ❖ Porcentaje de Absorción de Petróleo : 3%

Figura 4.12: Camión Fabrica EXSA S.A. – Tajo Ferrobamba



Fuente: Propia



4.3.6 Diseño del taco con Stemming

El taco aumenta la fragmentación y el desplazamiento de la roca reduciendo la descarga prematura hacia la atmosfera de gases de explosión a alta presión

4.3.6.1 Tipo y tamaño de material de stemming

Los materiales secos granulares son los mejores para taco por que tienen resistencia por inercia y alta resistencia friccionable a la eyección. Los materiales que se comportan plásticamente o que tienden a fluir no son adecuados para taco, por ejemplo agua, barro, arcilla humeda. La longitud del taco se puede reducir significativamente si se usa un taco eficaz, resultando en una mejor distribución del explosivo y en una fragmentación global mejorada.

La roca chancada de un tamaño de alrededor de 10-15% del diámetro del pozo es el material de taco más efectivo. La roca chancada se arquea y se mete dentro de las paredes del pozo entregado mejor enclavamiento y confinamiento de los gases de la explosión que el material de cutting realmente fino.

4.3.6.2 Longitud del stemming

La longitud optima de un taco depende principalmente del diámetro del pozo, material del taco y de las propiedades de las rocas cercanas como se observa en la Tabla 4.5.

Como regla general, la longitud del taco no debería ser más corta que la distancia del burden (B). Sin embargo, la longitud optima de taco depende de las propiedades de la roca, y puede



variar de alrededor de 0.6B a 2B. Las columnas mas cortas que 0,6B generalmente provocan ruido, airblast, fragmentos de roca y sobrequebre.

Tabla 4.5: Longitud de Taco según diámetro de taladro y tipo de roca

Tipo de Taco	Roca dura masiva		Roca fracturada incompetente	
	Dia=89mm	Dia=311mm	Dia=89mm	Dia=311mm
Perforación recta	25d – 30d (Cerca 2.5m)	22d – 26d (Cerca 7.5m)	32d – 38d (Cerca 3.2m)	28d – 33d (Cerca 9.5m)
Perforación con angulo	23d – 27d (Cerca 2.2m)	19d – 23d (Cerca 4.8m)	29d – 34d (Cerca 2.8m)	24d – 28d (Cerca 6m)

Fuente: Manual de Voladura EXSA

4.4 LIMITACIONES DE LA PRESION HIDROSTATICA Y DENSIDAD CRÍTICA EN LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73.

La reciente introducción de explosivos gasificables para reducción de costos globales en las operaciones y protección del medio ambiente hace necesario conocer los beneficios y restricciones de uso de estos productos para brindar un sólido y óptimo servicio.

Es por ello que dentro de las restricciones tenemos la influencia de la presión Hidrostatica y densidad critica

La Presión Hidrostática se da con el fluido en estado de reposo (Mezcla explosiva). Esta genera presión sobre el fondo y los laterales del taladro.

El peso del fluido genera que la presión aumente a medida que se incrementa la profundidad.

Por lo tanto también la densidad crece a medida que se incrementa la profundidad.

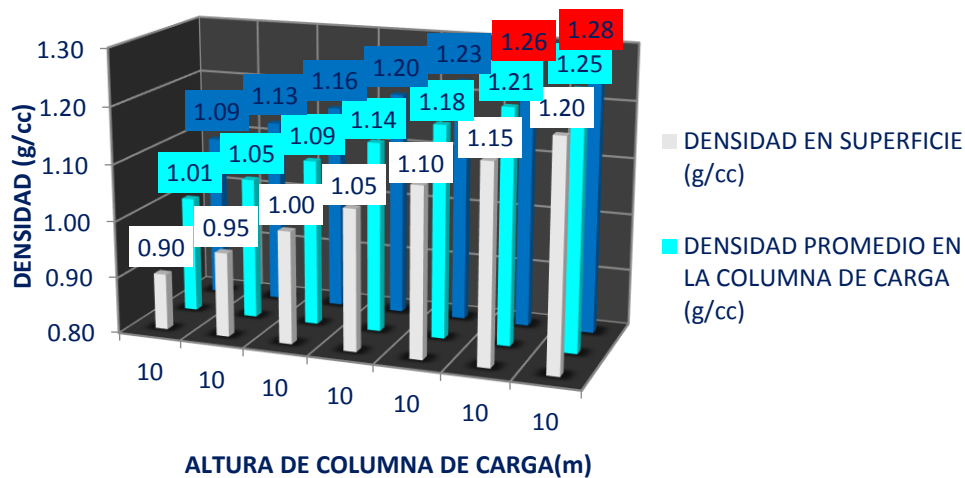


Densidad tan alta o tan baja donde la sensibilidad de un explosivo, o su habilidad de detonación puede reducirse o puede resultar completamente dañada.

Los explosivos cuya sensibilidad depende de la saturación por gasificación química deben emplearse con el conocimiento de que el exceso de presión de agua o hasta del explosivo en sí, pueden llevar a que se exceda la densidad crítica al fondo del taladro.

La densidad crítica para la emulsión gasificada en positivo es de 1.25g/cc y negativo por debajo de 0.90g/cc , según I&D EXSA S.A. como se muestra en el Grafico 4.2 y la Tabla 4.6 a continuación.

Grafico 4.2: Variabilidad de la densidad en la columna de carga



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas



Tablas 4.6: Resumen Densidad en superficie vs Profundidad de carga

EFECTO - PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN UN EXPLOSIVO GASIFICABLE							
DENSIDADES EN SUPERFICIE VS PROFUNDIDAD DE LONGITUD DE CARGA							
LONGITUD DE CARGA [m]	Densidad 0.9 [g/cc]	Densidad 0.95 [g/cc]	Densidad 1.00 [g/cc]	Densidad 1.05 [g/cc]	Densidad 1.10 [g/cc]	Densidad 1.15 [g/cc]	Densidad 1.20 [g/cc]
0	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20
1	0.91	0.96	1.01	1.06	1.11	1.16	1.21
2	0.94	0.99	1.04	1.08	1.13	1.18	1.22
3	0.96	1.01	1.06	1.10	1.15	1.19	1.23
4	0.98	1.03	1.08	1.12	1.16	1.20	1.24
5	1.00	1.05	1.09	1.14	1.18	1.22	1.25
6	1.02	1.07	1.11	1.15	1.19	1.22	1.26
DENSIDAD PROMEDIO EN TODO EL TALADRO	0.96	1.01	1.06	1.10	1.15	1.19	1.23
CÁLCULOS HECHOS PARA CONDICIONES A NIVEL DEL MAR.				Rodolfo Mujica			
DENSIDAD CRÍTICA		1.25g/cc					

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

“Densidades mayores a la densidad crítica de 1.25 g/cc, están sombreados en color rojo, son valores restrictivos con los que no se debe trabajar.”



4.5 CASOS DE ESTUDIO MONITOREADOS Y EVALUADOS UTILIZANDO EMULSION GASIFICADA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73 EN TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS

Las pruebas con la tecnología Quantex fueron realizadas en 11 proyectos de voladura 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, el resumen de los proyectos en la tabla 4.7 a continuación.

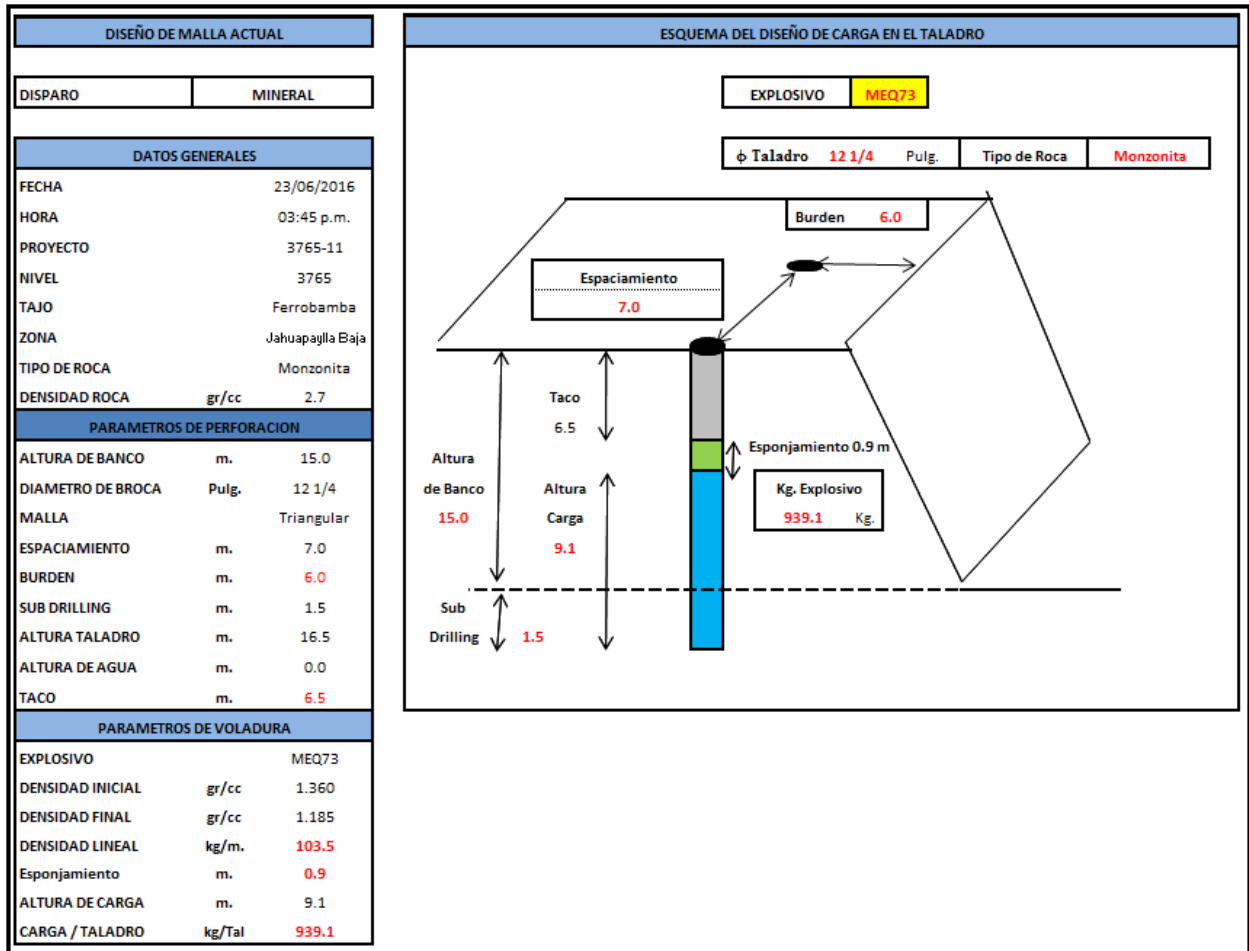
Tabla 4.7: Resumen Proyectos de Voladura realizados en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas

#Vol	Fecha	Lugar	Proyecto	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	MINERAL	94	94	6.0 *7.0	MEQ-73	94,336	141,878	0.66
2	25-jun	Minitajo	1-01-3870-053	MINERAL	36	36	6.0 *7.0	MEQ-73	33,342	73,809	0.45
3	26-jun	Jahuapaylla Baja	1-01-3780-034	MINERAL	35	33	6.0 *7.0	MEQ-73	27,091	58,605	0.46
4	29-jun	Minitajo	1-01-3870-057	MINERAL	56	56	6.0 *7.0	MEQ-73	51,380	118,125	0.43
5	02-jul	Minitajo	1-01-3870-052	DESMONT	37	37	8.7*10.0	MEQ-73	29,156	133,193	0.22
6	02-jul	Minitajo	1-01-3855-019	MINERAL	39	39	6.5*7.50	MEQ-73	29,636	74,382	0.40
7	02-jul	Minitajo	1-01-3855-020	MINERAL	51	51	6.5*7.50	MEQ-73	46,784	98,684	0.47
8	02-jul	Minitajo	1-01-3855-018	MINERAL	21	21	6.0*7.0	MEQ-73	18,347	39,205	0.47
9	02-jul	Minitajo	1-01-3855-021	DESMONT	48	48	8.7*10.0	MEQ-73	35,988	146,456	0.25
10	03-jul	Cantera 01	1-01-3900-055	DESMONT	45	45	8.7*10.0	MEQ-73	27,084	136,588	0.20
11	05-jul	Minitajo	1-01-3870-051	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

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

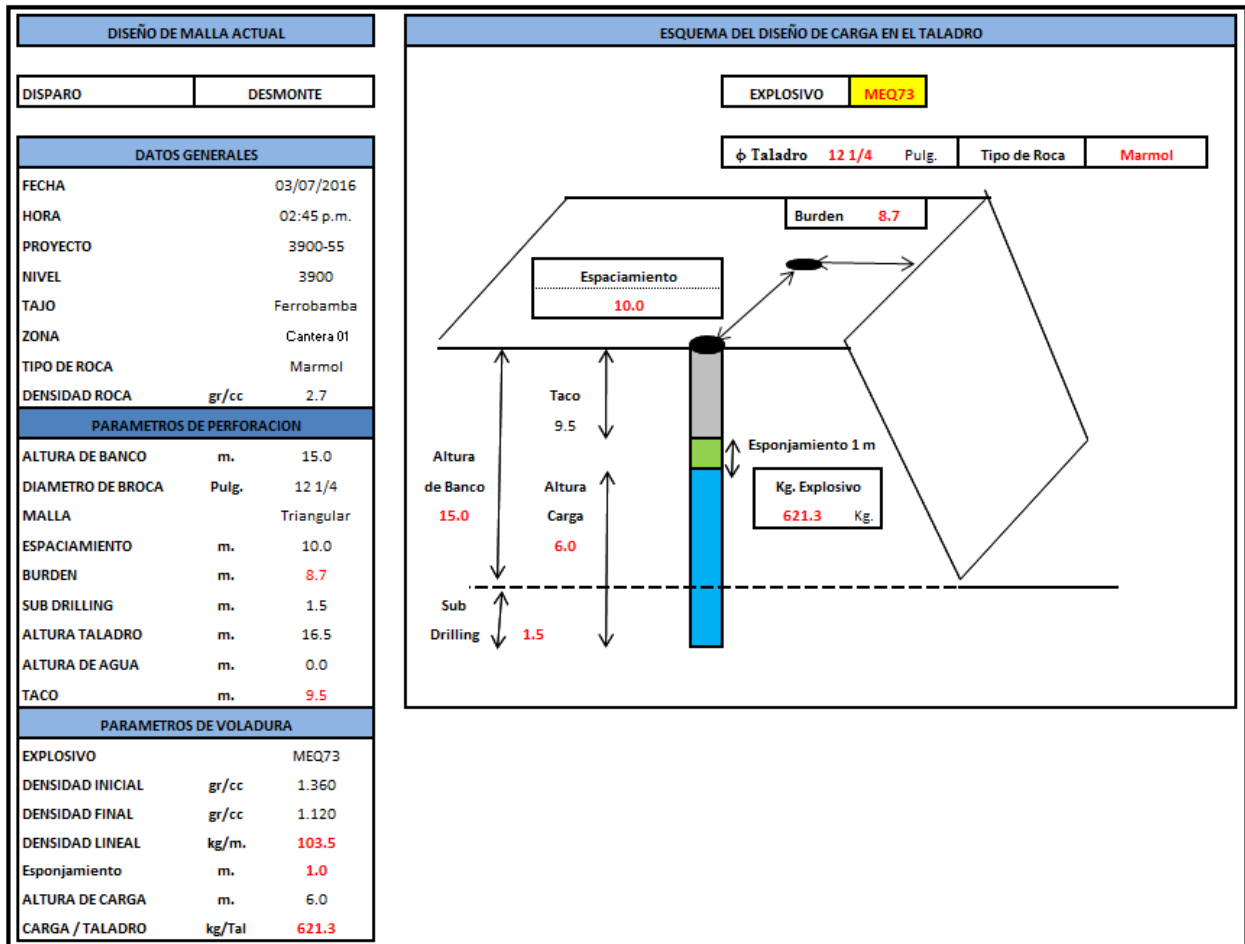
4.5.1 Diseño de carga utilizado para mineral y desmonte en el tajo Ferrobamba - Las Bambas

Figura 4.13: Diseño de Carga para Mineral



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Figura 4.14: Diseño de Carga para Desmorte

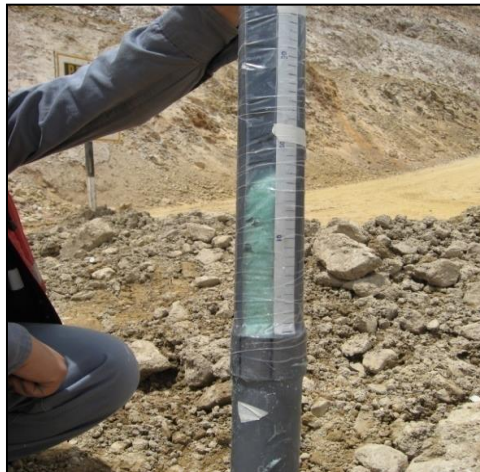


Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

4.5.2 Esponjamiento de taladros en mineral y desmante

La gasificación reduce la densidad pero aumenta el volumen de la Mezcla Explosiva Quantex 73 como se observa en la figura 4.15, a este aumento de volumen se le conoce como esponjamiento y se calcula según la densidad del explosivo y las condiciones del terreno a volar.

Figura 4.15: Medición de esponjamiento

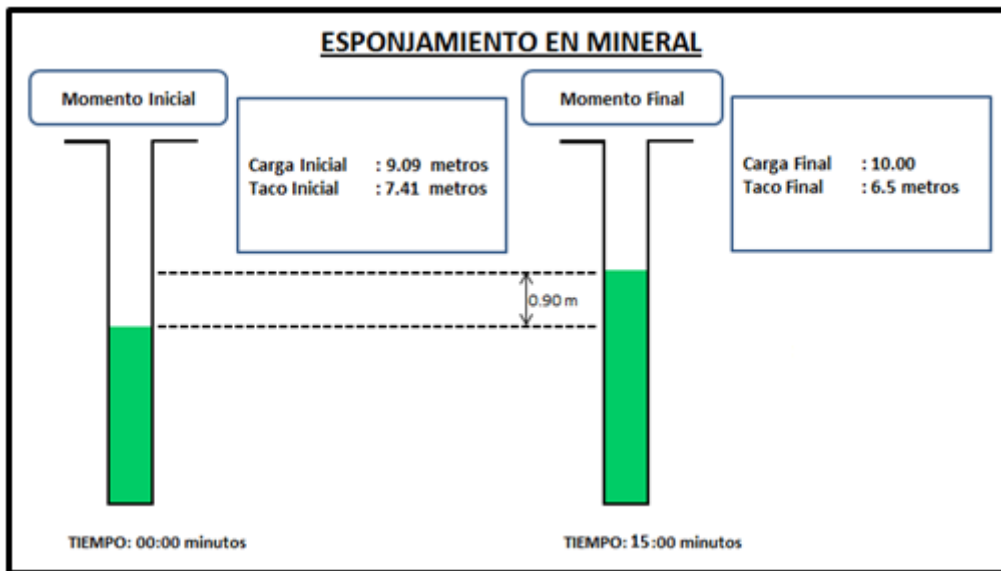


Fuente: Propia

Se comprueba si el esponjamiento en el taladro corresponde al esponjamiento de diseño.

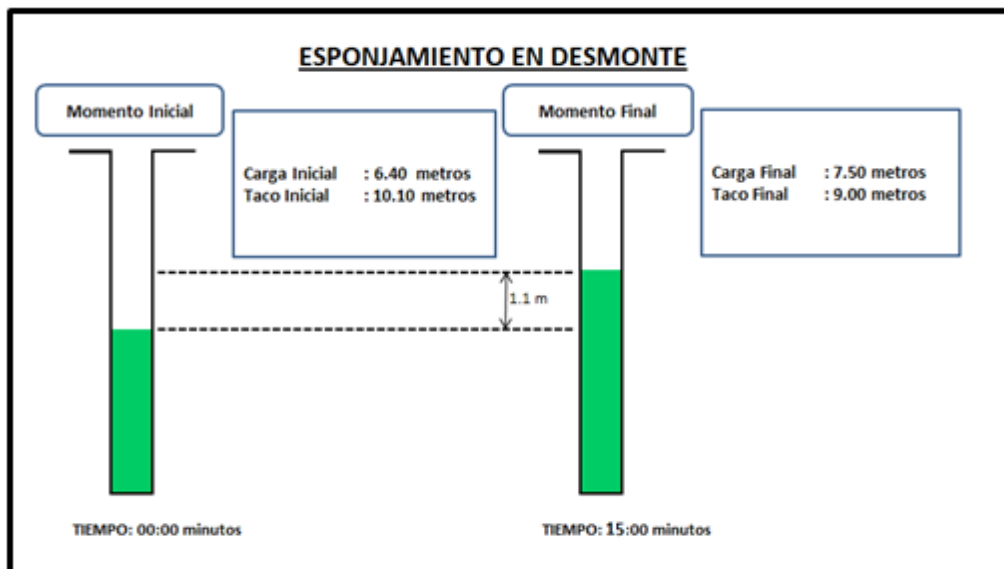
A medida que progresa la reacción, disminuye la densidad de la Mezcla Explosiva Quantex como se muestra en las figuras 4.16 para mineral y figura 4.17 para desmante

Figura 4.16: Esponjamiento en Mineral dentro del taladro con la MEQ73



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Figura 4.17: Esponjamiento en Desmote dentro del taladro con la MEQ73



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

La mezcla explosiva Quantex tiene una densidad inicial de 1,37 gr/cc, y ésta requiere de un porcentaje de nitrato de sodio 0,28%, la cual gasificará en un tiempo máximo de 15 minutos,



alcanzando una densidad final de 1,15gr/cc en promedio (mezcla preparada bajo condiciones ideales).Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Registro de esponjamiento dentro del taladro en el Tajo Ferrobamba

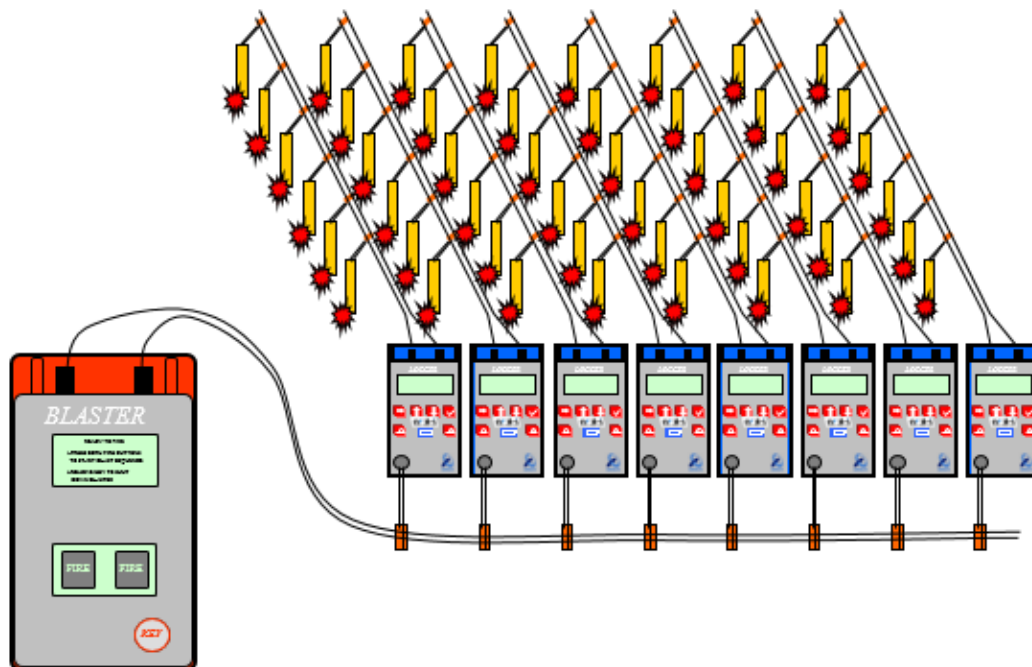
# Vol	Fecha	Proyecto	Material	Densidad Inicial (gr/cm3)	Densidad Final (gr/cm3)	Nitrito de Sodio (%)	Esponjamiento (m)
1	23-Jun	1-01-3765-011	M	1.36	1.15	0.280	0.8
2	25-Jun	1-01-3870-53	M	1.373	1.153	0.278	0.9
3	26-Jun	1-01-3780-034	M	1.373	1.153	0.275	0.9
4	29-Jun	1-01-3870-061	M	1.366	1.127	0.310	0.9
5	02-Jul	1-01-3870-052	D	1.36	1.13	0.320	1.1
6	02-Jul	1-01-3855-019	M	1.36	1.13	0.324	0.9
7	02-Jul	1-01-3855-020	M	1.37	1.121	0.314	0.9
8	02-Jul	1-01-3855-018	M	1.37	1.12	0.330	1
9	02-Jul	1-01-3855-021	D	1.362	1.133	0.322	1.1
10	03-Jul	1-01-3900-055	D	1.37	1.12	0.330	1
11	03-Jul	1-01-3870-051	D	1.361	1.131	0.324	1.1

