

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
DE MINAS



**“RENDIMIENTO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA
VOLADURA CON EMULSIÓN GASIFICADA VERSUS EMULSIÓN MATRIZ
EN LAS BAMBAS - MMG”**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach.: WILMER SOTOMAYOR AYQUIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ABANCAY - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MINAS



TESIS

“RENDIMIENTO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA VOLADURA CON EMULSIÓN GASIFICADA VERSUS EMULSIÓN MATRIZ EN LAS BAMBAS - MMG”

Presentado por: Bach. WILMER SOTOMAYOR AYQUIPA, para optar el Título de:

INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el jueves 17 de enero del 2019, ante el jurado:

Presidente:


.....
Dr. Leoncio Teófilo Carnero Carnero


Primer Miembro:


.....
Dr. Pablo Rubén Zuloaga Candia

Segundo Miembro:


.....
Ing. José Adolfo Cárdenas Catalán

Asesor:


.....
Ing. Edgar Crispin Huacac Farfán

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a la Facultad de Ingeniería. En especial a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, quienes me han transmitido, su conocimiento teórico - práctico y por brindarme sabias enseñanzas, en mi formación integral como profesional en la industria extractiva de minerales.

A mi asesor Ing. Edgar Crispín Huacac Farfán por su tiempo, apoyo y orientación en el desarrollo del trabajo de investigación.

A la empresa “ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A.” por permitirme acceder a la información necesaria para la ejecución del presente trabajo de investigación y en especial al Ing. José Mantilla que con su conocimiento y experiencia lleva adelante la actividad minera.

A mis padres Rubén Alejandrino Sotomayor Moreano (†) y Juana Bacílides Ayquipa Centeno por inculcarme valores tan importantes como el respeto, responsabilidad, solidaridad y sobre todo a comprender que mi familia es lo más preciado que Dios me ha dado.



DEDICATORIA

A mis padres:

Rubén Alejandrino Sotomayor Moreano (†) a quien, por su temprana partida no pude expresarle mi gratitud y amor, aunque nuestro Señor lo tenga en su gloria siempre lo llevaré presente en mi mente y en mi corazón.

Juana Bacílides Ayquipa Centeno por su preocupación constante y sacrificio durante todas las etapas de mi formación profesional.

A mis hermanos:

Mirella Sotomayor Ayquipa y Jeferson Sotomayor Ayquipa que siempre estuvieron para brindarme toda su ayuda, por demostrarme con el ejemplo que todo sacrificio posee su recompensa.

Con todo mi cariño esta tesis la dedico a toda mi familia.



ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRAC	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción del problema.....	4
1.2. Enunciados	5
a) General	5
b) Específicos	5
1.3. Objetivos	5
a) General	5
b) Específicos	5
1.4. Justificación.....	5
1.5. Delimitación.....	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Generalidades.....	7
2.1.1. Ubicación	7
2.1.2. Accesos	9
2.1.3. Clima	11
2.1.4. Geología General.....	11
2.1.5. Estratigrafía	11
2.1.6. Marco Estructural.....	15
2.1.7. Fases de Intrusión.....	18
2.1.8. Fases Tardías	20
2.1.9. Alteración.....	20
2.1.10. Mineralización.....	21
2.1.11. Geología Local	21
2.1.12. Método de Explotación	25



2.1.13. Procesos operativos de Minado.....	25
2.1.14. Perforación.....	25
2.1.15. Voladura.....	27
2.1.16. Carguío.....	29
2.1.17. Acarreo.....	30
2.2. Antecedentes.....	32
2.3. Marco referencial.....	34
2.3.1. Explosivos.....	34
2.3.2. Componentes esenciales de los explosivos:.....	34
2.3.3. Tipos de reacción en función de la cinética química.....	35
2.3.4. Propiedades y características de los explosivos.....	36
2.3.5. Agentes de Voladura.....	42
2.3.6. Emulsión explosiva gasificada.....	45
2.4. Definición de términos (Marco conceptual).....	46
CAPÍTULO III.....	50
DISEÑO METODOLÓGICO.....	50
3.1. Definición de Variables.....	50
3.2. Operacionalización de variables.....	51
3.3. Hipótesis de la investigación.....	53
3.4. Tipo y diseño de investigación.....	53
3.5. Población y muestra.....	53
3.6. Procedimiento de la Investigación.....	53
3.6.1. Análisis Técnico Operativo.....	53
3.6.2. Proceso de optimización de la Fragmentación.....	60
3.6.3. Análisis Económico.....	75
3.6.4. Análisis Ambiental.....	80
3.6.5. Medición de los gases post voladura.....	81
3.7. Material de la investigación.....	81
3.7.1. Pruebas de entrada y salida de la investigación.....	81
3.7.2. Instrumentos de la investigación.....	82



3.7.3. Diseño de materiales	83
CAPÍTULO IV	84
RESULTADOS	84
4.1. Descripción de los resultados	84
4.1.1. Evaluación Técnico Operativo	84
4.1.2. Evaluación Económica.....	90
4.1.3. Evaluación Ambiental	90
4.2. Discusión de resultados.....	93
CAPÍTULO V	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	98



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Ubicación de “Las Bambas” en Perú.....	8
Figura 2-2: Derecho especial - Concesiones Mineras “Las Bambas”