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bamba

4.5.3 Diseño de iniciación electrónico:

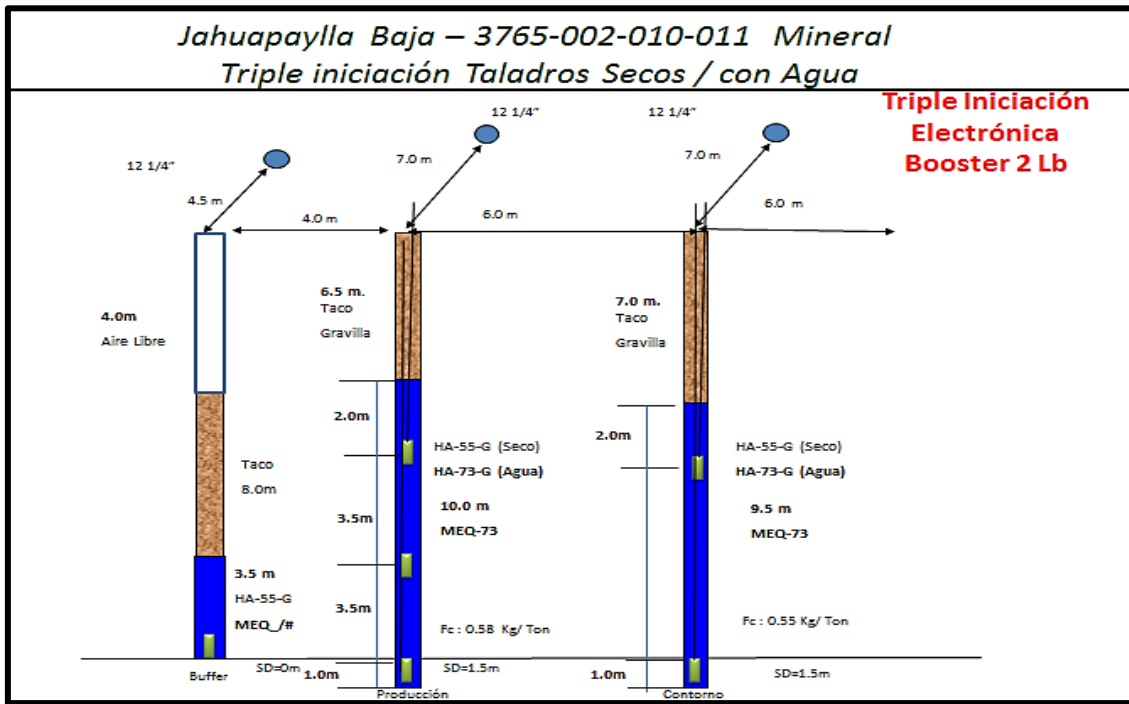
El sistema de iniciación electrónica es una parte muy importante en los resultados utilizando la Mezcla Explosiva Quantex ya que la utilización de esta tecnología va de la mano con la voladura controlada mejorando la precisión y exactitud puesto que la dispersión de los retardos es menor por tratarse de detonadores programados y activados electrónicamente, esto contribuye de forma sustancial en la optimización de la fragmentación, disminuyendo el daño por vibraciones y mejorando la seguridad en el proceso de voladura además de darnos flexibilidad al momento de programar el orden de salida de cada taladro como se observa en la figura 4.18 a continuación.

Figura 4.18: Sistema de iniciación electrónico



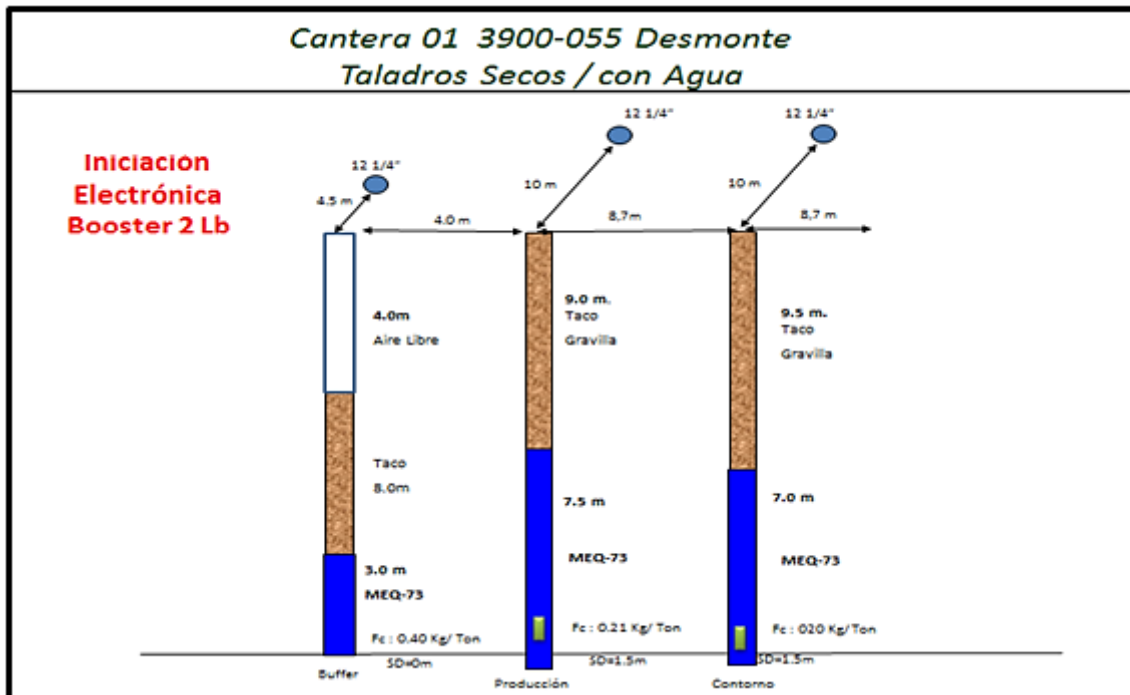
Fuente: Curso básico de Voladura Orica Mining Company

Figura 4.19: Diseño de iniciación electrónica para Mineral



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Figura 4.20: Diseño de iniciación electrónica para Desmante



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas



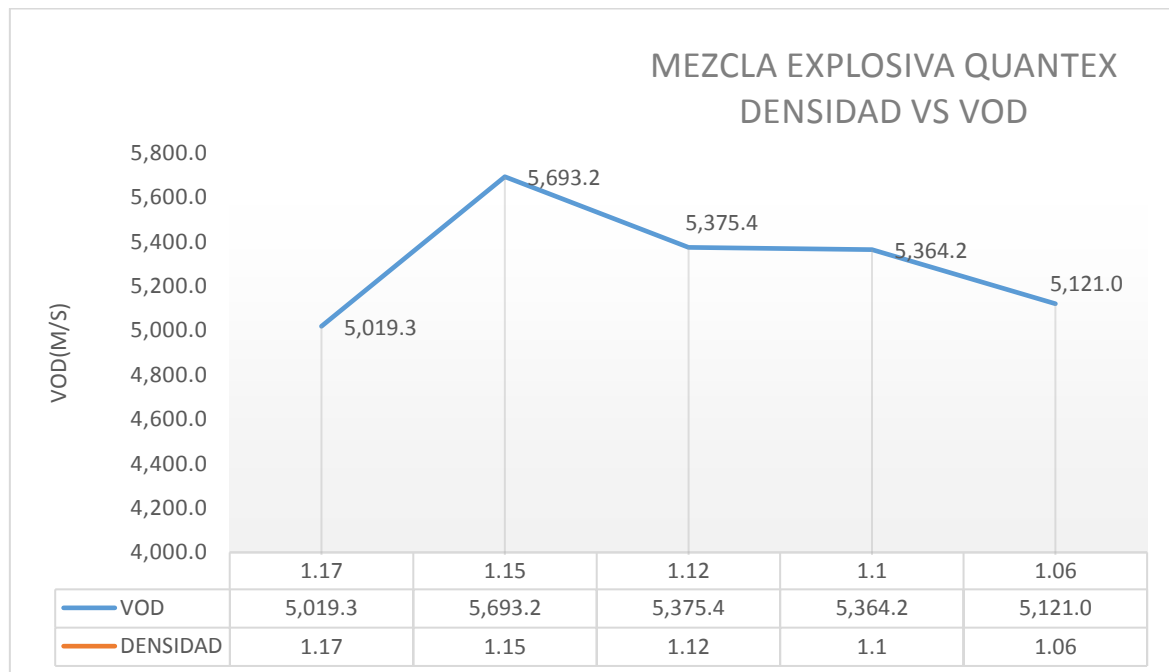
4.5.4 Registro y comportamiento de la velocidad de detonación:

Tabla 4.9: Registro de la Velocidad de Detonación en el Tajo Ferrobamba

# Vol	Fecha	Proyecto	Material	Densidad Inicial (gr/cm ³)	Densidad Final (gr/cm ³)	VOD (m/s)
1	23-Jun	1-01-3765-011	M	1.36	1.15	5525.8
2	25-Jun	1-01-3870-53	M	1.373	1.153	5550.1
3	26-Jun	1-01-3780-034	M	1.373	1.153	5503.6
4	29-Jun	1-01-3870-061	M	1.366	1.127	5320.9
5	02-Jul	1-01-3870-052	D	1.36	1.13	5608.7
6	02-Jul	1-01-3855-019	M	1.36	1.13	5539.2
7	02-Jul	1-01-3855-020	M	1.37	1.121	5401.1
8	02-Jul	1-01-3855-018	M	1.37	1.12	5420.3
9	02-Jul	1-01-3855-021	D	1.362	1.133	5605.2
10	03-Jul	1-01-3900-055	D	1.37	1.12	5375.4
11	03-Jul	1-01-3870-051	D	1.361	1.131	5620.6

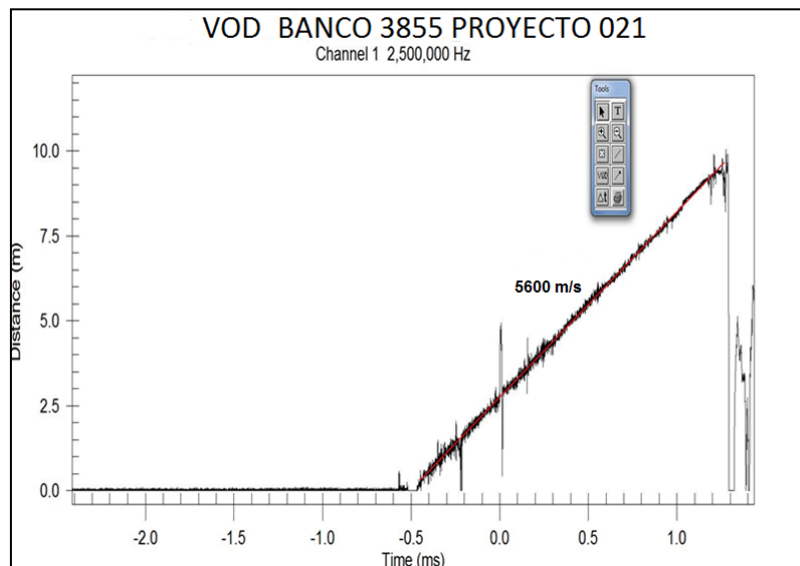
Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Grafico 4.3: Influencia de la Densidad final del explosivo sobre la Velocidad de Detonación



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

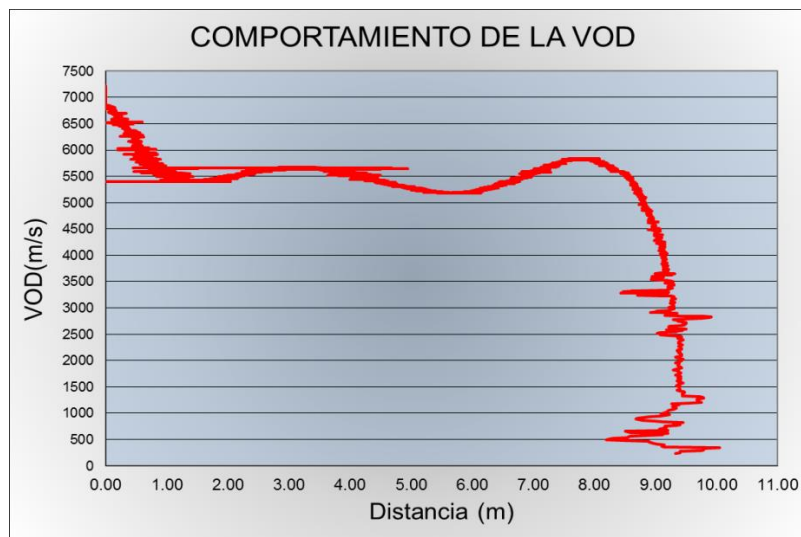
Grafico 4.4: Los valores obtenidos en los registros de VOD



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

A través del registro comprobamos que la MEQ-73 desarrolla niveles de VOD 5,600 m/s.

Grafico 4.5: Comportamiento de la Velocidad de Detonación



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Así mismo se puede apreciar el comportamiento de la velocidad a lo largo del taladro, alcanzando su velocidad régimen a 0.5 metros del fondo del taladro manteniendo su velocidad régimen hasta una distancia de 8.8 metros.

4.5.5 Medición y análisis granulométrico P80 de la fragmentación en el Tajo

Ferrobamba

Figura 4.21: Pre Voladura - Proyecto 1-01-3765-011



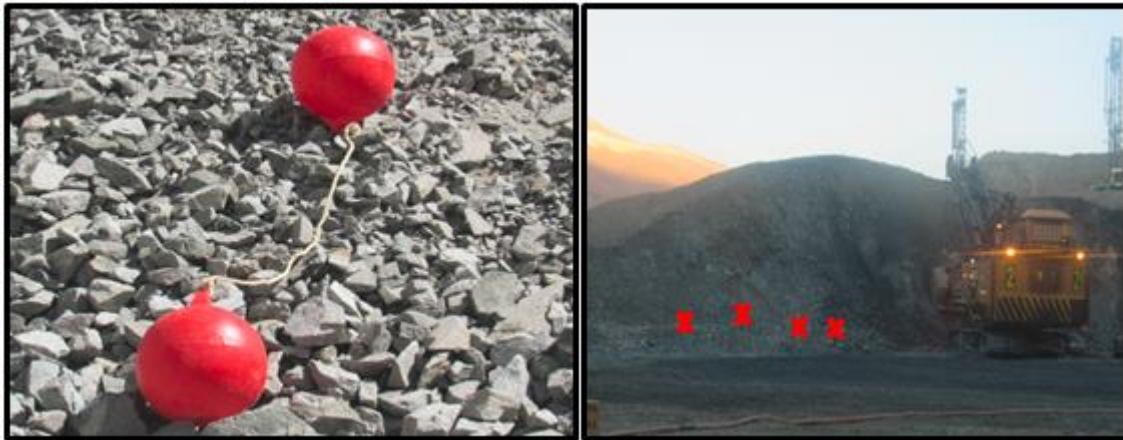
Fuente: Propia

Figura 4.22: Post Voladura - Proyecto 1-01-3765-011



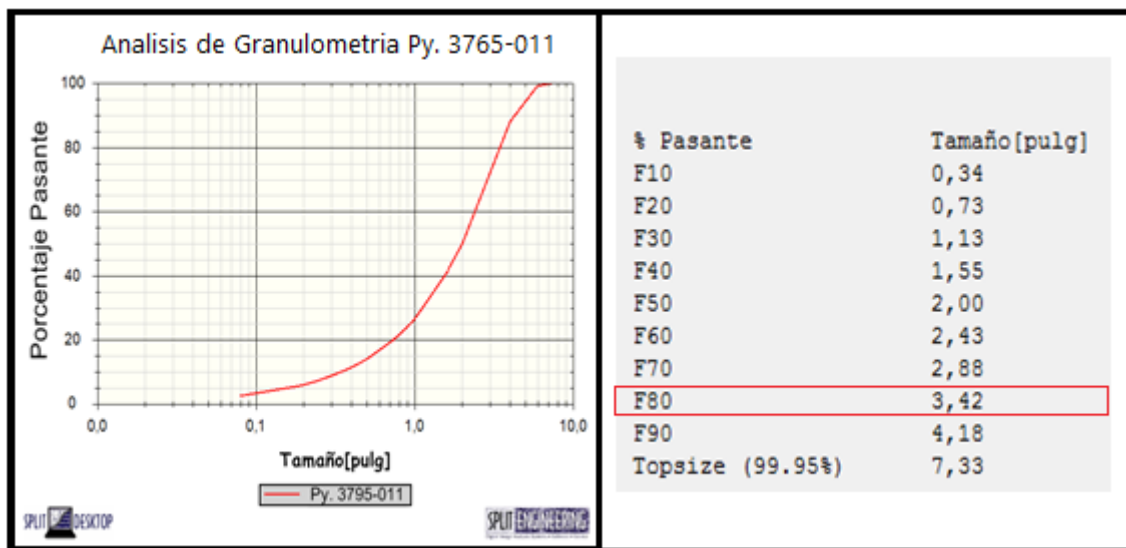
Fuente: Propia

Figura 4.23: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3765-011



Fuente: Propia

Gráfico 4.6: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3765-011



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

- El P-80 encontrado en el proyecto de voladura 3765-011 en mineral: 3.42”
- El porcentaje de finos menor a 1 pulgada en el proyecto: 26.73%

Figura 4.24: Pre Voladura - Proyecto 1-01-3855-019-020



Fuente: Propia

Figura 4.25: Post Voladura - Proyecto 1-01-3855-019-020



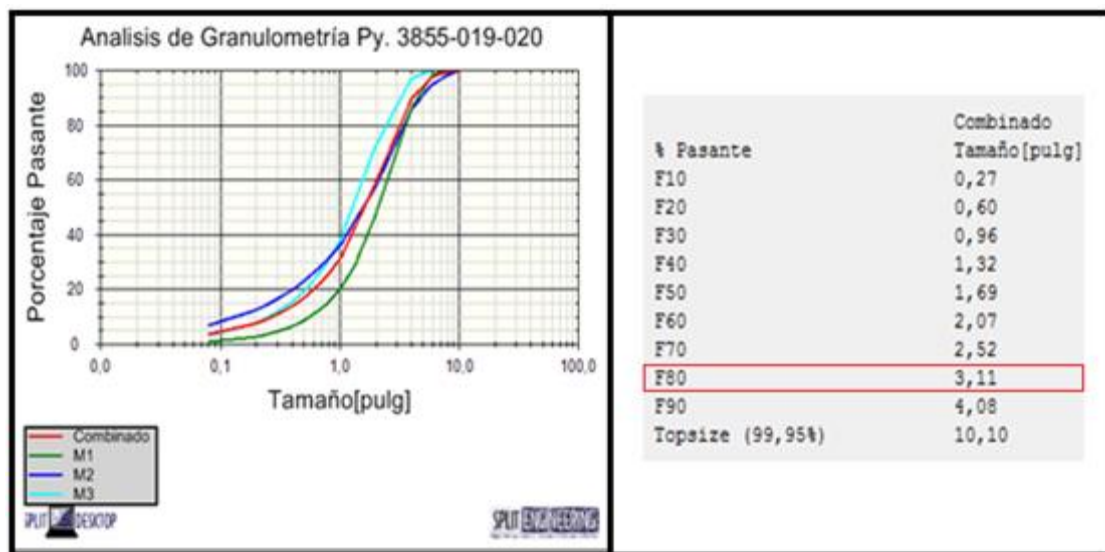
Fuente: Propia

Figura 4.26: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3855-019-020



Fuente: Propia

Gráfico 4.7: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3855-019-20



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

- El P-80 encontrado en el proyecto de voladura 3855-019-020 en mineral: 3.11”
- El porcentaje de finos menor a 1 pulgada en el proyecto: 21.24%

Figura 4.27: Pre Voladura Proyecto 1-01-3870-052



Fuente: Propia

Figura 4.28: Post Voladura Proyecto 1-01-3870-052



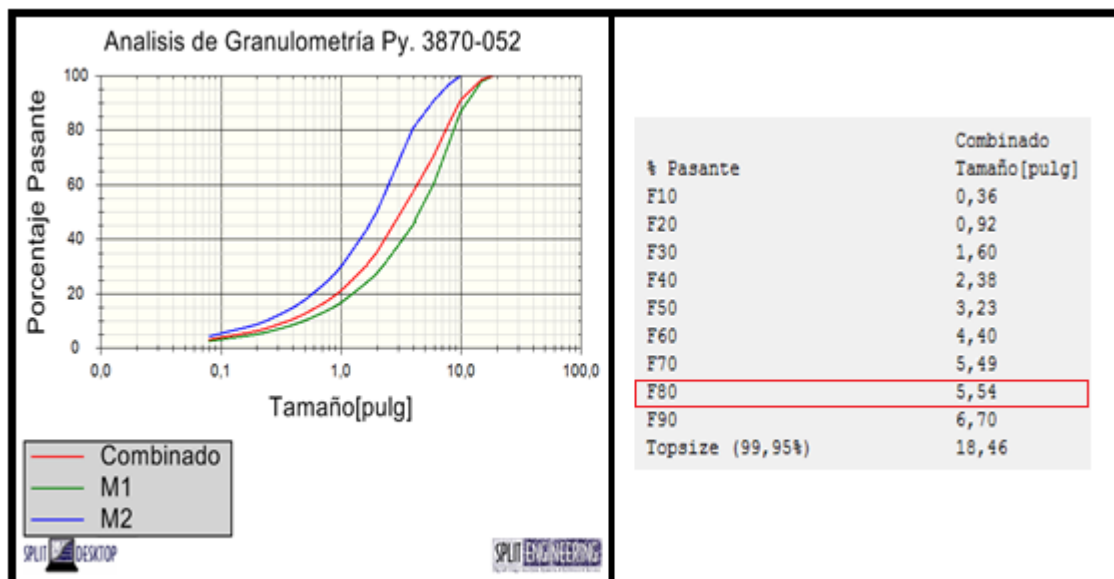
Fuente: Propia

Figura 4.29: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3870-052



Fuente: Propia

Gráfico 4.8: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3870-052



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

- El P-80 encontrado en el proyecto de voladura 3870-052 en desmorte: 5.54”
- El porcentaje de finos menor a 1 pulgada en el proyecto: 21.25%

Figura 4.30: Pre Voladura Proyecto 1-01-3900-055



Fuente: Propia

Figura 4.31: Pre Voladura Proyecto 1-01-3900-055



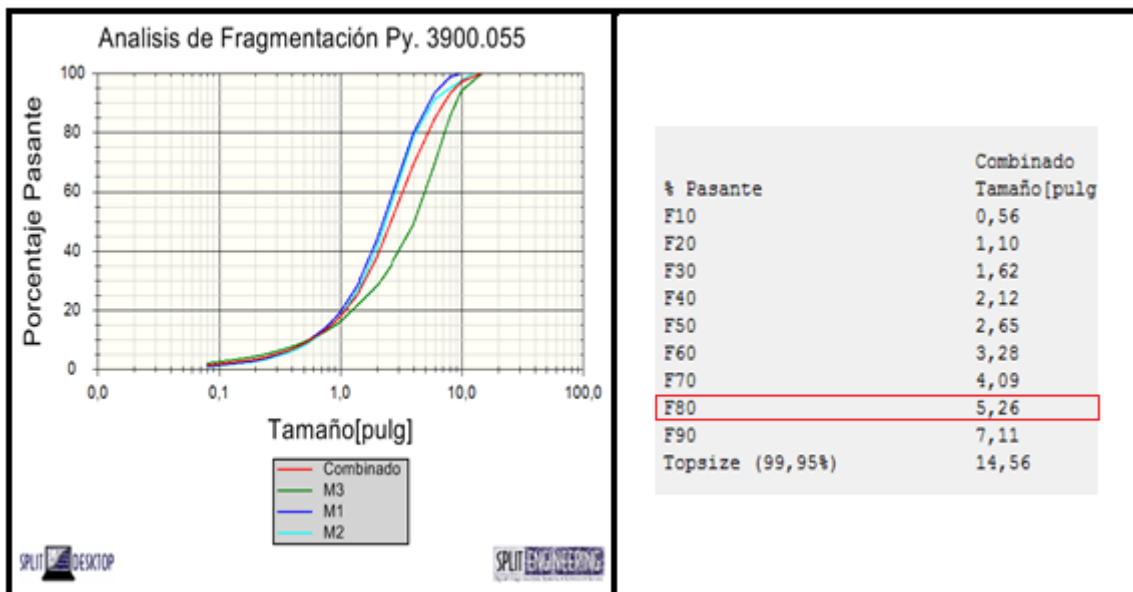
Fuente: Propia

4.32: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3900-055



Fuente: Propia

Gráfico 4.9: Análisis de Granulometría Proyecto 1-01-3900-055



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

- El P-80 encontrado en el proyecto de voladura 3900-055 en desmonte: 5.26”
- El porcentaje de finos menor a 1 pulgada en el proyecto: 18.09%



Las pruebas de la Mezcla Explosiva Quantex 73 en los 11 proyectos de voladura arrojaron como resultados un promedio de P80 =3.42 pulg. Para Mineral por debajo del KPI de la Mina que es de 4 pulg. y un promedio de P80=5.25 pulg. Para Desmante muy por debajo del KPI para desmante que es de 7pulg.

De esta forma se ha demostrado el rendimiento de la Mezcla Explosiva Quantex 73 en la columna explosiva de cada taladro ya que en ninguno de los 11 proyectos de voladura se han superado los parámetros establecidos por la Mina que indica que los resultados de la fragmentación han sido óptimos

Tabla 4.10: Registro de Granulometría P80 – MEQ73 en el Tajo Ferrobamba

# Vol	Fecha	Proyecto	Material	Densidad Inicial (gr/cm ³)	Densidad Final (gr/cm ³)	VOD (m/s)	P 80 (Pulg)
1	23-Jun	1-01-3765-011	M	1.36	1.15	5525.8	3.42
2	25-Jun	1-01-3870-53	M	1.373	1.153	5550.1	3.34
3	26-Jun	1-01-3780-034	M	1.373	1.153	5503.6	3.58
4	29-Jun	1-01-3870-061	M	1.366	1.127	5320.9	4.05
5	02-Jul	1-01-3870-052	D	1.36	1.13	5608.7	5.54
6	02-Jul	1-01-3855-019	M	1.36	1.13	5539.2	3.11
7	02-Jul	1-01-3855-020	M	1.37	1.121	5401.1	3.15
8	02-Jul	1-01-3855-018	M	1.37	1.12	5420.3	3.30
9	02-Jul	1-01-3855-021	D	1.362	1.133	5605.2	5.10
10	03-Jul	1-01-3900-055	D	1.37	1.12	5375.4	5.26
11	03-Jul	1-01-3870-051	D	1.361	1.131	5620.6	5.16

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas



CAPÍTULO V

ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo evaluaremos los resultados en los registros de granulometría, esponjamiento, velocidad de detonación y registro de humos obtenidos en el capítulo anterior de manera que nos sirvan como información y punto de partida para comparar ambos explosivos y así sacar las conclusiones de la investigación.

Para iniciar el análisis e interpretación de los resultados de la Mezcla Explosiva Quantex en el Tajo Ferrobamaba tenemos que hacer necesariamente una comparación de los resultados en los proyectos de voladura entre esta Emulsion Gasificada y el Heavy Anfo para demostrar las ventajas técnicas y operativas que nos proporciona la Mezcla explosiva Quantex 73.

A continuación en la Tabla 5.1 observamos las ventajas técnicas y operativas que nos presentó la Mezcla explosiva Quantex 73 en comparación al Heavy Anfo durante todas pruebas realizadas en el tajo Ferrobamba – Las Bambas



Tabla 5.1: Comparación entre Heavy Anfo -55 y Mezcla Explosiva Quantex -73

CUADRO COMPARATIVO ENTRE HEAVY ANFO HA-55 Y LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73	
HEAVY ANFO 55	MEQ-73
<ul style="list-style-type: none"> VOD: 5200 a 5400 m/s 	<ul style="list-style-type: none"> VOD Variable según densidad para cada tipo de roca (en estas pruebas se determinó 1.14 gr/cc)llegando hasta los 5600 m/s
<ul style="list-style-type: none"> Densidad de Explosivo: 1.27 + 0.02 	<ul style="list-style-type: none"> Densidad final variable desde 1.14 gr/cc para mineral hasta 0.98 gr/cc para desmonte, según tipo de roca
<ul style="list-style-type: none"> Consumo de Petróleo: 0.6 % en la mezcla de ANFO 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de Petróleo: 0.3% en la mezcla de ANFO
<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de descarga 600-700 kg/min en vaceable y 350 kg/min en bombeable 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de descarga 630 kg/min en sistema vaceable 350 kg/min en bombeable
<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de carguío por taladro: 2 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de carguío por taladro: 1 minuto 15 segundos
<ul style="list-style-type: none"> Densidad de Carga Lineal: 98 kg/m para taladros de 12 ¼ “ 	<ul style="list-style-type: none"> Densidad de Carga Lineal: 93.9 kg/m en promedio para taladros 12 ¼ “
<ul style="list-style-type: none"> Carga por taladro: entre 973 kg/tal para mineral y 730 kg/tal para desmonte en taladros de 12 ¼” 	<ul style="list-style-type: none"> Carga por taladro: 939 Kg/tal para mineral y 665 kg/tal para desmonte en taladros de 12 ¼ “
<ul style="list-style-type: none"> Mayor factor de carga 	<ul style="list-style-type: none"> Menor factor de carga
<ul style="list-style-type: none"> Detonación violenta, mayor riesgo de Fly Rocks 	<ul style="list-style-type: none"> La MEQ73 no genera una detonación violenta por lo que se optimiza la energía utilizada
<ul style="list-style-type: none"> Mayor esponjamiento de la pila de escombros. 	<ul style="list-style-type: none"> Menor esponjamiento de la pila de escombros lo que hace que la pala no eleve totalmente
<ul style="list-style-type: none"> Mayor Vibración 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de Vibraciones, cuidado de taludes

Fuente: Propia

Además cabe resaltar también las ventajas técnicas y operativas de la Mezcla Explosiva Quantex en comparación con la Emulsión Gasificada Fortis Extra cuando se trata de taladros con presencia de agua como se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Comparación entre Fortis Extra y Mezcla Explosiva Quantex 73

CUADRO COMPARATIVO ENTRE FORTIS EXTRA Y LA MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX 73	
FORTIS EXTRA	MEQ73
<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de Gasificación / Esponjamiento 30 min 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de Gasificación / Esponjamiento 15 - 20 min (Mayor operatividad en campo)
<ul style="list-style-type: none"> Mezcla Explosiva de composición más fluida 	<ul style="list-style-type: none"> Mezcla explosiva más densa que no filtra por las fisuras de los taladros
<ul style="list-style-type: none"> Utiliza el 6% de Diesel 2 para su fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliza solo el 3% de Diesel 2 para su fabricación por contener un Nitrato de Amonio de alta densidad

Fuente: Propia



Después de revisar estas comparaciones técnicas, procederemos a analizar los datos de campo que nos da como resultado de este tema de investigación.

5.1 ANALISIS DE LA FRAGMENTACION OBTENIDA

Las voladuras consideradas para las pruebas en mineral fueron realizadas en zonas de roca Monzonitas Biotíticas y Skarn, obteniendo en su mayoría fragmentación de 3 a 4 pulgadas como se observa en el grafico 5.1 de P80 con un porcentaje de finos menor a 1 pulgadas de 30%, tabla 5.3

Sin embargo en la zona de desmonte, donde hay mayor presencia de mármoles con calcosilicatos, , se realizó el respectivo análisis de fragmentación en diferentes frentes donde obtuvimos un promedio de 6 pulgadas como se observa en el grafico 5.2 de P80 con un porcentaje de finos menor a 1 pulgada de 20%., tabla 5.4

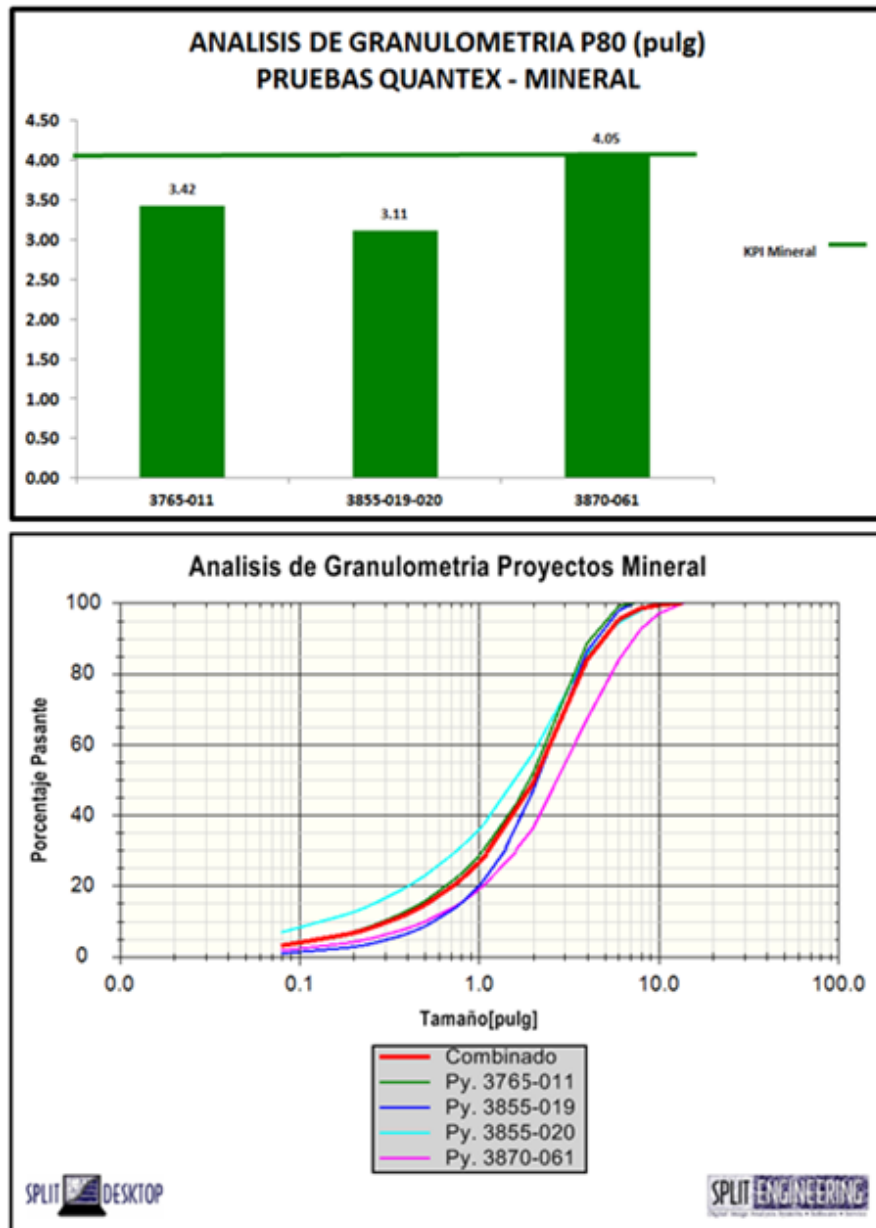
Los que se encuentran dentro del rango de los KPI de la mina.

Tabla 5.3: Análisis Granulométrico proyectos de Voladura en Mineral

ANALISIS DE GRANULOMETRIA PROYECTOS EN MINERAL			
FECHA	23-06-2016	02-07-2016	29-06-2016
EXPLOSIVO	MEQ-73	MEQ-73	MEQ-73
PROYECTO	011	019-020	061
NIVEL	3765	3855	3870
RESULTADOS			
P10	0.34”	0.27”	0.30”
P30	1.13”	0.96”	1.15”
P50	2.00”	1.69”	2.15”
P80	3.42”	3.11”	4.05”
P90	4.18”	4.08”	5.42”
TAMAÑO MAXIMO	8.00”	10.00”	10.00”
TAMAÑO MINIMO	0.08”	0.08”	0.08”
% FINOS <1 “	26.73%	31.24%	26.71%

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Grafico 5.1: Análisis de Granulometría P80 Pruebas (MEQ73) – Mineral



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

KPI P80 Mineral: 4.0 pulg

Interpretando las curvas granulométricas generadas por el Split Desktop en las fotos tomadas a lo largos del proceso de minado, se puede apreciar:

- El P-80 promedio encontrado en los proyecto de voladura en mineral: 3.68”
- El porcentaje de finos menor a 1 pulgada en mineral: 26.85%

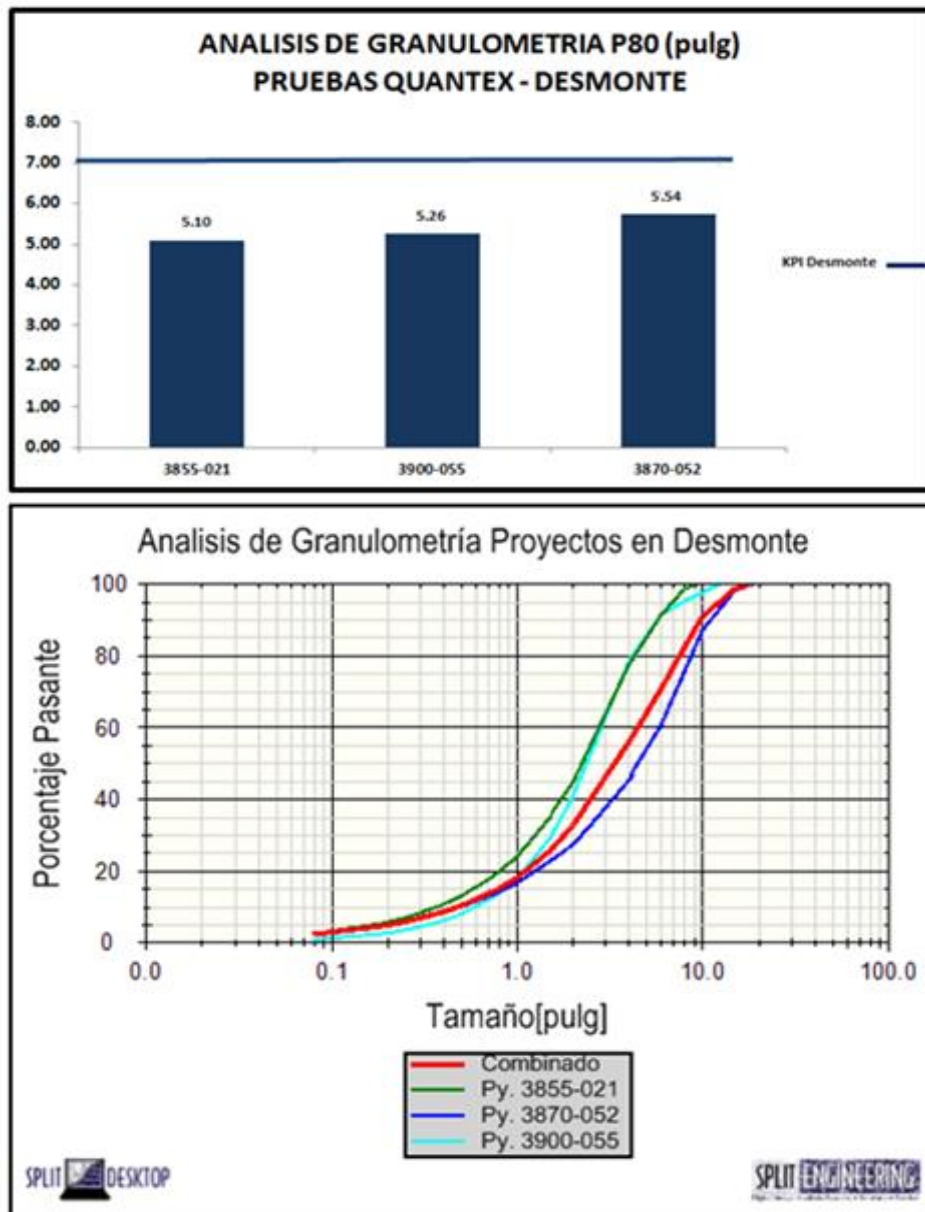


Tabla 5.4: Análisis Granulométrico proyectos de voladura en desmonte

ANALISIS DE GRANULOMETRIA PROYECTOS EN DESMONTE			
FECHA	02-07-2016	03-07-2016	02-07-2016
EXPLOSIVO	MEQ-73	MEQ-73	MEQ-73
PROYECTO	021	055	052
NIVEL	3855	3900	3870
RESULTADOS			
P10	0.38”	0.56”	0.36”
P30	1.42”	1.6”	1.38”
P50	2.66”	2.65”	2.73”
P80	5.10”	5.26”	5.54”
P90	6.58”	6.81”	6.70”
TAMAÑO MAXIMO	15.00”	10.00”	12.00”
TAMAÑO MINIMO	0.19”	0.08”	0.12”
% FINOS <1 “	22.45%	18.09%	21.25%

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Grafico 5.2: Análisis de Granulometría P80 Pruebas (MEQ73) – Desmante



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

KPI P80 Desmante: 7.0 pulg.

Interpretando las curvas granulométricas generadas por el Split Desktop en las fotos tomadas a lo largos del proceso de minado, se puede apreciar:

- El P-80 promedio encontrado en los proyecto de voladura en desmante: 5.76”
- El porcentaje de finos menor a 1 pulgada en desmante: 18.41%



De esta forma podemos concluir que los resultados de las voladuras en el tajo Ferrobamba con la Mezcla Explosiva Quantex fueron satisfactorios demostrando una mejora en la granulometría obtenida casi siempre por debajo de los estándares solicitados por la mina y demostrando así mejor rendimiento que el explosivo usado actualmente.

5.2 ANALISIS DE REGISTRO DE HUMOS EN EL TAJO FERROBAMBA

La presencia de Humos Pardos en los proyecto es un grave problema que afecta al medio ambiente como se observa en la figura 5.1.

Uno de los factores más importantes que tienen que ver en el reemplazo de la Mezcla Explosiva Quantex es su poca o casi nula generación de humos naranjas producto de su buen balance en su fabricación con solo el 3% de Diesel 2 demostrando ser amigable con el medio ambiente además de contribuir a no sobrepasar los estándares medio ambientales que nos da la OEFA también genera mayor confianza por parte de las comunidades cercanas a la Mina.

Figura 5.1: Presencia de Humos Naranjas con Heavy Anfo 55 – Jauapaylla Alta



Fuente: Propia



Resultado de Balance de Oxígeno del Explosivo

Se realizó el balance de oxígeno de las diferentes mezclas de Anfo pesado el cual se muestra en la Tabla 5.5. En el cual se observa que es un balance de oxígeno negativo.

Tabla 5.5. Balance de Oxígeno en las mezclas de Anfo pesado.

Agente	B.O. de cada agente (%)	B.O. de cada mezcla de ANFO PESADO (%)				
		HA-28	HA-37	HA-46	HA-55	HA-64
Nitrato de Amonio	+20					
Diésel 2	-348,2					
Emulsificante	-0,537	-1,236	-1,149	-1,061	-0,974	-0,887

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

En la tabla 5.6 se observa que la Mezcla Explosiva Quantex 73 tiene un balance de oxígeno negativo menor a las mezclas de Anfo pesado, debido a esto es menos probable la generación de gases nitrosos.

Tabla 5.6. Balance de Oxígeno de la Mezcla Explosiva Quantex 73

Componente	Fase Acuosa			Emulsificante	Fase Combustible
	Nitrato de Amonio	Nitrito de Sodio	Agua	Span-80	Aceite mineral
Fórmula	NH ₄ NO ₃	NaNO ₂	H ₂ O	C ₂₂ H ₄₄ O ₆	C ₁₂ H ₂₆
Proporción	0.797	0.0385	0.1	0.027	0.0375
W(gr/mol)	80.048	85.005	18.016	428.251	170.328
B.O. de la sustancia	20	47.1	0	-239.3	-348.2
B.O.	-1.765				

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Durante las pruebas se ha controlado adecuadamente los factores evitando la generación de cualquier tipo de gases, comprobándose en el registro de Humos en la tabla 5.5 a continuación.



REPORTE DE HUMOS PRUEBAS QUANTEX EXSA - 2016

Di de Disparo	Nivel	Proyecto	Nro taladros	kilos	Zona	Tipo de Mezcla	Densidad (gr/cm3)	Nro taladros con humos	% de Humos	Escala Nivel de Humos	Presencia de agua	Ubicacion de taladros con Humos Naranjas	Zona	Observaciones	Evidencia Fotografica
23/06/2016	3765	11	94	94,336	Jahuapaylla Baja	MEQ-73	1.36 (inicial) 1.15 (final)	0	0.00%	0	si	Todos los taladros del proyecto contiene agua		Se cargo con Mezcla Explosiva Quantex MEQ-73	
25/06/2016	3870	53	36	31,264	Minitajo	MEQ-73	1.373 (inicial) 1.153 (final)	0	0.00%	0	si	Todos los taladros del proyecto contiene agua		Se cargo con Mezcla Explosiva Quantex MEQ-73	
26/06/2016	3780	34	33	25,013	Jahuapaylla Baja	MEQ-73	1.373 (inicial) 1.153 (final)	0	0.00%	0	si	Lado Norte del perimetro del proyecto		Se cargo con Mezcla Explosiva Quantex MEQ-73	
29/06/2016	3870	61	56	51,380	Minitajo	MEQ-73	1.366 (inicial) 1.127 (final)	0	0.00%	0	26	No hubo presencia de Humos		Se cargo con Mezcla Explosiva Quantex MEQ-73	
02/07/2016	3855 y 3870	19-20, 21 y 52	111, 48 y 37	84351, 35986 y 29156	Minitajo	MEQ-73	1.36 (inicial) 1.13 (final)	0	0.00%	0	67	No hubo presencia de Humos		Se cargo con Mezcla Explosiva Quantex MEQ-73	
03/07/2016	3900	55	45	27,084	Cantera 01	MEQ-73	1.37 (inicial) 1.12 (final)	6	13.00%	2	12	perimetro del proyecto parte SE		Se cargo con Mezcla Explosiva Quantex MEQ-73 • Se desarrollaron gases en el último disparo según la escala clasificada en Tipo 2 tal evento está relacionado directamente al tipo de material rocoso presente en el proyecto, por lo mismo el aporte de EXSA radicará en ir desarrollando enfoques de carga considerando estas características geológicas & estructurales.	

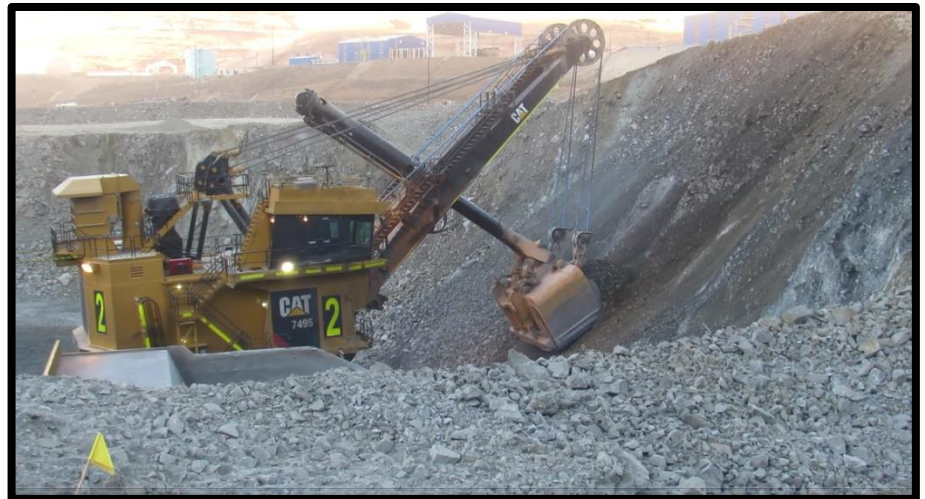
5.3 ANÁLISIS DE LA TAZA DE EXCAVACION (DIG-RATE)

El rendimiento de los equipos de carguío fue mejorando con las pruebas realizadas con la “Mezcla Explosiva Quantex” como se observa en las tablas 5.8, manteniéndose en un valor promedio de 8700 Tons/hr Superior a los 8500 tons/hr que venía realizando hasta la fecha.

Esto fue comprobado por medio de la información brindada por el Área de Dispatch y Planeamiento de MMG.

TIEMPO CARGUIO			TONELADA CARGADA
Min	Seg		Ton
2	13	50	306
1	47	18	300
1	41	3	289
2	6	37	312
2	17	97	320
2	1	91	305
1	56	19	320
2	17	29	315
2	7	85	317
2	9	66	313
2	5	25	300
2	22	90	323
2	2	50	297
2	9	56	299
2	16	18	310
2	30	19	332
2	0	16	285
2	6	72	314
2	1	16	313
2	18	66	306
1	50	69	304
1	46	56	307
2	14	91	315
2	28	70	314
2	25	0	298
1	36	90	312
2	7	3	319
2	11	76	315
1	44	18	293
51	584	1396	8953
1.02	HORAS		8953

Tabla 5.8: Rendimiento Promedio de Equipos de Carguío



Fuente: Área de Dispatch y Planeamiento MMG



Tabla 5.9: Dig-Rate de la Pala 2 en Minitajo del 25 de Junio al 2 de Julio

Fecha	Material M/D	Nivel	Proyecto	P80 Pulgadas	Velocidad de Excavación tonelada/hora	Material Minado tonelada
25 Junio	M	3870	053	3.64	8640	73809
29 Junio	M	3870	061	4.05	8359	118125
02 Julio	M	3855	019	3.47	8803	74382
02 Julio	M	3855	020	3.11	8953	98684
02 Julio	M	3855	018	3.23	8635	39205
				3.5	8678	80841

Fuente: Área de Dispatch y Planeamiento MMG

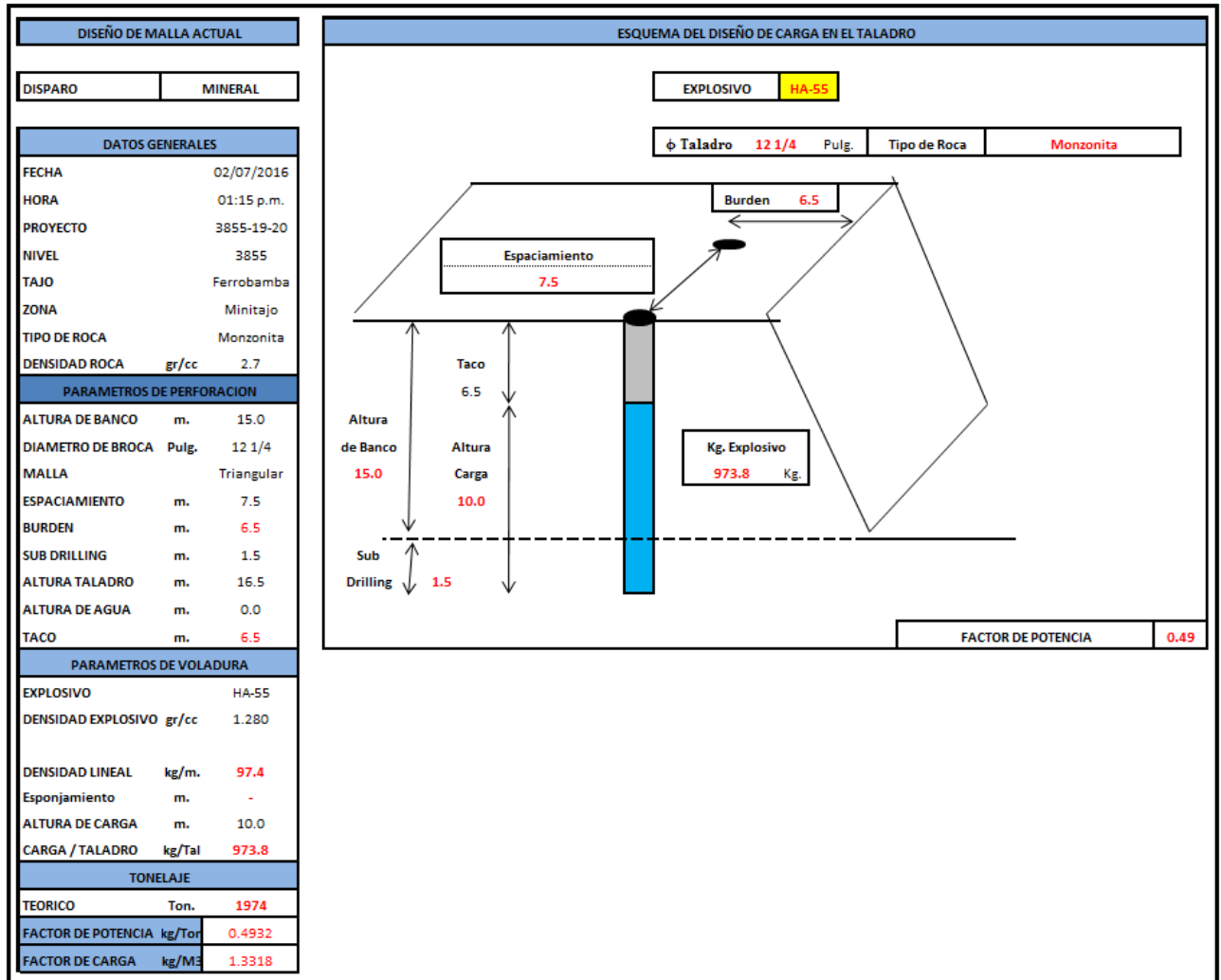
5.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS

Para realizar la proyección de costos entre la mezcla HA-55 y la Mezcla Explosiva Quantex 73 se toma como referencia los diseños de carga para cada mezcla explosiva, así como los precios de los agentes de voladura que se tienen en Las Bambas.

Para ello revisaremos los esquemas del diseño de carga en el taladro para voladura en mineral y en desmonte tanto con HA-55 como con la MEQ-73 de esta forma tomaremos parámetros de comparación importantes como es el factor de potencia, el factor de carga y la densidad lineal de carga para poder hacer una comparación final del costo total de ambos explosivos y el ahorro generado con la Mezcla Explosiva Quantex.

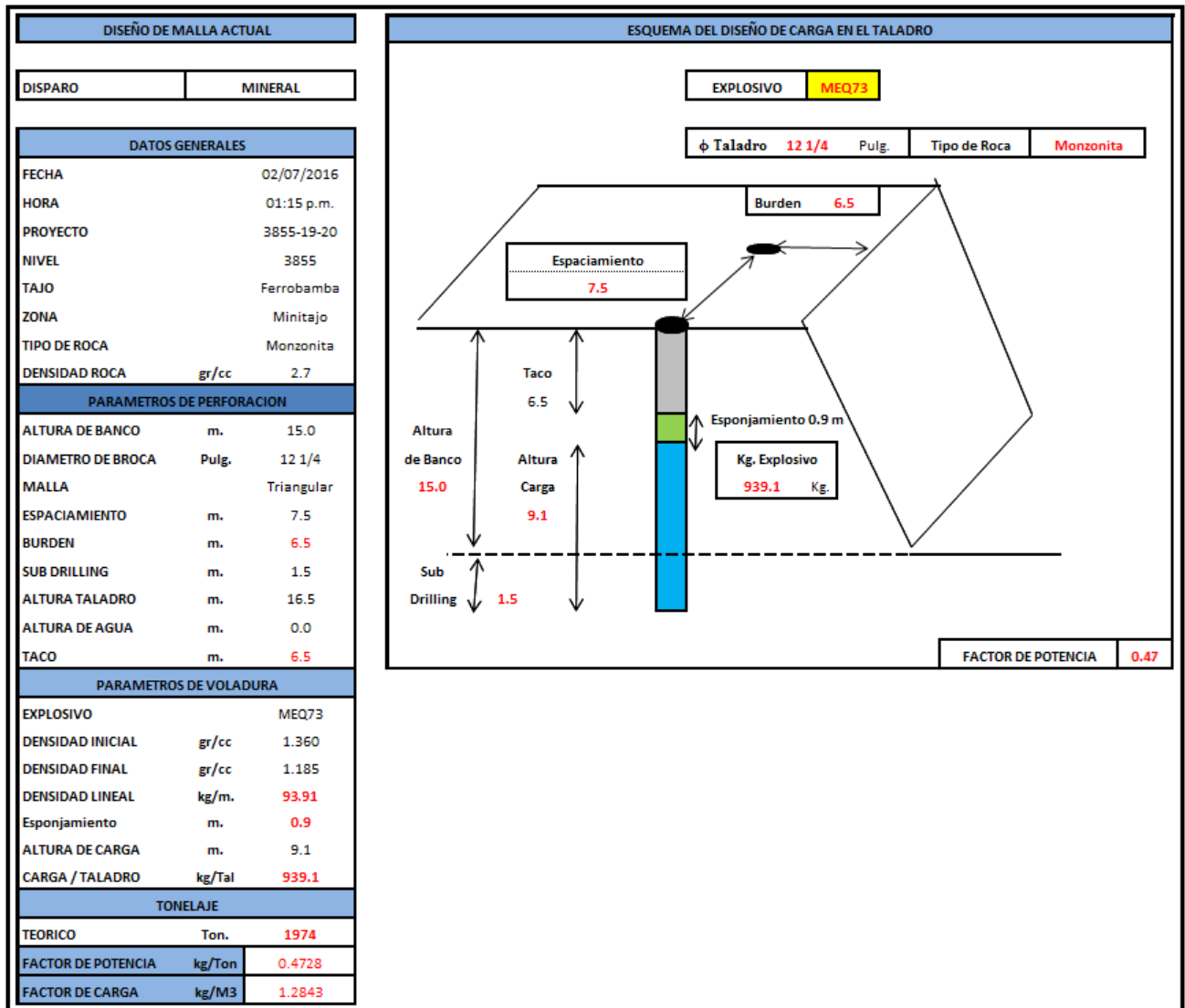
5.4.1 Análisis y Comparación de Costos en Mineral

Figura 5.2: Diseño de carga para Mineral con Heavy Anfo 55



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Figura 5.3: Diseño de carga para Mineral con Mezcla Explosiva Quantex 73



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas



Tabla 5.10: Costo unitario y Costo total de Heavy Anfo 55 y Mezcla Explosiva Quantex para Mineral

DENSIDAD DEL EXPLOSIVO			COSTO EXPLOSIVO			COSTO UNITARIO EXPLOSIVO USADO		
HA-55	gr/cc	1.28	NITRATO QUANTEX	\$/Ton	570	HA-55		
MEQ73	gr/cc	1.36	NITRATO CACHIMAYO	\$/Ton	600	HA-55	\$/Kg.	0.584
			EMULSION	\$/Ton	505.06	COSTO TOTAL de Explosivo / TON		
			DIESEL	\$/Gal	5.6	HA-55	\$/Ton	0.288
			ANFO CACHIMAYO	\$/Ton	663	COSTO UNITARIO EXPLOSIVO USADO		
			ANFO QUANTEX	\$/Ton	579	MEQ73		
						MEQ73	\$/Kg.	0.527
						COSTO TOTAL de Explosivo / TON		
						MEQ73	\$/Ton	0.251

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Tabla 5.11: Diferencia porcentual del costo entre Heavy Anfo 55 y Mezcla Explosiv Quantex 73 en Mineral

1.CARGA EXPLOSIVA				3. DISEÑO DE TALADRO	
Tipo		HA55	MEQ73	HA55/MEQ73	
Densidad Real	Inicial (gr/cc)	1.28	1.36	Diámetro (pulg)	12 ¼
	Final (gr/cc)	1.28	1.185	Altura de Taladro (m)	16.5
Altura de Carga (m)		10	10	Taco (m)	6.5
Altura de Carga sin esponjamiento (m)		10	9.1	Sobre Perforación (m)	1.5
Esponjamiento (m)		0.0	0.9	Burden (m)	6.5
Factor de Carga (kg/m3)		1.3318	1.2843	Espaciamiento (m)	7.5
Factor de Potencia (kg/Ton)		0.4932	0.4728	Densidad de la Roca (gr/cc)	2.7
Cantidad Lineal de Explosivo (kg/m)		97.4	93.91	Altura de Banco (m)	15
Cantidad de Explosivo (kg)		973.8	939.1	Volumen a Romper (BCM)	731.25
				Tonelaje a Romper (Tn/m3)	1974.37
2. COSTOS				DIFERENCIA PORCENTUAL	
Costo Unitario del Explosivo (\$/kg)		0.584	0.527	9.76 %	
Diferencia de Costos (\$/kg)		0.057			
Costo por Taladro (\$/Tal)		568.69	494.91	12.97 %	
Diferencia de Costos (\$/Tal)		73.78			
Costo por Tonelada (\$/Ton)		0.288	0.251	12.84 %	
Diferencia de Costos (\$/Ton)		0.037			
Costo por metro lineal (\$/m)		56.88	49.49	12.99 %	
Diferencia de Costos (\$/m)		7.39			

Fuente: Elaboración propia

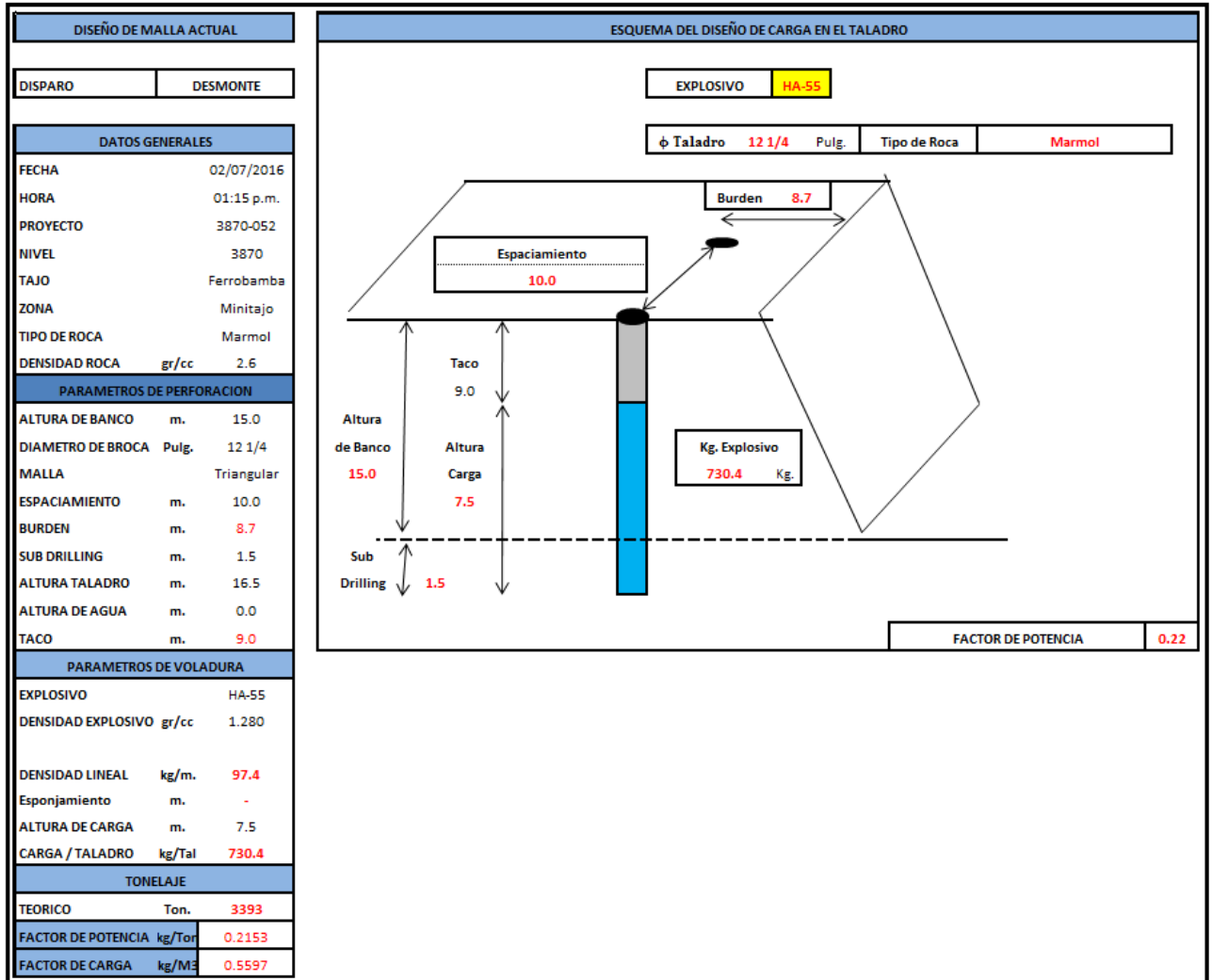


El factor de potencia con HA-55 es de 0.4932 kg/tn y para la MEQ73 es de 0.4728 kg/tn; y considerando una Monzonita de 2.7 gr/cc de densidad se obtuvo un factor de carga 1.3318 kg/m³ para el HA-55 y 1.2843 kg/m³ para sistema vaciable y 1.2612 kg/cc para sistema bombeable utilizando la MEQ73 generando una densidad de carga lineal de 97.4 kg/m para el HA55 y 93.91 kg/m para la MEQ73, lo que en costos se traduce en un ahorro del 12.97% por taladro como se observa en la tabla 5.11.

5.4.2 Análisis y comparación de Costos en Desmonte

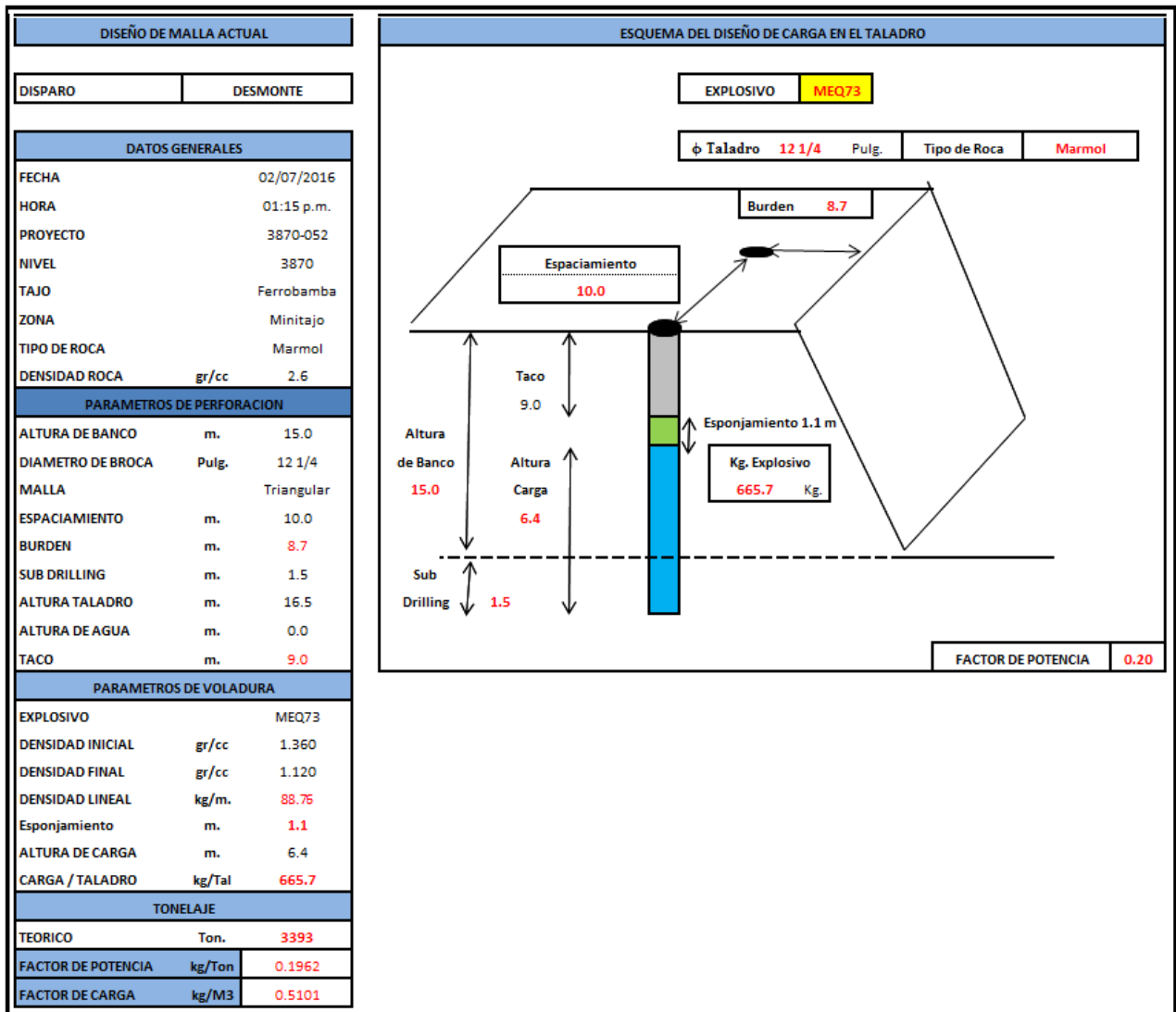
Teniendo en cuenta que el diseño de carga para el desmonte varía a diferencia del diseño de carga para mineral puesto que nuestro cliente a diferencia de la voladura en mineral no nos pide fragmentación con conminución óptima sino más bien una fragmentación regular que ayude como material de apilonamiento en los botaderos.

Figura 5.4: Diseño de carga para Desmorte con Heavy Anfo 55



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Figura 5.5: Diseño de carga para Desmonte con Mezcla Explosiva Quantex 73



Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas



Tabla 5.12: Costo unitario y Costo total de Heavy Anfo 55 y Mezcla Explosiva Quantex para Desmante

DENSIDAD DEL EXPLOSIVO			COSTO EXPLOSIVO			COSTO UNITARIO EXPLOSIVO USADO		
HA-55	gr/cc	1.28	NITRATO QUANTEX	\$/Ton	570	HA-55		
MEQ73	gr/cc	1.36	NITRATO CACHIMAYO	\$/Ton	600	HA-55	\$/Kg.	0.584
			EMULSION	\$/Ton	505.06	COSTO TOTAL de Explosivo / TON		
			DIESEL	\$/Gal	5.6	HA-55	\$/Ton	0.126
			ANFO CACHIMAYO	\$/Ton	663	COSTO UNITARIO EXPLOSIVO USADO		
			ANFO QUANTEX	\$/Ton	579	MEQ73		
						MEQ73	\$/Kg.	0.527
						COSTO TOTAL de Explosivo / TON		
						MEQ73	\$/Ton	0.103

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Tabla 5.13: Diferencia porcentual del costo entre Heavy Anfo 55 y Mezcla Explosiv Quantex 73 en Desmante

1. CARGA EXPLOSIVA				3. DISEÑO DE TALADRO	
Tipo		HA55	MEQ73	HA55/MEQ73	
Densidad Real	Inicial (gr/cc)	1.28	1.36	Diámetro (pulg)	12 ¼
	Final (gr/cc)	1.28	1.12	Altura de Taladro (m)	16.5
Altura de Carga (m)		7.5	7.5	Taco (m)	9
Altura de Carga sin esponjamiento (m)		7.5	6.4	Sobre Perforación (m)	1.5
Esponjamiento (m)		0.0	1.1	Burden (m)	8.7
Factor de Carga (kg/m ³)		0.5597	0.5101	Espaciamiento (m)	10
Factor de Potencia (kg/Ton)		0.2153	0.1962	Densidad de la Roca (gr/cc)	2.6
Cantidad Lineal de Explosivo (kg/m)		97.4	88.76	Altura de Banco (m)	15
Cantidad de Explosivo (kg)		730.4	665.7	Volumen a Romper (BCM)	1305
				Tonelaje a Romper (Tn/m ³)	3393
2. COSTOS				DIFERENCIA PORCENTUAL	
Costo Unitario del Explosivo (\$/kg)		0.584	0.527	9.76 %	
Diferencia de Costos (\$/kg)		0.057			
Costo por Taladro (\$/Tal)		426.55	350.82	17.75 %	
Diferencia de Costos (\$/Tal)		75.73			
Costo por Tonelada (\$/Ton)		0.125	0.103	17.65 %	
Diferencia de Costos (\$/Ton)		0.022			
Costo por metro lineal (\$/m)		56.88	46.77	17.77 %	
Diferencia de Costos (\$/m)		10.11			

Fuente: Elaboración propia



Para Desmorte el factor de potencia con HA-55 es de 0.2153 kg/tn y para la MEQ73 es de 0.1962 kg/tn; y considerando una Marmol de 2.6 gr/cc de densidad se obtuvo un factor de carga 0.5597 kg/m³ para el HA-55 y 0.5101 kg/m³ para sistema vaciable y 0.4988 kg/cc para sistema bombeable utilizando la MEQ73 generando una densidad de carga lineal de 97.4 kg/m para el HA55 y 88.76 kg/m para la MEQ73, lo que en costos se traduce en un ahorro del 17.75% por taladro como se observa en la tabla 5.13

5.5 RESUMEN DE COSTOS

Para concluir con este trabajo de investigación tenemos que desarrollar un resumen de los costos generados en base a la cantidad de explosivo utilizado en las pruebas de voladura y el ahorro generado en base al mejoramiento de la voladura en el Tajo Ferrobamba – MMG Las Bambas.

Para ello generamos la tabla en la que resumiremos el consumo de explosivo por proyecto de voladura y el consumo de general tomando en cuenta la cantidad de Emulsion, Nitrato de Amonio, Nitrito y petróleo podremos saber el costo por proyecto de voladura y el costo general del explosivo utilizado en todos los proyectos de voladura en el Tajo Ferrobamba.



Tabla 5.14: Consumo de explosivos para los Proyectos de Voladura realizados en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas

# V	Fecha	Lugar	Proyecto	Mezcla	Emulsión	Nitrato	Nitrito	Petróleo	TOTAL
					Kg	Kg	Kg	Gal	Kg
1	23-jun	Jahuapaylla Baja	3765-011	MEQ-73	66,035	27,452	330	264	94,336
2	25-jun	Minitajo	3870-053	MEQ-73	23,339	10,304	117	93	33,342
3	26-jun	Jahuapaylla Baja	3780-034	MEQ-73	18,964	8,400	95	76	27,091
4	29-jun	Minitajo	3870-061	MEQ-73	35,966	14,952	180	144	51,380
5	02-jul	Minitajo	3870-052	MEQ-73	20,409	8,484	102	82	29,156
6	02-jul	Minitajo	3855-019	MEQ-73	20,745	8,624	104	83	29,636
7	02-jul	Minitajo	3855-020	MEQ-73	32,749	13,614	164	131	46,784
8	02-jul	Minitajo	3855-018	MEQ-73	12,843	5,339	64	51	18,347
9	02-jul	Minitajo	3855-021	MEQ-73	25,192	10,473	126	101	35,988
10	03-jul	Cantera 01	3900-055	MEQ-73	18,959	7,881	95	76	27,084
11	05-jul	Minitajo	3870-051	MEQ-73	9,121	4,477	46	37	13,030
				CONSUMO	284,322	120,000	1,422	1,139	406,174

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

Con el consumo general de explosivos más la cantidad general de tonelaje roto obtendremos un factor de potencia general de 0.40 kg/Ton.

Tabla 5.15: Resumen Final Proyectos de Voladura realizados en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas

# Vol	Fecha	Lugar	Proyecto	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	MINERAL	94	94	6.0*7.0	MEQ-73	94,336	141,878	0.66
2	25-jun	Minitajo	1-01-3870-053	MINERAL	36	36	6.0*7.0	MEQ-73	33,342	73,809	0.45
3	26-jun	Jahuapaylla Baja	1-01-3780-034	MINERAL	35	33	6.0*7.0	MEQ-73	27,091	58,605	0.46
4	29-jun	Minitajo	1-01-3870-057	MINERAL	56	56	6.0*7.0	MEQ-73	51,380	118,125	0.43
5	02-jul	Minitajo	1-01-3870-052	DESMONT	37	37	8.7*10.0	MEQ-73	29,156	133,193	0.22
6	02-jul	Minitajo	1-01-3855-019	MINERAL	39	39	6.5*7.50	MEQ-73	29,636	74,382	0.40
7	02-jul	Minitajo	1-01-3855-020	MINERAL	51	51	6.5*7.50	MEQ-73	46,784	98,684	0.47
8	02-jul	Minitajo	1-01-3855-018	MINERAL	21	21	6.0*7.0	MEQ-73	18,347	39,205	0.47
9	02-jul	Minitajo	1-01-3855-021	DESMONT	48	48	8.7*10.0	MEQ-73	35,988	146,456	0.25
10	03-jul	Cantera 01	1-01-3900-055	DESMONT	45	45	8.7*10.0	MEQ-73	27,084	136,588	0.20
11	05-jul	Minitajo	1-01-3870-051	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

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas



Ahorro Generado

Durante la prueba se dispararon 11 proyectos los cuales generaron en total 1'025,866 toneladas rotas con un factor de potencia de 0.40 kg/ton y con un consumo total de explosivos de 406,174 kg.

Tabla 5.16: Costo por tonelada disparada en las Pruebas con Tecnología Quantex en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas

	ME QUANTEX
Costo de Explosivo (USD/Ton)	579
Toneladas Rotas	1,025,866
Consumo (Kg)	406,174
Costo Total (USD)	235,581
Costo por Tonelada Disparada (USD/Ton)	0.23

Fuente: Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas

A partir de esta información, se calculó que el costo por tonelada Disparada es de 0.23 USD/Ton.

Ahorro generado en los 11 proyectos de voladura:

- **(MEQ73)** 0.23 USD/Ton x 1'025,866 Toneladas Rotas = 235581 USD
- **(HA55)** 0.27 USD/Ton x 1'025,866 Toneladas Rotas = 276983 USD

Entonces el Ahorro generado en los 11 Proyectos de Voladura fue de **41402 USD**



CONCLUSIONES

1. El consumo total de la MEQ73, es de 406 174 kg, trabajando con un factor de potencia de 0.40 Kg/Ton. Generando un costo por tonelada disparada de 0.23 USD/Ton. Disparada, inferior a los 0.27 USD/Ton que genera el costo por tonelada disparada con el HA-55, lo que representa en un ahorro del 14.81%
2. Se realizadas 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 desmonte; logrando obtener un esponjamiento de 10 cm/m para mineral y 17 cm/m en desmonte.
3. Se demostró la efectividad de la MEQ73, ya que se obtuvo una buena fragmentación, la cual se refleja en el rendimiento de los equipos de carguío 8700 Ton/hr. superior a los 8500 Ton/hr que venía realizando hasta la fecha.
4. La VOD promedio registrada para densidades de 1.14 gr/cm³ fue de 5,600 m/s. alcanzando su velocidad régimen a una distancia de 0.5 metros del fondo del taladros y manteniendo su velocidad régimen en toda la columna explosiva. Este es un indicador del buen rendimiento y potencia del producto, además de demostrar el alto poder rompedor del explosivo.
5. Se debe mencionar que usando la MEQ73, no se generaron gases nitrosos, es debido a que en su formulación química el nitrógeno presente en la mezcla pasa a ser nitrógeno molecular (N₂) siendo este estable.



RECOMENDACIONES

1. Existen puntos críticos en el uso de la emulsión gasificable MEQ73, por lo que se recomienda constante monitoreo en el control de densidades, el tiempo de esponjamiento dentro del taladro, el porcentaje adecuado de inyección de nitrito de sodio y la calibración de camiones-fábrica, además de la mano de obra califica y debidamente capacitada.
2. Se recomienda programar calibraciones periódicas de camiones fabrica con el propósito de controlar la cantidad de Nitrato de Amonio, debido que al no tener un control adecuado, en la detonación puede existir un desbalance de oxigeno pudiendo generar la aparición de gases anaranjados.
3. Se recomienda siempre el uso de la voladura controlada para los limites finales del pit, aplicando densidades bajas en el diseño general de la columna explosiva de manera que genere menor presión de detonación, además de la utilización de los taladros buffer y de pre-corte con carga espaciada y desacoplada
4. Se recomienda en la medida de lo posible hacer uso de los fulminantes electrónicos en reemplazo de los pirotécnicos; ya que de esta manera se mejorara la iniciación de los disparos primarios minimizando la dispersión de los retardos, lo que influye significativamente en el resultado final de la voladura.



BIBLIOGRAFIA

LIBROS Y MANUALES

- Ames, V., & León, G. (2007). Tecnología de Explosivos (Segunda ed.). Lima.
- Cámara Minera del Perú (CAMIPER) (2016) Diplomado en Costos de Perforación y Voladura
- Carlos R. Franco Mendez (2013) Perforación y Voladura de Rocas
- Centro Tecnológico Minero (CETEMIN) (2016) Diseño de Voladura a Tajo Abierto 5ta edición
- ENAEX – Gerencia Técnica (2015) Manual de Tronadura
- EXSA (2011) Manual práctico de Voladura edición especial
- EXSA (2014) Manual práctico de Voladura
- EXSA (2016) Informe Preliminar con Tecnología Quantex – SIVE Las Bambas
- EXSA (2016) PETS Voladura Primaria en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas
- EXSA (2016) Portfolio técnico para Clientes
- Hernández Sampieri, Roberto (2014) Metodología de la Investigación (Sexta Edición) Mexico D.F.
- Konya, C., & Albarrán, E. (1998). *Diseño De Voladuras*. México D.F.: Ediciones Cuicatl.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermúdez, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: IGME.
- McKenzie, 11. (1995); “Tronadura para ingenieros “.
- Miranda A. y Diaz E. (2015) Diseño de Voladura de rocas



- Morhard, R. C. (1987). *Explosives and rock blasting*. Dallas, TX: Atlas Power Company.
- ORICA Mining Services – Servicio Técnico (2014) Voladuras seguras y eficientes en Minas a Rajo Abierto
- Romero Huerta, Jairo (2014) Estandares Operacionales en Perforación y Voladura
- Split Engineering LLC (2010) Manual Split Desktop

TRABAJOS DE TESIS

- Cayllahua Pilares, Elizabeth Lidia (2015) Implementación de pantallas Led Hypa Lume 20000 en el sistema de transporte del proyecto minero Las Bambas.
- Mauro Obando Oscar (2013) Reducción de costos en minería mediante la optimización de perforación y voladura
- Yuri Alberth Piñas Esteban (2007) Aplicación del principio de la velocidad pico partícula para minimizar el daño al macizo rocoso, utilizando energía electrónica – Yacimiento El Gigante – La Libertad

MEDIOS ELECTRONICOS

<https://es.scribd.com/document/354519106/tecnologia-QUANTEX-pdf>

<https://es.scribd.com/doc/51256016/Propiedades-de-los-explosivos>

<https://exsa.net/productos/quantex-73.php>

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/154/B2-M-18207.pdf?sequence=1>

<https://es.slideshare.net/romelvillanuevalujan/hdan-and-gasified-emulsion-blends-improving-blasting-at-peruvian-mines>

<http://www.lasbambas.com/como-operamos>





ANEXOS



ANEXO 01:

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO




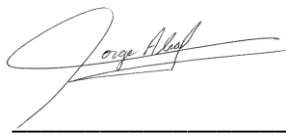
CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX



	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 1 de 16	

PROCEDIMIENTO

CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX

PRUEBAS CON TECNOLOGIA QUANTEX

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	AUTORIZADO POR:
Merardo Ramos	Julio Valerio Aguirre	Mario Manchego	Jorge Alva Fernández
Supervisor de Área	Ingeniero de Seguridad	Residente de obra	Jefe de Servicios a la Minería y Construcción
 <hr style="width: 100%;"/>	 <hr style="width: 100%;"/>	 <hr style="width: 100%;"/>	 <hr style="width: 100%;"/>

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 2 de 16	

1. Objetivo



Establecer correctamente el procedimiento para el carguío de taladros con la mezcla explosiva Quantex, reduciendo el riesgo de incidentes y accidentes para el personal, equipos, propiedad y medio ambiente durante su ejecución.

2. Alcance

Este procedimiento es aplicable para todos los colaboradores de EXSA S.A. Unidad productiva LAS BAMBAS. Asimismo debe ser conocido y respetado por todos los trabajadores que se encuentren en la zona de operaciones de LAS BAMBAS.

3. Responsabilidades

- a. **Ingeniero Residente.-** Es responsable de la elaboración, cumplimiento del presente procedimiento, proveer las condiciones adecuadas a los conductores para que realicen su tarea en forma segura y participar de las reuniones convocadas por el Dueño de contrato de Las Bambas.
 - b. **Ingeniero de asistencia técnica – Capataz. -** Son los responsables de la correcta ejecución del presente procedimiento, del control al inicio y durante el carguío para lograr las mezclas y desnidades adecuadas, de la implementación de controles efectivos para reducir el riesgo y de reportar los actos o condiciones insegura antes y durante la labor.
 - c. **Operador de camión mezclador:** Encargado de operar los Camiones Fábrica, verificar el buen estado de su equipo, llenar adecuadamente los reportes de carguío, alimentación de datos de carguío para emitir reporte de consumo diario, calibrar el sistema de control del camión fábrica radestar y Tread Bed del sistema vaciable y bombeable, revisar y hacer seguimiento del funcionamiento de la maquinaria y equipos, control del funcionamiento y estado del camión fábrica, apoyo logístico y administrativo de polvorines y llevar el control de los formatos de check list de los equipos a su cargo.
 - d. **Operador de carguío:** Encargado de realizar el carguío de explosivos con apoyo del camión mezclador y en coordinación permanente con el operador, deberá coordinar previamente con el ingeniero de asistencia técnica y/o residente, deberá cumplir con todas las indicaciones del presente procedimiento.
-



	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 3 de 16	

4. Definiciones

- **Accesorios de voladura:** Son los dispositivos o productos utilizados para cebar cargas explosivas, suministrar o transmitir una llama que inicie la explosión.
- **Agentes de voladura :** Son mezclas de combustibles y óxidantes, entre ellos tenemos los agentes explosivos secos como el ANFO y las emulsiones explosivas.
- **Booster:** Explosivo potente de alta densidad, velocidad y presión de detonación, usado para iniciar explosivos insensibles.
- **Camion mezclador:** Camión acondicionado con compartimientos separados para el transporte de agentes de voladura y utilizado para el carguío de taladros.
- **Camioneta Pick UP 4x4:** vehículo utilizado para el transporte de personal durante el tránsito en mina. También se cuenta con camionetas Pick Up 4x4 acondicionadas para el transporte de accesorios y explosivos.
- **Colaboradores.-** Son todos aquellos trabajadores que se encuentren entrenados, capacitados y cuenten con el carnet de SUCAMEC para el carguío de taladros
- **Conductor:** Persona capacitada y autorizada por la Gerencia de Riesgos y Protección Interna, para conducir un vehículo dentro del alcance de Las Bambas.
- **Exsanel:** Es un detonador no eléctrico, usado para iniciar de forma precisa y segura los explosivos sensible al detonador.
- **Incidente:** Suceso inesperado relacionado con el trabajo que puede o no resultar en daños a la salud. En el sentido más amplio, incidente involucra todo tipo de accidente de trabajo.
- **Nitrito de sodio:** Sal soluble en agua, utilizado como agente gasificante en la mezcla explosiva Quantex.
- **Taladros:** Huecos cilíndricos en la roca o mineral realizado por medios mecánicos.

5. Abreviaturas

- PETS .- Procedimiento Escrito de trabajo seguro
-

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 4 de 16	

- SUCAMEC.- Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil.
- SIVE.- Servicio integral de voladura EXSA
- AST.- Analisis de seguridad en el trabajo
- PETAR.- procedimiento escrito de Tareas de alto Riesgo

6. Equipos de Protección Personal



- a. EPP básico: Zapatos punta de acero, mameluco, chaleco, lentes, casco
- b. Guantes de cuero, hilo
- c. Orejeras de protección auditiva.
- d. Protector respiratorio de silicona con filtros para polvo
- e. Bloqueador Solar
- f. Arnés de cuerpo entero y linea de anclaje (Para trabajos sobre niveles mayores a 1.8m de altura)

7. Equipos / Herramientas / Materiales

- Equipos de bloqueo y señalización: cuñas, conos, triángulos.
- Equipos de comunicación: radio Handy, celular.
- Equipos de emergencia: Botiquín, extintor
- Kit emergencias (camiones mezclador, camionetas)
- Camioneta Pick Up 4X4
- Camión mezclador
- Wincha de lona de 50m
- Cuchilla de corte
- Cinta aislante
- Lampas
- Picos
- Estacas de numeración
- Pintura spray
- Sacos de polietileno

8. Documentos a Consultar

- D.S. 055-2010-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
 - Estándares y PETS de LAS BAMBAS
 - Estándares de EXSA
-

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 5 de 16	

9. Formatos

- a. REG-02-NOP-SIG-05-01 AST: Análisis de Seguridad en el Trabajo
- b. REG-01-NOP-LAS BAMBAS-14-00 Permiso de Trabajos en altura
- c. REG-02-E37-00 Check list de camioneta
- d. SVE-F-038 Check list de camión fabrica
- e. PER-F-016 Registro de inducción, capacitación y entrenamiento



10. Procedimiento de abastecimiento

10.1 Generalidades

Se deberá de hacer conocer el IPERC a los trabajadores como también el PETS en una reunión y registrarlo en el formato PER-F-016. Antes de iniciar las labores, los trabajadores deberán firmar el PETS dando conformidad y comprometiéndose a cumplir lo aquí indicado. Se realizará al inicio de cada labor una inspección del área de trabajo. Analizar y realizar el AST antes de cada tarea.

10.2 Consideraciones Especiales



- Inspeccione su área de trabajo antes, durante y después de finalizada la tarea.
 - Revise el estado de las herramientas y equipos a utilizar.
 - Utilice siempre su EPP básico y específico para la tarea a realizar.
 - Para iniciar la jornada laboral, el personal, vehículo/equipo y vías deben estar en buenas condiciones, asimismo,
 - Los implementos auxiliares de seguridad, y otros deben estar completos y en buenas condiciones de operatividad.
 - No deben poner en marcha el vehículo hasta que todos los ocupantes tengan puesto el cinturón de seguridad.
 - Los conductores conducirán solamente los vehículos para los que han sido autorizados.
-

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 6 de 16	

- Los conductores Nunca deben interponerse entre un vehículo escolta y el equipo escoltado.
- Los conductores deben informarse de los horarios y zonas de voladura.
- Los conductores deberán iniciar el proceso de renovación de su licencia por lo menos 15 días antes de su vencimiento.
- Los conductores tienen la obligación de respetar las señales de tránsito y velocidades seguras establecidas.
- Está prohibido llevar pasajeros en la tolva (camionetas) de pie (buses), asimismo está prohibido recoger pasajeros particulares.

10.3 Instrucciones de seguridad



- Realizar la reunión de seguridad (programa Yo aseguro – Charla del día)
 - Realizar el AST y permisos correspondientes de acuerdo a la actividad a realizar y los EPP correspondientes. (**NOP-02-Las Bambas-EPP**).
 - Al iniciar la jornada, efectuar detalladamente y registrar en el formato SVE-F-036, SVE-F-037 y SVE-F-038, según el tipo de vehículo (check list de camión grúa, camión mezclador y camionetas).
 - Aplicar las Normas Operativas: **NOP-22-10-Las Bambas-Tránsito de vehículos, NOP-MIN-04 Tránsito de Vehículos Área mina**
 - Para ingresar a polvorín deberá contar en todo momento con carnet de manipulador de explosivos (SUCAMEC), si conduce debe llevar consigo licencia de conducir según MTC para el tipo de vehículo que conduce y fotocheck con autorización de la Unidad Minera.
 - Deben tener autorización de la empresa Mandante (Protección interna de LAS BAMBAS).
 - Para ingreso a polvorines lo harán estrictamente personal designado de EXSA con carnet de SUCAMEC.
-

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 7 de 16	

- En caso que ingrese un visitante al polvorín, el Supervisor de EXSA, previamente coordinará con el Supervisor de la empresa mandante para su autorización.
- Tránsito para vehículos por vías de mina, debe ser autorizado y documentado por el área de Protección interna y Operaciones mina según estándar de LAS BAMBAS.
- Los conductores deben ser autorizados según: Curso y certificación otorgada por los proveedores de marcas de los vehículos a conducir (camiones mezcladores y grúa)
- Monitoreo de condiciones climáticas, comunicación con centro de control. **(NOP-Las Bambas-23 Tormentas Eléctricas).**
- Para los trabajos a más de 1.80 completar el PETAR correspondiente e inspeccionar sus respectivos equipos de protección anti-caídas: arnés y línea de vida **(NOP-14-Las Bambas- Trabajos en altura).**
- El personal deberá estar capacitado en Materiales peligrosos, lucha contra incendios, primeros auxilios y en el Plan de contingencias de EXSA.

10.4 Secuencia de la tarea

El siguiente cuadro es una descripción general del proceso de carguío de taladros con la mezcla explosiva Quantex, aquí se indican los riesgos más importantes de cada paso y los controles que deberán implementarse para eliminar o reducir el riesgo.

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 8 de 16	

Carguío de taladros con mezcla explosiva Quantex

N°	PASO A PASO	RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL
1.-	<p>Inspección de la unidad, debe contar con circulina encendida, luces encendidas, radio transmisor en frecuencia 6, pertiga de seguridad y letrero de identificación de la unidad. Todo trabajador que desee ingresar al área de mina deberá conocer el horario y zona donde se realizará la voladura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo en mal estado operacional - Accionamiento accidental del equipo. - Atropello - Impacto entre equipos y/o componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar la presencia de personas y equipos cercanos a sus alrededores. - Dar la vuelta del gallo alrededor del vehículo. - El conductor debe portar su licencia interna de operación y la Autorización de manejo en área operativa. - Realizar el mantenimiento preventivo del vehículo. - Control de fatiga y somnolencia. - Monitoreos de alcotest a los conductores.
2.-	<p>Camión mezclador en zona de carguío, El operador solicitará permiso al Ingeniero y/o capataz de voladura y será guiado en todo momento por el operador de carguío. NO estacionarse dentro de la malla, deberá hacerlo fuera en retroceso y en zona segura (a 10m del talud). En caso de presencia de otros equipos en la zona deberá solicitar permiso por radio. En taludes cercanos verificar la presencia de rocas sueltas o material inestable, si es el caso reportar al Ingeniero Residente o B1. Al estacionarse utilizar sus elementos de bloqueo (caja de cambios trabada, freno de parqueo, retirar la llave de contacto, colocar tacos y conos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo en mal estado operacional - Accionamiento accidental del equipo. - Atropello - Impacto entre equipos y/o componentes. - Accidente vehicular - Daños al equipo o a sus elementos - Riesgos ergonómicos. - Derrame de combustible. - Taludes inestables, deslizamiento de rocas 	<ul style="list-style-type: none"> - Detener la maniobra y reparar o reemplazar el equipo en mal estado. - Contar con el apoyo y guía del operador de carguío. - Comunicar al ingeniero de voladura inmediatamente en caso de anomalías en el proceso. - Desplazamiento a velocidades permitidas. - El operador no debe ingerir bebidas alcohólicas, calmantes, estimulantes u otra sustancia prohibida antes de operar. - Colocar tacos, conos y freno de emergencia cuando se requiera operar o evaluar a nivel de piso. - Colocar tacos y freno de emergencia cuando se realicen labores en pendiente pronunciada. - No abandonar el camión mezclador con el motor en marcha, excepto en incendios o emergencias. - Mantener siempre una distancia de 20m al equipo de perforación y delimitar con cinta de seguridad.



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX



LAS BAMBAS

Código del documento: LBB-PETS-003

Versión del documento: 01

Fecha de elaboración: Febrero 2016

Página 9 de 16

3.-	<p>Previo al carguio de taladros, el operador de camión mantiene comunicación por la frecuencia de mina (canal 1). Revisa el plano de carguío y el diseño de la carga establecido, verifica la densidad de la mezcla explosiva antes de cargar el primer taladro. Esta densidad será tomada aleatoriamente por el Ingeniero de Asistencia técnica de EXSA, para constatar la densidad correcta. Antes de iniciar el proceso de carguío, el operador del camión mezclador verterá los kilos necesarios fuera del primer taladro para verificar que la dosificación de la mezcla sea la requerida. El material vertido luego se echara sobre 1 metro del taco inerte del taladro para evitar ensuciar el proyecto.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Accidente vehicular- Atropello- Golpe en manos- Equipo en mal estado operacional.- Derrame del agente de voladura.- Contacto con agente de voladura.- Incendio- Caidas a nivel del piso	<ul style="list-style-type: none">- Mantener comunicación constante y contacto visual entre operador, Ingeniero y ayudante.- Uso correcto del EPP- Posicionar correctamente las manos.- Estar atento a movimientos inesperados.- Estar atento a las comunicaciones radiales.- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con lavajojos portatil.- Contar con una estación de emergencia.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos- Transitar por accesos seguros y estables.
4.-	<p>Carguío de taladros Cargue el brazo de descarga aproximadamente con 70 a 100 Kg de explosivo, dependiendo de las longitudes del brazo, resetear el totalizador de explosivos y proceder al carguío del taladro. La secuencia de carguío de taladros debe ser ordenada (carguío por filas), por ningún motivo el operador del camión mezclador cargará taladros sin la presencia y apoyo del operador de carguío (personal de piso). Tampoco está permitido que un operador de carguío (personal de piso) realice el winchado a dos camiones en simultaneo. El operador de carguío medirá la longitud de taco con la wincha, e indicará si se requiere aumentar la carga en el taladro cargado.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Golpe en manos- Corte en manos y/o dedos.- Riesgos ergonómicos.- Equipo en mal estado operacional.- Derrame del agente de voladura.- Contacto con agente de voladura.- Incendio- Caídas a nivel del piso	<ul style="list-style-type: none">- Mantener comunicación constante y contacto visual entre operador de camión y operador de carguío.- Uso correcto del EPP- Posicionar correctamente las manos.- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con lavajojos portatil.- Contar con una estación de emergencia.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX



LAS BAMBAS

Código del documento: LBB-PETS-003

Versión del documento: 01

Fecha de elaboración: Febrero 2016

Página 10 de 16

6.-	El operador del camión mezclador deberá tener en consideración la dosificación del petróleo (FO) cuando se fabrique la mezcla explosiva, reportar el % de paso analizado en el primer viaje aproximadamente en el segundo taladro de iniciado el carguío. En el caso de emplear mezcla aceite reciclado / petróleo este mantendrá un color característico (color gris)	<ul style="list-style-type: none">- Derrame de hidrocarburos.- Contacto con hidrocarburos.- Incendio	<ul style="list-style-type: none">- Uso correcto del EPP- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los hidrocarburos.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con lavajos portatil.- Contar con una estación de emergencia.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos
7.-	El operador del camión mezclador deberá tener en consideración la dosificación del nitrito de sodio , cuando se fabrique la mezcla explosiva, reportar el % de paso analizado en el primer viaje aproximadamente en el segundo taladro de iniciado el carguío.	<ul style="list-style-type: none">- Equipo en mal estado operacional.- Derrame del agente de voladura.- Contacto con agente de voladura.- Incendio	<ul style="list-style-type: none">- Uso correcto del EPP- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con lavajos portatil.- Contar con una estación de emergencia.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos
8.-	Para "soplar" o limpiar el brazo de descarga , cierre la llave de los inyectores para evitar derrames o contaminaciones en el piso.	<ul style="list-style-type: none">- Golpe en manos- Corte en manos y/o dedos.- Equipo en mal estado operacional.- Derrame del agente de voladura.- Contacto con agente de voladura.- Incendio	<ul style="list-style-type: none">- Mantener comunicación constante y contacto visual entre operador de camión y operador de carguío.- Uso correcto del EPP- No exponerse a la línea de fuego.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX



LAS BAMBAS

Código del documento: LBB-PETS-003

Versión del documento: 01

Fecha de elaboración: Febrero 2016

Página 11 de 16

9.-	<p>El camión mezclador nunca debe pasar sobre taladros cargados sin tapar, o taladros sin carga, NO pise los accesorios de voladura, salvo lo autorice el operador de carguío (personal de piso) quien guiará y enterrará los accesorios de voladura para protegerlos evitar que sean pisados y deteriorados.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Volcadura- Derrame de agentes de voladura- Atropello- Explosión- Equipo en mal estado operacional.- Contacto con agente de voladura.- Incendio	<ul style="list-style-type: none">- Verificar la presencia de taladros sin tapar cercanos a sus alrededores- Personal capacitado en Manipulación de explosivos.- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con lavaojos portatil.- Contar con una estación de emergencia.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos
10.-	<p>Las mangas plásticas de los brazos de descarga que dejen de emplearse por desgaste, deberán de ser eliminadas por contener restos de explosivos, cortándolas en pedazos pequeños y depositándolos en los taladros, antes de que estos sean tapados. NUNCA dejar sobre los taladros.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Derrame de agentes de voladura- Explosión- Contacto con agente de voladura.- Incendio- Corte en manos y dedos	<ul style="list-style-type: none">- Uso correcto del EPP- No exponerse a la línea de fuego.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos
11.-	<p>Todo taladro cargado deberá ser anotado en el reporte de carguío respectivo y verificado en el plano de la malla, individualizando el número de taladro que corresponda, altura, si tiene agua, cantidades de mezcla empleadas, número de boosters, exsaneles y cualquier observación que se presente en la malla. Si el operador del camión mezclador observa zonas de carguío de riesgo (cerca de crestas, taludes, etc.) comunique de inmediato al supervisor y/o Ingeniero de seguridad para el apoyo necesario. Todo exceso de carga en los taladros se registrará para los controles administrativos.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Volcadura- Atropello- Explosión- Derrame del agente de voladura.- Contacto con agente de voladura.- Incendio- Material expuesto a pérdida	<ul style="list-style-type: none">- Uso correcto del EPP- Personal capacitado en Manipulación de explosivos.- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con lavaojos portatil.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos.- Señalizar zonas de peligro: bordes de talud- Realizar el control de entrada y salida de los materiales consumibles (agentes y accesorios de voladura)



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX



LAS BAMBAS

Código del documento: LBB-PETS-003

Versión del documento: 01

Fecha de elaboración: Febrero 2016

Página 12 de 16

12.-	<p>Carguío de taladros con agua</p> <p>La manguera de descarga deberá estar marcada cada cierta distancia, con pintura de color, o cinta aislante, no con amarres (pueden jalar la línea descendente del exsanel).</p> <p>Cargar el brazo de descarga con el explosivo determinado, verterlo de manera vaciable a un taladro hasta obtener la dosificación adecuada.</p> <p>Lubricar la manguera de descarga con agua antes de iniciar el carguío. Añadir el porcentaje de nitrito adecuado para la mezcla explosiva Quantex.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Manipulación incorrecta de Materiales Peligrosos- Explosión- Derrame del agente de voladura.- Contacto con agente de voladura.- Incendio- Golpes	<ul style="list-style-type: none">- Uso correcto del EPP- Personal capacitado en Manipulación de explosivos y Matpel.- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura, pintura, nitrito de sodio.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Contar con lavaojos portatil.- Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos.- Señalizar y restringir el paso en el área de trabajos.- Personal con licencia SUCAMEC y conocimientos en Seguridad con explosivos.
13.-	<p>Ubicar el brazo de descarga en su descanso para iniciar el proceso de bombeo, además que se verifique la dosificación por gravedad en un taladro seco antes de iniciar el proceso.</p> <p>Cargar agua a la tina y bombear más aire para limpiar y lubricar la manguera de descarga.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Derrame del agente de voladura.- Contacto con agente de voladura y agua- Golpes- Caída a nivel	<ul style="list-style-type: none">- Uso correcto del EPP- Personal capacitado en Manipulación de explosivos y Matpel.- No exponerse a la línea de fuego- Mantener el orden y la limpieza en todo momento.- Revisar las hojas MSDS de los agentes de voladura, pintura, nitrito de sodio.- Contar con un kit para manejo de derrames.- Señalizar y restringir el paso en el área de trabajos.- Personal con licencia SUCAMEC y conocimientos en Seguridad con explosivos.



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX



LAS BAMBAS

Código del documento: LBB-PETS-003

Versión del documento: 01

Fecha de elaboración: Febrero 2016

Página **13** de **16**

<p>14.-</p>	<p>Regular el paso de rotación del carrete para que se enrolle automáticamente a una velocidad que permita el tiempo adecuado de reposo del explosivo y que desplace el agua evitando atraparla en su interior (afecta la energía y rendimiento del explosivo). Revise siempre los controles de seguridad, relojes de presión, presión en la manguera, sellos, mandos, etc. Recuerde no exceder los 150 PSI de presión, puede romper el sello de seguridad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Operación incorrecta - Explosión - Derrame del explosivo - Contacto con explosivo - Incendio - Golpes - Fugas de agua, aire - Contacto con fluidos a presión - Atrapamiento de extremidades. - Equipo en mal estado operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso correcto del EPP - Personal capacitado y autorizado en operación de camión mezclador.. - Personal capacitado en Manipulación de explosivos. - Revisar las hojas MSDS de los explosivos. - Contar con un kit para manejo de derrames. - Contar con lavaojos portatil. - Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos. - Señalizar y restringir el paso en el área de trabajos. - Mantener comunicación constante y contacto visual entre operador de camión y operador de carguío. - No exponerse a la linea de fuego. - Realizar el check list de equipo
<p>15.-</p>	<p>Posicionar la manguera de descarga al fondo del taladro y subirla medio metro del fondo para iniciar el bombeo del explosivo. La dosificación explosiva e inyección de agua a la mezcla debe ser de ½ hasta 2.0 galones por minuto, considerándola como lubricante entre la mezcla y la manguera. NUNCA exceda las presiones de bombeo establecidas por el fabricante. NUNCA trabaje las bombas en vacío, esta práctica inadecuada eleva la temperatura y es muy peligroso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Operación incorrecta - Explosión - Derrame del explosivo - Contacto con explosivo - Incendio - Golpes - Fugas de agua - Contacto con fluidos a presión - Equipo en mal estado operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso correcto del EPP - Personal capacitado y autorizado en operación de camión mezclador.. - Personal capacitado en Manipulación de explosivos. - Revisar las hojas MSDS de los explosivos. - Contar con un kit para manejo de derrames. - Contar con lavaojos portatil. - Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos. - No exponerse a la linea de fuego. - Realizar el check list de equipo



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX



LAS BAMBAS



Código del documento: LBB-PETS-003

Versión del documento: 01

Fecha de elaboración: Febrero 2016

Página **14** de **16**

<p>16.-</p>	<p>Al finalizar calcule el espacio de altura del taladro adecuada para completar con la carga de soplado de la manguera y evitar derrames en el terreno, limpie con agua y aire hasta estar seguro de una limpieza eficiente. Finalizada la labor "limpie" el sistema de bombeo y manguera de descarga para evitar obstrucciones. La tina siempre debe estar con agua para diluir la carga "seca" que pudiera caer del brazo de descarga.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Operación incorrecta - Derrame del explosivo - Contacto con explosivo - Golpes - Fugas de agua y aire - Contacto con fluidos a presión - Equipo en mal estado operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso correcto del EPP - Personal capacitado y autorizado en operación de camión mezclador.. - Personal capacitado en Manipulación de explosivos. - Revisar las hojas MSDS de los explosivos. - Contar con un kit para manejo de derrames. - Contar con lavaojos portatil. - No exponerse a la linea de fuego. - Realizar el check list de equipo
<p>17.-</p>	<p>Desobturación por la parte superior de las tolvas (compartimientos) del Agente: Solicite apoyo, comunique y coordine con el Ingeniero de EXSA Asegure el vehículo, <u>si está solo</u> (apague el vehículo, aplique freno de emergencia y coloque cuñas); <u>si tiene apoyo de otro colaborador</u>, permanezca en la cabina con freno de parqueo activado, desencroche el sistema del módulo y coordine acciones. Mientras este el personal sobre la tolva del camión, preferentemente no accionar el sistema de carguío de taladros, de ser necesario coordine la labor. Use tubo de material anti chispa para la actividad Trate de evitar llegar al eje principal con el tubo para evitar atascamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caídas a desnivel. - Contacto con agentes de voladura - Equipo anticaidas (arnés y línea de anclaje) defectuoso o mal utilizado. - Accesos obstruidos. - Golpe en manos - Caída de objetos de altura. - Equipo en mal estado operacional. - Accionamiento accidental del equipo. - Explosión - Incendio 	<ul style="list-style-type: none"> - Contar con el PETAR firmado de trabajos en altura. - No subir ni bajar si el camión está en movimiento. - Verificar previamente la escalera - Usar arnés y línea de anclaje enganchada en la línea de vida del camión mezclador. - Revisar las hojas MSDS de los explosivos. - Verificar previamente el equipo anticaidas y completar el formato de inspección respectivo. - Subir y bajar por la escalera utilizando siempre los tres (03) puntos de apoyo. - Realizar orden y limpieza del área en todo momento. - Posicionar correctamente las manos. - Utilizar una cuerda de servicio para alcanzar objetos hacia la parte alta. - Contar con una estación de emergencia. - Posiciónese corporalmente seguro para evitar daños personales. - Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 15 de 16	



18.-	<p>Desobstrucción por compuerta del eje principal:</p> <p>Solicite apoyo, comunique y coordine con el Ingeniero de EXSA</p> <p>Lidera la labor el operador del camión mezclador</p> <p>Asegure el vehículo con freno de emergencia activado y tacos.</p> <p>Libere la carga de los brazos vertical y de descarga</p> <p>Considere la labor manual desde los mandos externos o de la cabina</p> <p>Abra el seguro y levante la tapa</p> <p>Observe la rotación del eje principal o alimentador</p> <p>De ser necesario la limpieza de la zona, utilice un elemento de madera.</p> <p>Nunca introduzca la mano</p> <p>Finalizada la labor: cierre la tapa, coloque seguro y limpie la zona</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Operación incorrecta - Explosión - Derrame del explosivo - Contacto con explosivo - Golpes - Fugas de agua, aire - Atrapamiento de extremidades. - Equipo en mal estado operacional. - Accionamiento accidental del equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso correcto del EPP - Personal capacitado y autorizado en operación de camión mezclador.. - Personal capacitado en Manipulación de explosivos. - Revisar las hojas MSDS de los explosivos. - Contar con un kit para manejo de derrames. - Contar con lavaojos portatil. - Contar con extintores e hidrantes en planta y equipos. - Señalizar y restringir el paso en el área de trabajos. - Mantener comunicación constante y contacto visual entre operador de camión y operador de carguío. - No exponerse a la linea de fuego. - Realizar el check list de equipo
------	---	---	---

11. Emergencias mecánicas, salud, seguridad y Medio ambiente

- En eventualidades de riesgo o mecánicas comunicarse inmediatamente con el ingeniero Residente, de seguridad, asistencia técnica, o la administración de EXSA
- Aplicar planes de emergencia, contingencia de EXSA, aprobados por Las Bambas.
- Ubicar al vehículo en zonas seguras, previamente evaluadas por usted, no asuma condiciones seguras sin verificar el área o zona, de ser necesario solicite apoyo visual.

12. Restricciones, Lineamientos y/o Consideraciones

- Solamente personal entrenado, capacitado y autorizado realiza la operación del camión mezclador.
- En climas adversos (lluvia, vientos fuertes y neblina densa), comunique de inmediato al Ingeniero de EXSA y paralice dicha tarea.

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	CARGUIO DE TALADROS CON MEZCLA EXPLOSIVA QUANTEX		
	Código del documento: LBB-PETS-003	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 16 de 16	



- Detenga toda actividad si algún: equipo, vehículo, herramienta presenta condiciones sub estándares que ponga en riesgo la integridad personal o de los equipos/vehículos.
 - Verificar los elementos de seguridad de las bombas; no realice labores si están en condiciones sub- estándares.
 - No usar celular durante la conducción u operación de vehículos y equipos, paralice toda acción y haga uso del equipo.
 - Si siente fatiga y somnolencia, comunicar al supervisor.
 - Comunicar al supervisor cualquier malestar corporal, NO auto medicarse y tener en cuenta siempre las prescripciones médicas y/o medicamentos no recomendados por las áreas responsables de EXSA y empresa mandante.
 - No iniciar, ni utilizar fuego.
 - Radio musical apagada durante este proceso.
-



ANEXO 02:

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO




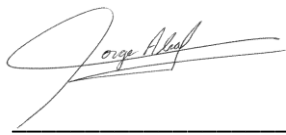
MEDICION DE DENSIDADES DE LA MEZCLA EXPLOSIVA



	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION		
	Código del documento: LBB-PETS-013	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 1 de 8	

PROCEDIMIENTO

MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION

PRUEBAS CON TECNOLOGIA QUANTEX

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	AUTORIZADO POR:
Merardo Ramos	Julio Valerio Aguirre	Mario Manchego	Jorge Alva Fernández
Supervisor de Área	Ingeniero de Seguridad	Residente de obra	Jefe de Servicios a la Minería y Construcción
 <hr/>	 <hr/>	 <hr/>	 <hr/>

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION		
	Código del documento: LBB-PETS-013	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 2 de 8	

1. Objetivo

Establecer practicas seguras de trabajo para obtener el registro de la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, reduciendo el riesgo de incidentes y accidentes para el personal, equipos, propiedad y medio ambiente durante su ejecución.

2. Alcance



Se aplica a los supervisores de asistencia técnica y debe ser respetado por todos los trabajadores.

3. Responsabilidades

- a. **Ingeniero Residente.-** Es responsable de la elaboración, cumplimiento del presente procedimiento, proveer las condiciones adecuadas a los colaboradores para que realicen su tarea en forma segura y participar de las reuniones convocadas por el Dueño de contrato de Las Bambas.
- b. **Ingeniero de asistencia técnica – Capataz.** - Son los responsables de la correcta ejecución del presente procedimiento, del control al inicio y durante el carguío para lograr las mezclas y densidades adecuadas, de la implementación de controles efectivos para reducir el riesgo y de reportar los actos o condiciones inseguras antes y durante la labor.
- c. **Operador de carguío:** Encargado de realizar el carguío de explosivos con apoyo del camión mezclador y en coordinación permanente con el operador, deberá coordinar previamente con el ingeniero de asistencia técnica y/o residente, deberá cumplir con todas las indicaciones del presente procedimiento.

4. Definiciones

- **Cable resistivo:** cable de cobre de alta pureza que sirve para transmitir
 - **Calibración:** es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).
 - **Cortocircuito.** Aumento brusco de intensidad en la corriente eléctrica de una instalación por la unión directa de dos conductores de distinta fase.
 - **Disparo.** hacer que un taladro cargado despidiera su carga
 - **Explosivos:** sustancias que por alguna causa externa se transforma en gases; liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve.
 - **Malla de perforación:** Son líneas de pintura cuadrículadas ya pre-calculado, que se marca en un frente para guiar al perforista.
-

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION		
	Código del documento: LBB-PETS-013	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 3 de 8	

- **Memoria USB:** es un tipo de dispositivo de almacenamiento de datos que utiliza memoria flash para guardar datos e información.
- **Onda expansiva:** es una onda de presión abrupta producida por un objeto que viaja más rápido que la velocidad del sonido y produce presión extrema y aumento de la temperatura.
- **Taco:** tapón de material inerte, generalmente tierra o arena sin piedras, que se utilizar para tapar un taladro.
- **Taladro:** Huecos cilíndricos en la roca o mineral realizado por medios mecánicos.
- **Velocidad de detonación VOD:** Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, se expresa en metros por segundo. Esta propiedad depende de la densidad del explosivo, de sus componentes, tamaño de las partículas y grado de confinamiento.

5. Abreviaturas



- PETS .- Procedimiento Escrito de trabajo seguro
- SUCAMEC.- Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil.
- SIVE.- Servicio voladura integral de EXSA
- AST.- Analisis de seguridad en el trabajo
- VOD.- Velocity of detonation

6. Equipos de Protección Personal

- EPP básico: Zapatos punta de acero, mameluco con cintas reflectivas, chaleco, lentes, casco
- Guantes de cuero, neopreno y/o nitrilo
- Protector respiratorio de silicona con filtros para polvo
- Bloqueador Solar

7. Equipos / Herramientas / Materiales

- Monitor Microtrap
 - Cable Resistivo (10.8 Ohmios/m.)
 - Cable Coaxial R-59
 - Multitester
 - Alicata de corte y cuchilla
 - Cinta aislante
-

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION		
	Código del documento: LBB-PETS-013	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 4 de 8	

- Caja metálica de protección del monitor Microtrap
- Lampa
- Conos, cintas de señalización.
- Radio Handy, celular.

8. Documentos a Consultar

- D.S. 055-2010-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Estándares y PETS de LAS BAMBAS
- Estándares de EXSA

9. Formatos

- a. REG-02-NOP-SIG-05-01 AST: Análisis de Seguridad en el Trabajo
- b. SVE-F-052 Registro de mediciones VOD
- c. PER-F-016 Registro de inducción, capacitación y entrenamiento



10. Procedimiento de medición

10.1 Generalidades

Se deberá de hacer conocer el IPERC a los trabajadores como también el PETS en una reunión y registrarlo en el formato PER-F-016. Antes de iniciar las labores, los trabajadores deberán firmar el PETS dando conformidad y comprometiéndose a cumplir lo aquí indicado. Se realizará al inicio de cada labor una inspección del área de trabajo. Analizar y realizar el AST antes de cada tarea. Realizar el PETAR para trabajos de alto riesgo cuando sea necesario. Luego el supervisor impartirá las indicaciones para el abastecimiento de los agentes de voladura según la programación de los proyectos a cargas.

10.2 Consideraciones Especiales

- Se le comunica al supervisor de voladura de HUDBAY (B1), que se realizará la medición de VOD para su conocimiento y aprobación.
- Se comunica al operador de camión mezclador y al blaster la ubicación del taladro donde se realizará la prueba, para el apoyo respectivo.
- Elaborar sus respectivos registros de Pre uso, ATS, PETAR; todos los documentos debidamente firmados por los involucrados.



	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION		
	Código del documento: LBB-PETS-013	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 5 de 8	

10.3 Instrucciones de seguridad

- Realizar la reunión de seguridad (programa Yo aseguro – Charla del día)
- Realizar el AST y permisos correspondientes de acuerdo a la actividad a realizar y los EPP correspondientes. **(NOP-02-Las Bambas-EPP)**.
- Limpie y ordene su área de trabajo antes durante y después de cada labor. **(NOP- 03 –Las Bambas-Orden y Limpieza)**.
- El supervisor de turno deberá estar presente durante la tarea. Reporte a su supervisor cualquier anomalía.
- No utilice equipos o herramientas dañadas. **(NOP-32-Las Bambas-Inspecciones de Herramientas)**.
- Monitoreo de condiciones climáticas, comunicación con centro de control. **(NOP-Las Bambas-23 Tormentas Eléctricas)**
- El personal deberá estar capacitado en Materiales peligrosos, lucha contra incendios, primeros auxilios y en el Plan de contingencias de EXSA.
- El personal deberá contar con el carnet vigente de manipulador de explosivos (SUCAMEC).

10.4 Secuencia de la tarea

El siguiente cuadro es una descripción general del proceso de medición de la velocidad de detonación en campo, aquí se indican los riesgos más importantes de cada paso y los controles que deberán implementarse para eliminar o reducir el riesgo.

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION		
	Código del documento: LBB-PETS-013	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 6 de 8	

Medición de la Velocidad de detonación

N°	PASO A PASO	RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL
1.-	<p>Pre uso de equipos y herramientas Inspección de todos los equipos a utilizarse antes de emprender la tarea, estos deben estar cargados, la memoria debe estar vacía para guardar los datos registrados y deben estar calibrados. Separar los taladros para realizar la medición, se recomienda que estos deben de ser los primeros o los últimos de la secuencia de salida de la malla y necesariamente en taladros sin agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Golpes casuales - Golpes en manos - Caidas a nivel del piso - Contacto con herramientas manuales 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso correcto del EPP - Posicionar correctamente las manos. - Mantener el orden y la limpieza en todo momento. - Inspeccionar las herramientas y equipos, que se encuentren en buen estado y sean adecuados. - Solo personal autorizado, capacitado en la tarea y con carnet de SUCAMEC.
2.-	<p>Se realiza el cortocircuitado en un extremo del cable resistivo, luego se procede a aislar con la cinta aislante. Se introduce el iniciador o prima adherido con la cinta aislante el extremo cortocircuitado del cable resistivo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Incrustaciones, cortes con cable metalico - Golpes en manos - Caidas a nivel del piso - Contacto con herramientas manuales - Explosión fortuita 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso correcto del EPP - Posicionar correctamente las manos. - Mantener el orden y la limpieza en todo momento. - Inspeccionar las herramientas y equipos, que se encuentren en buen estado y sean adecuados. - Solo personal autorizado, capacitado en la tarea y con carnet de SUCAMEC. - Conocimientos en seguridad con explosivos.



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION



LAS BAMBAS



Código del documento: LBB-PETS-013

Versión del documento: 01

Fecha de elaboración: Febrero 2016

Página **7** de **8**

<p>3.-</p>	<p>Se procede a cargar el taladro, posteriormente se llena el taco con mucho cuidado sin dañar el cable resistivo. El carguío del taladro debe de ser de preferencia el mismo día del disparo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Golpes en manos - Caidas a nivel del piso - Contacto con herramientas manuales - Explosión fortuita - Clima adverso - Tormentas eléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> - Posicionar correctamente las manos. - Mantener el orden y la limpieza en todo momento. - Inspeccionar las herramientas y equipos, que se encuentren en buen estado y sean adecuados. - Solo personal autorizado, capacitado en la tarea y con carnet de SUCAMEC. - Conocimientos en seguridad con explosivos. - Paralizar las actividades en condiciones de lluvia, nevada, neblina y reprogramar el proceso de carguío de taladros. - Paralizar las actividades en alerta roja, buscar refugio inmediato
<p>4.-</p>	<p>Se verifica con el multiterster la continuidad del cable resistivo. Se une el cable resistivo con el cable coaxial (debe verificarse que este en perfecto estado y debe tener continuidad). Con la ayuda de la lampa cubrir el cable resistivo que sale del taladro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Incrustaciones, cortes con cable metalico - Golpes en manos - Caidas a nivel del piso - Contacto con herramientas manuales - Explosión fortuita 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso correcto del EPP - Posicionar correctamente las manos. - Mantener el orden y la limpieza en todo momento. - Inspeccionar las herramientas y equipos, que se encuentren en buen estado y sean adecuados. - Solo personal autorizado, capacitado en la tarea y con carnet de SUCAMEC. - Conocimientos en seguridad con explosivos.
<p>5.-</p>	<p>Se debe aplicar un buen criterio de ubicación para el Monitor Microtrap, pues este debe de estar en zona segura fuera del alcance de alguna proyección de la voladura o circulación de equipos en la zona. Se instala el equipo Microtrap, uniendo éste y el cable coaxial N° 58. Se activa el equipo, se cubre con la caja metálica, señalizamos con conos y cintas y se evacua a un lugar seguro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proyección de particulas - Atropello - Fallas en los sistemas de comunicación - Daños al equipo 	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplir con el protocolo de voladura, conocer fecha, hora y lugar. - seguir las indicaciones de los vigías de voladura. - Señalizar el área de trabajo - No ubicarse en una vía o acceso - Usar correctamente el EPP - Colocar la caja metalica correctamente, cuidando que no quede expuesto alguna parte del equipo - Contar con medios de comunicación efectivas - Estar atento a la comunicacion

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		 LAS BAMBAS
	MEDICION DE VELOCIDAD DE DETONACION		
	Código del documento: LBB-PETS-013	Versión del documento: 01	
	Fecha de elaboración: Febrero 2016	Página 8 de 8	

6.-	<p>Culminado el proceso de voladura, ingresar al área, apagar el equipo y posteriormente realizar el análisis.</p> <p>Con la ayuda del software Mrel se analiza el dato registrado y la información obtenida se registra en el formato SVE-F-052.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Inhalación de polvo y humos - Ingreso de personal no autorizado - Caídas a nivel - Daños al equipo 	<ul style="list-style-type: none"> - seguir las indicaciones de los vigías de voladura. - Usar correctamente el EPP específico - Contar con medios de comunicación efectivas - Estar atento a la comunicación - Solo personal autorizado puede ingresar al área de operaciones.
-----	--	---	--

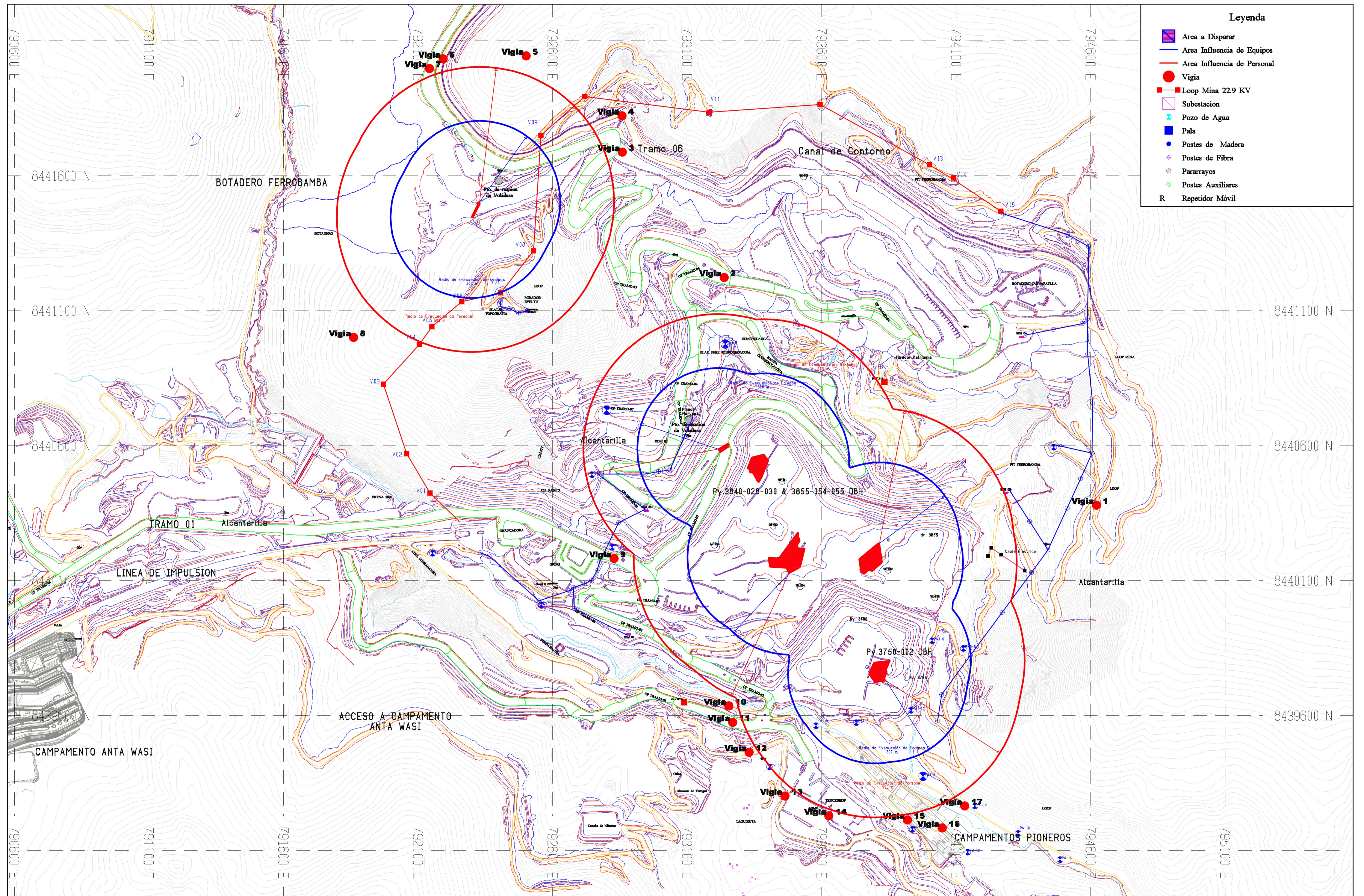
11. Restricciones, Lineamientos y/o Consideraciones

- Solamente personal entrenado y capacitado realiza esta tarea. Además, dicho personal debe contar con el carnet de manipulador de explosivos (SUCAMEC).
- En climas adversos (lluvia, vientos fuertes y neblina densa), comunique de inmediato al supervisor de EXSA y paralice dicha tarea.
- Durante la alerta roja por tormenta eléctrica suspender toda actividad y ubicarse en regugio establecido.
- Detenga toda actividad si algún: equipo, vehículo, agente de voladura presenta condiciones sub estándares que ponga en riesgo la integridad personal o de los equipos/vehículos.
- Nunca pasar por debajo de la línea de fuego y/o cargas suspendidas (sectorice la zona con señalización).
- Si está fatigado, automedicado, o con síntomas de salud anormal, paralice la labor y comunique al supervisor.
- No ingerir alimentos durante la actividad.
- Si no hay condiciones seguras para la labor, tiene derecho a decir NO.
- No fumar
- Si las condiciones de luz artificial son deficientes, no relice esta labor.



ANEXO 03:

Plano General – Tajo Ferrobamba – M.M.G. Las Bambas



- Leyenda**
- Area a Disparar
 - Area Influencia de Equipos
 - Area Influencia de Personal
 - Vigia
 - Loop Mina 22.9 KV
 - Substacion
 - Pozo de Agua
 - Pala
 - Postes de Madera
 - Postes de Fibra
 - Pararrayos
 - Postes Auxiliares
 - R Repetidor Móvil



Diseñado por	Nombres y Apellidos
Revisado por	Cain Veda
Aprobado por	Hernan Hurtado
Aprobado por	Alexander Quinto
Aprobado por	Fernando Giraldo

Planeamiento Mina		
Lugar	Plano General Tajo Ferrobamba	
Fecha	Escala	MMG
25-June-2016	1 : 750	LAS BAMBAS



ANEXO 04:

Diseño de Malla Proyecto

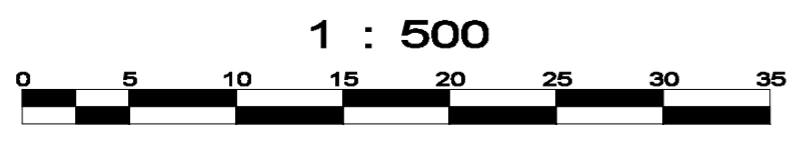
1-01-3855-019



LEYENDA	
■	SKARN (sk)
■	MONZONITA CUARZOSA (mzq)
■	MONZONITA MAFICA (mzm)
■	MONZONITA HORNBLENDICA (mzh)
■	MONZONITA BIOTITICA (mzb)
■	MARMOL (mbi)
■	MONZONITA BIOTITICA FINA (mbf)
■	MARMOL CON CALCOSILICATOS (mbo)
■	ENDO (endo)
■	BRECHA (bx)
—	LIMITE DE MINERAL Y DESMONTE



LEYENDA DE DISEÑO	
*	EBH
○	DBH
⊠	NB
—	VOLADO



		Nombres y Apellidos	Firma	TALADROS	BURDEN(m)	ESPACIAMIENTO(m)	ANGULO	#TALADROS	Planeamiento Mina		
Diseñado por				Precorte	-	-	-	-	Lugar	Minitajo	
Revisado por				Piloto	-	-	-	-	Proyecto	1-01-3855 - 019 DBH	
Aprobado por				Buffer	-	-	-	-	Fecha	Escala	MMG
Aprobado por				Produccion	6.50/8.70	7.50/10.00	-90°	39/22	02 -July- 2016	1 : 500	LAS BAMBAS

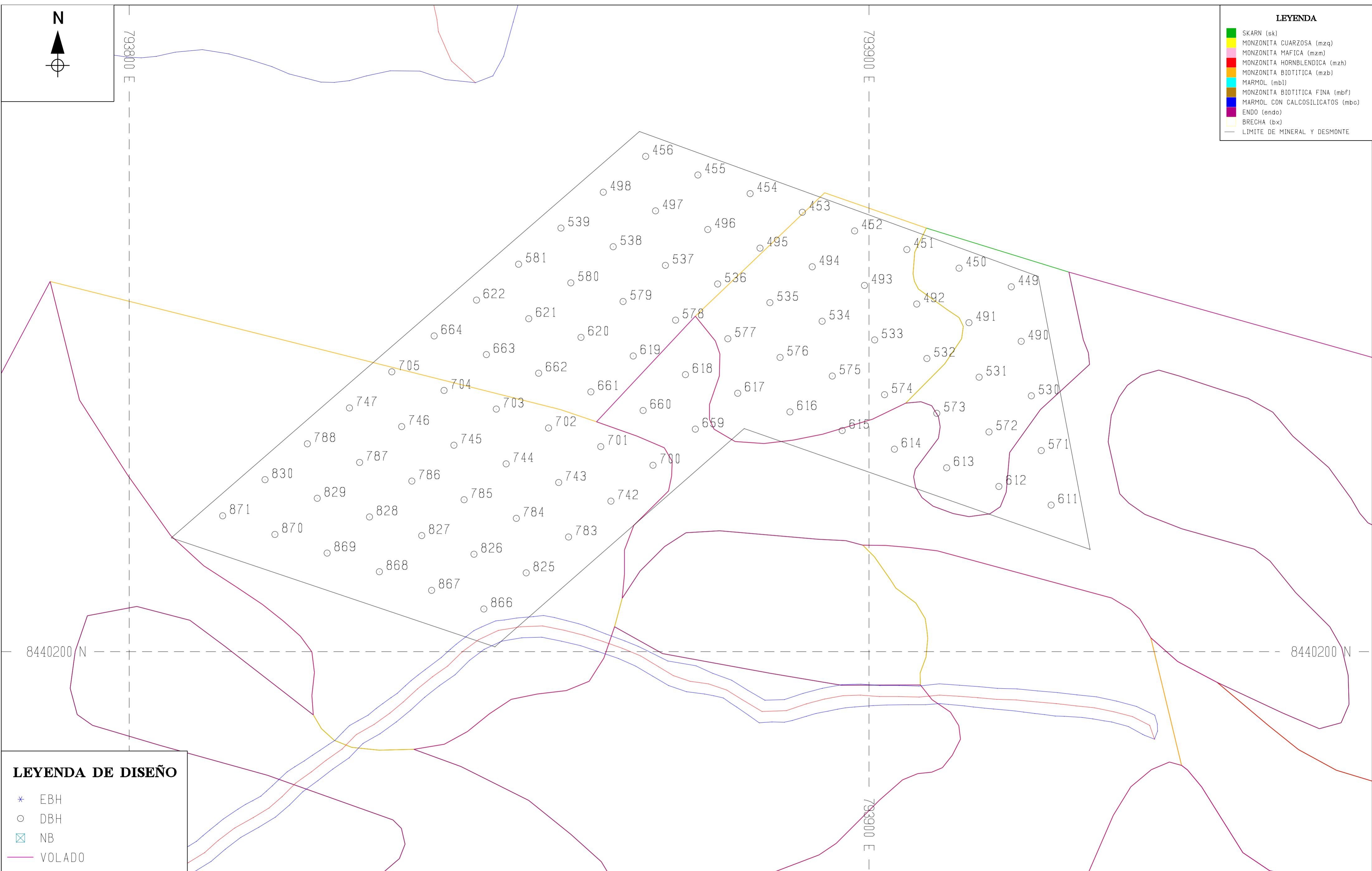


ANEXO 05:
Diseño de Malla Proyecto
1-01-3855-020



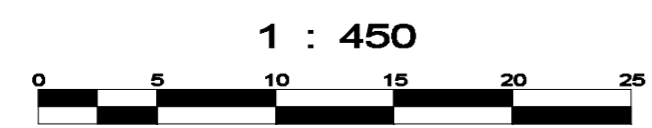
LEYENDA

- SKARN (sk)
- MONZONITA CUARZOSA (mzq)
- MONZONITA MAFICA (mzm)
- MONZONITA HORNBLENDEICA (mzh)
- MONZONITA BIOTITICA (mzb)
- MARMOL (mbi)
- MONZONITA BIOTITICA FINA (mbf)
- MARMOL CON CALCOSILICATOS (mbo)
- ENDO (endo)
- BRECHA (bx)
- LIMITE DE MINERAL Y DESMONTE



LEYENDA DE DISEÑO

- EBH
- DBH
- NB
- VOLADO



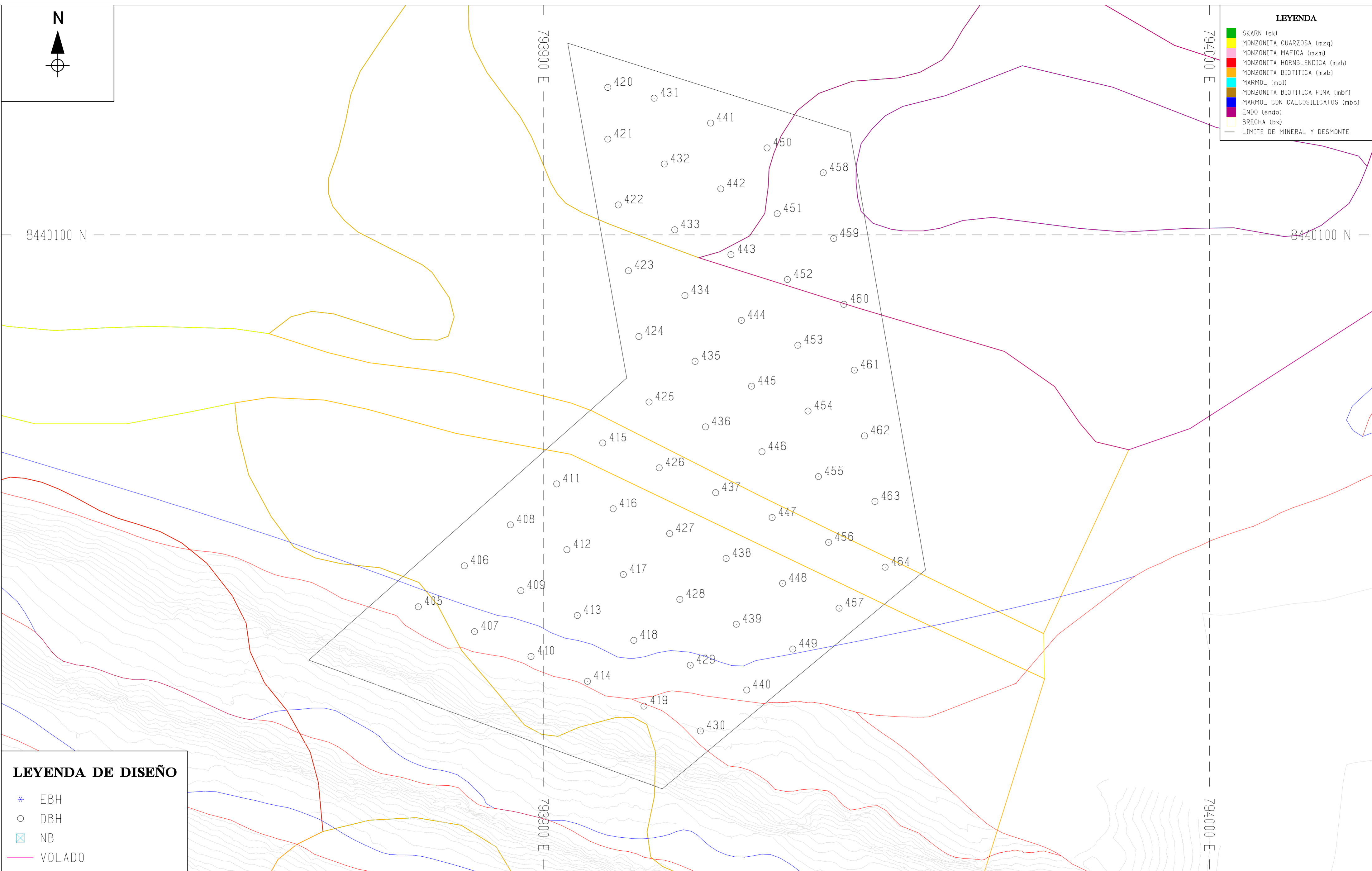
	Nombres y Apellidos	Firma	TALADROS	BURDEN(m)	ESPACIAMIENTO(m)	ANGULO	#TALADROS	Planeamiento Mina		
Diseñado por			Precorte	-	-	-	-	Lugar	Minitajo	
Revisado por			Piloto	-	-	-	-	Proyecto	1-01-3855 - 020 DBH	
Aprobado por			Buffer	-	-	-	-	Fecha	Escala	MMG
Aprobado por			Produccion	6.50	7.50	-90°	51	02 -July- 2016	1 : 450	LAS BAMBAS



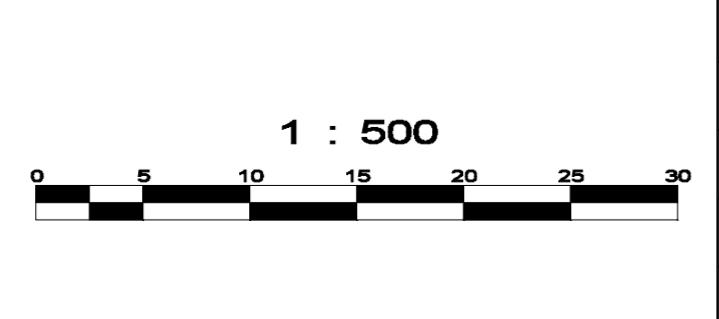
ANEXO 06:
Diseño de Malla Proyecto
1-01-3855-021



LEYENDA	
■	SKARN (sk)
■	MONZONITA CUARZOSA (mzq)
■	MONZONITA MAFICA (mzm)
■	MONZONITA HORNBLENICA (mzh)
■	MONZONITA BIOTITICA (mzb)
■	MARMOL (mbi)
■	MONZONITA BIOTITICA FINA (mbf)
■	MARMOL CON CALCOSILICATOS (mbo)
■	ENDO (endo)
■	BRECHA (bx)
	LIMITE DE MINERAL Y DESMONTE



LEYENDA DE DISEÑO	
*	EBH
○	DBH
⊠	NB
—	VOLADO



	Nombres y Apellidos	Firma	TALADROS	BURDEN(m)	ESPACIAMIENTO(m)	ANGULO	# TALADROS
Diseñado por			Precorte	-	-	-	-
Revisado por			Piloto	-	-	-	-
Aprobado por			Buffer	-	-	-	-
Aprobado por			Produccion	8.70	10.00	-90°	48

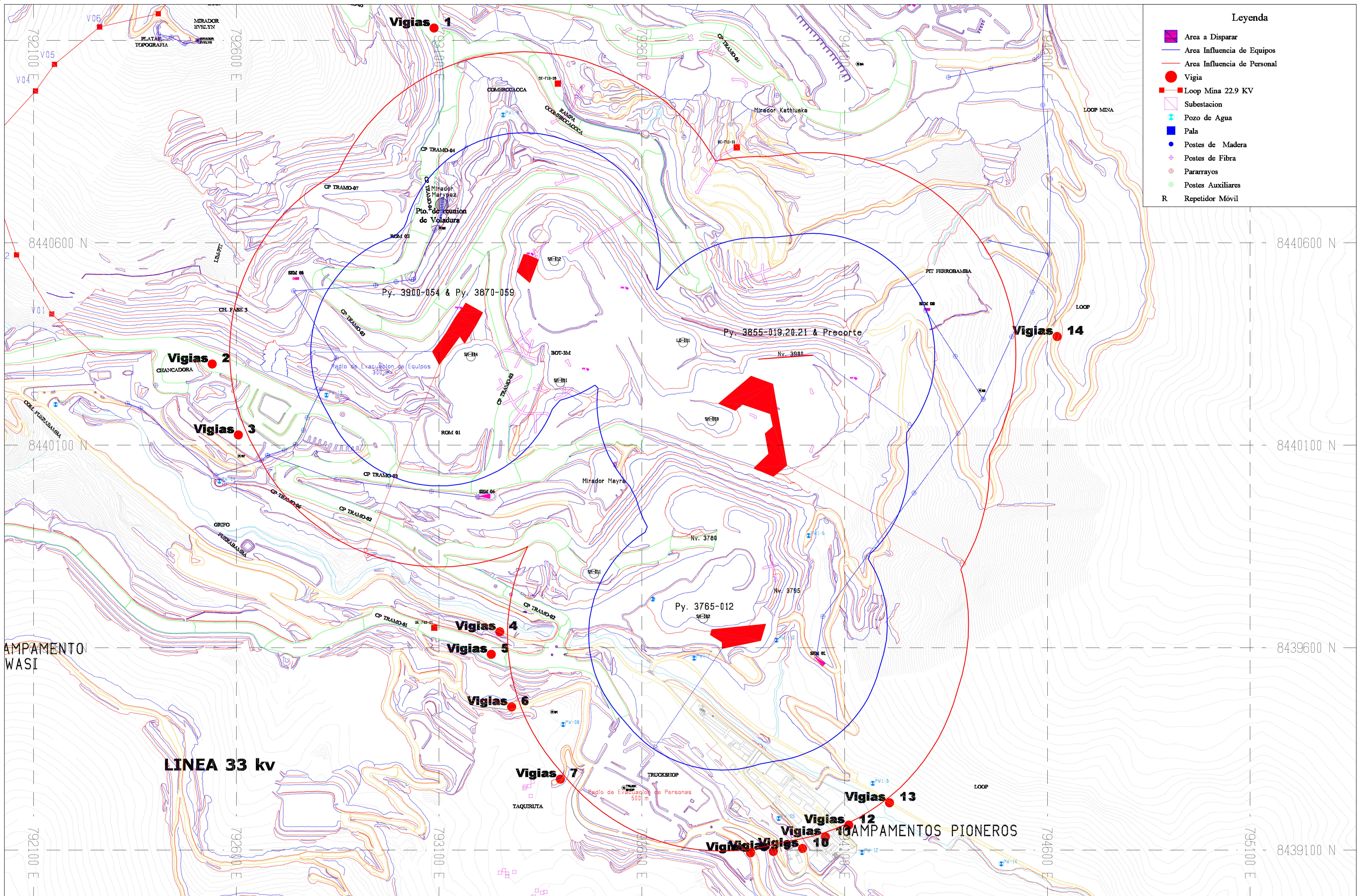
Planeamiento Mina		
Lugar	Minitajo	
Proyecto	1-01-3855 - 021 DBH	
Fecha	Escala	MMG
02 -July- 2016	1 : 450	LAS BAMBAS



ANEXO 07:

Plano de Evacuación de Voladura

Proyectos.1-01-3765-012, 1-01- 3855-019-20-021,
1-01-3900-054 y 1-01-3870-059



- Leyenda**
- Area a Disparar
 - Area Influencia de Equipos
 - Area Influencia de Personal
 - Vigia
 - Loop Mina 22.9 KV
 - Subestacion
 - Pozo de Agua
 - Pala
 - Postes de Madera
 - Postes de Fibra
 - Pararrayos
 - Postes Auxiliares
 - R Repetidor Móvil



Fecha de Voladura	01/07/16	Planeamiento Mina	
Hora de voladura	14:00 Hrs	Mina Tajo / Jahuapaylla Baja	
Hora de cierre acceso	13:15 Hrs	Py.3765 -012; Py. 3855-019-20-21;Py.3900-054& Py. 3870-059	
		Fecha	Proyecto
		02 - July - 2016	LAS BAMBAS
		Escala	
		1 : 8000	



ANEXO 08:

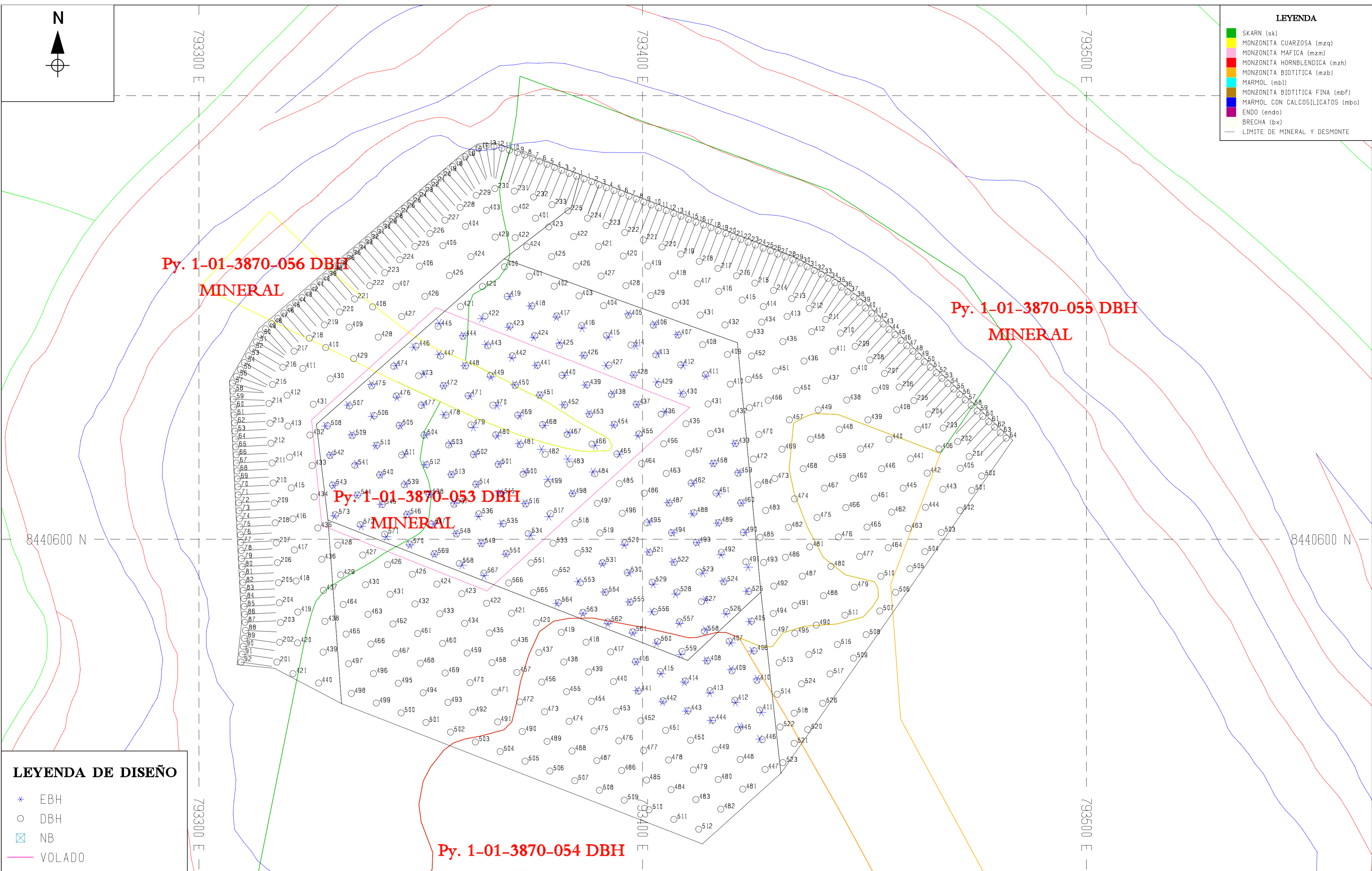
Diseño de Malla Proyecto

1-01- 3870 -053



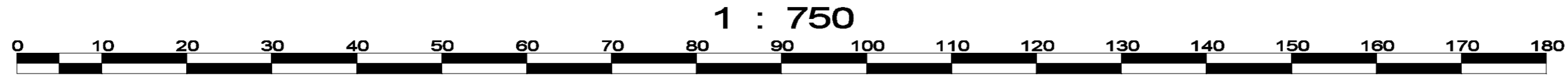
LEYENDA

- SKARN (sk)
- MONZONITA CUARZOSA (mzq)
- MONZONITA MAFICA (mzm)
- MONZONITA HORNBLENDEICA (mzh)
- MONZONITA BIOTITICA (mzb)
- MARMOL (mbi)
- MONZONITA BIOTITICA FINA (mbf)
- MARMOL CON CALCOSILICATOS (mbo)
- ENDO (endo)
- BRECHA (bx)
- LIMITE DE MINERAL Y DESMONTE



LEYENDA DE DISEÑO

- * EBH
- DBH
- ⊠ NB
- VOLADO



Planeamiento Mina

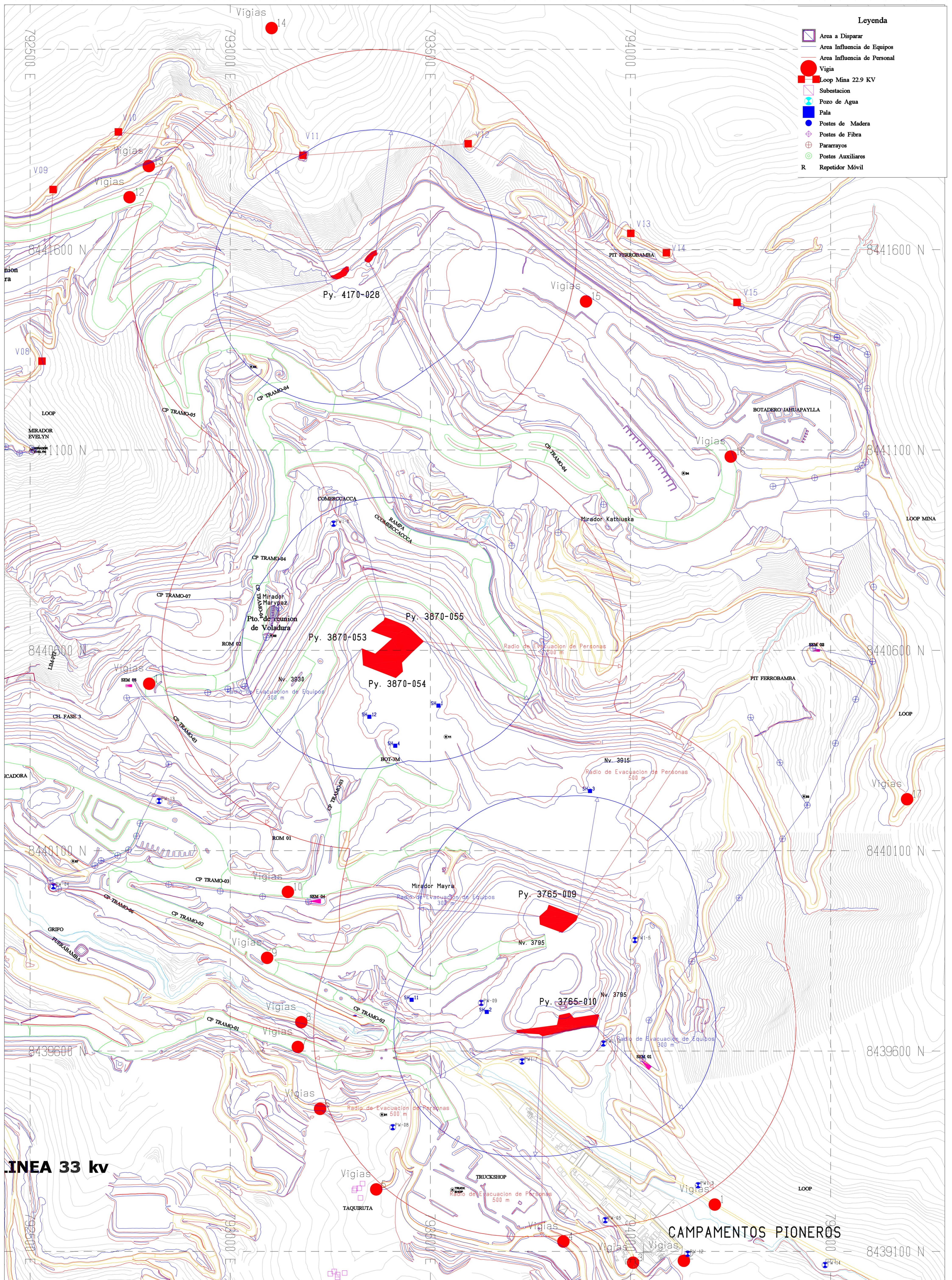
Lugar	Minitajo	
Proyecto	Py. 3870-053-54-55-56 DBH	
Fecha	Escala	MMG
25-June-2016	1 : 750	LAS BAMBAS



ANEXO 09:

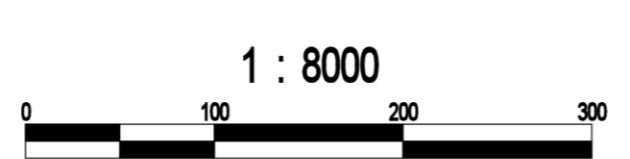
Plano de Evacuación de Voladura

Proyectos.1-01- 3765-009-010, 1-01- 3870-053-054-055
y 1-01- 4170-028



- Leyenda**
- Area a Disparar
 - Area Influencia de Equipos
 - Area Influencia de Personal
 - Vigia
 - Loop Mina 22.9 KV
 - Subestacion
 - ⊕ Pozo de Agua
 - Pala
 - Postes de Madera
 - ⊕ Postes de Fibra
 - ⊕ Pararrayos
 - ⊕ Postes Auxiliares
 - R Repetidor Móvil

LINEA 33 kv



Fecha de Voladura	25/06/16	Planeamiento Mina	
Hora de voladura	15:00 Hrs	Mina Tajo / Jahuapaylla Baja	
Hora de cierre acceso	14:45 Hrs	Py.3765 -009-010 & 3870-053-054-055 & 4170-028	
		Fecha	Proyecto
		25 - June - 2016	LAS BAMBAS
		Escala	
		1 : 8000	



ANEXO 10:

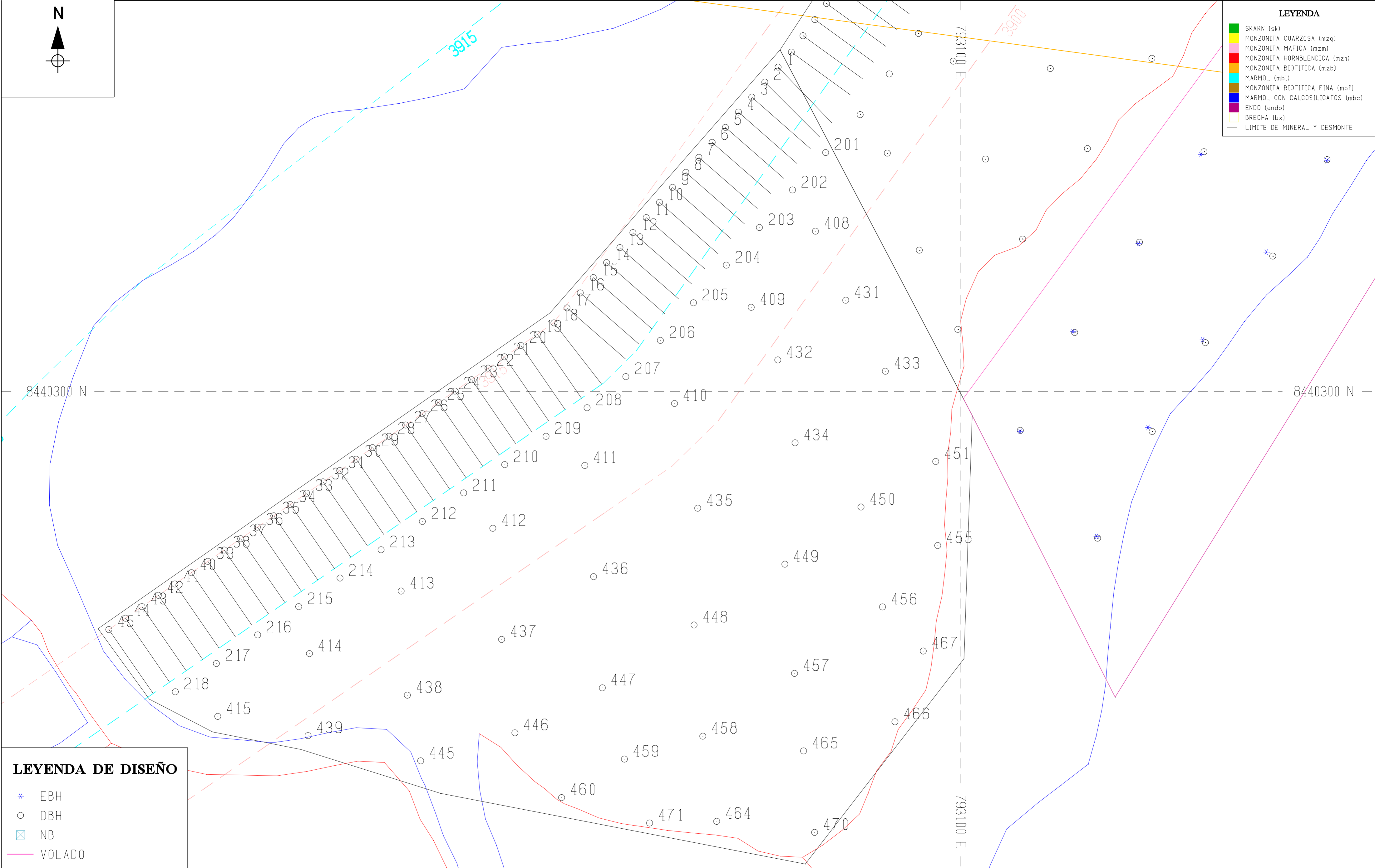
Diseño de Malla Proyecto

1-01-3900-055



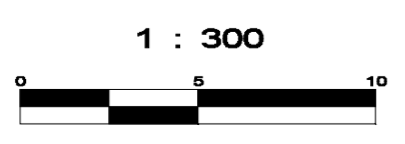
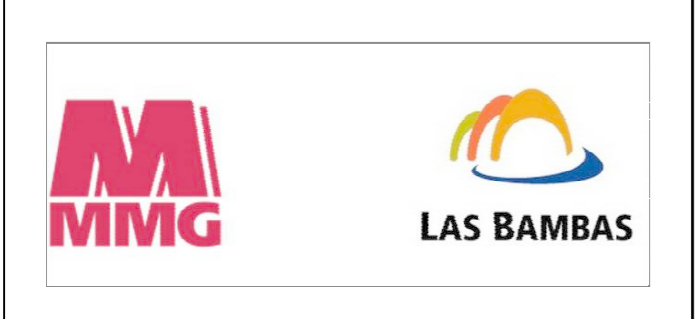
LEYENDA

SKARN (sk)
MONZONITA CUARZOSA (mzq)
MONZONITA MAFICA (mzm)
MONZONITA HORNBLENICA (mzh)
MONZONITA BIOTITICA (mzb)
MARMOL (mbi)
MONZONITA BIOTITICA FINA (mbf)
MARMOL CON CALCOSILICATOS (mbc)
ENDO (endo)
BRECHA (bx)
LIMITE DE MINERAL Y DESMONTE



LEYENDA DE DISEÑO

* EBH
o DBH
⊠ NB
— VOLADO



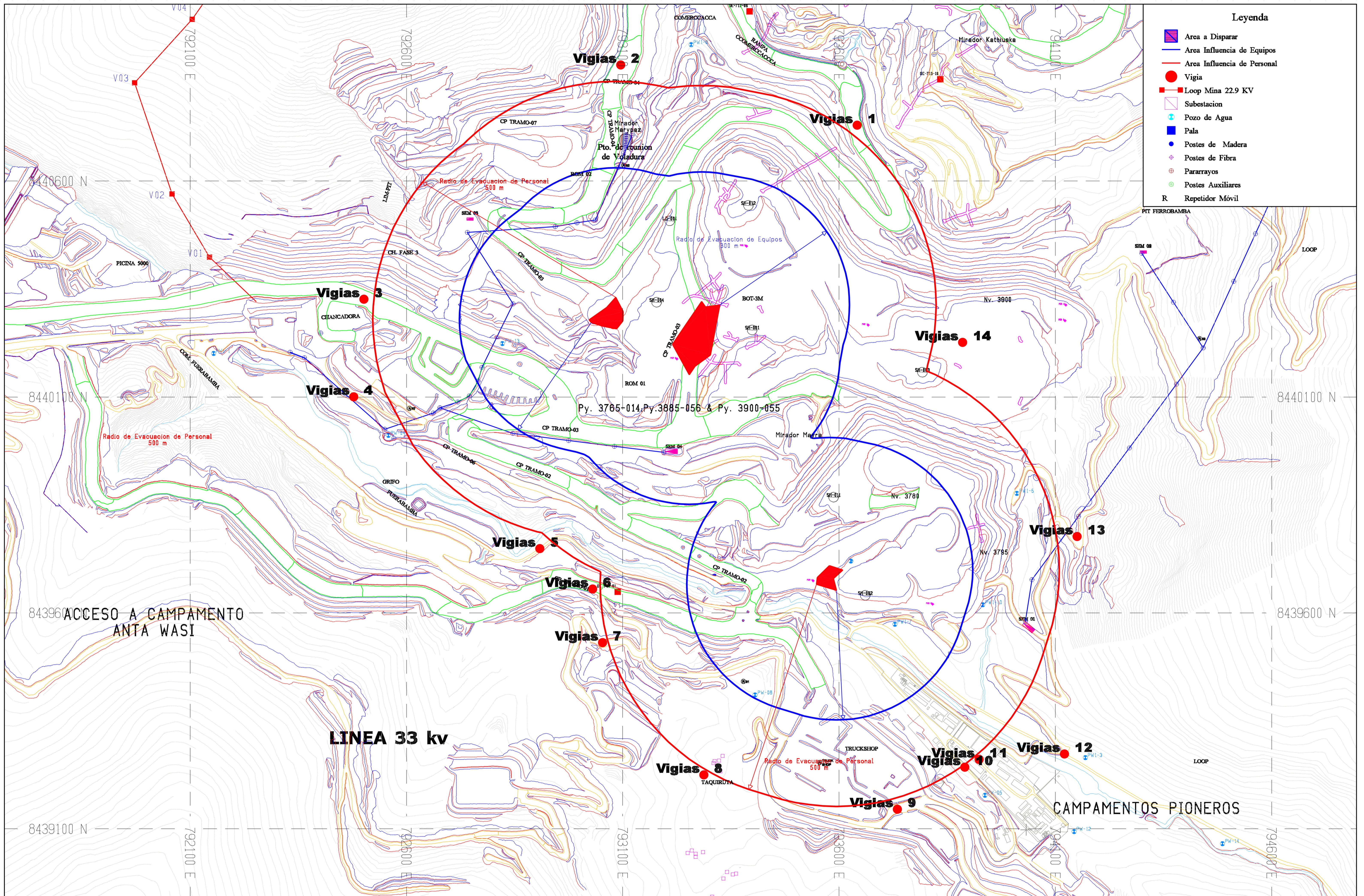
	Nombres y Apellidos	Firma	TALADROS	BURDEN(m)	ESPACIAMIENTO(m)	ANGULO	#TALADROS	Planeamiento Mina	
Diseñado por			Precorte	-	-	-65°	45	Lugar	Minitajo
Revisado por			Piloto	-	-	-	-	Proyecto	1-01-3900 - 055 DBH
Aprobado por			Buffer	4.00	4.50	-90°	18	Fecha	MMG
Aprobado por			Produccion	8.70	10.00	-90°	45	03-July-2016	1 : 450 LAS BAMBAS



ANEXO 11:

Plano de Evacuación de Voladura

Proyectos.1-01- 3765-014, 1-01- 3885-056 y 1-01-
3900-055



- Leyenda**
- Area a Disparar
 - Area Influencia de Equipos
 - Area Influencia de Personal
 - Vigia
 - Loop Mina 22.9 KV
 - Subestacion
 - Pozo de Agua
 - Pala
 - Postes de Madera
 - + Postes de Fibra
 - ⊕ Pararrayos
 - Postes Auxiliares
 - R Repetidor Móvil



Fecha de Voladura	03/07/16
Hora de voladura	13:00 Hrs
Hora de cierre acceso	12:45 Hrs

Planeamiento Mina		
Jahuapaylla Baja & Cantera 01		
Py.3765 -014;Py.3885-056 & Py - 3900 -055		
Fecha	Escala	Proyecto
03 - July - 2016	1 : 7500	LAS BAMBAS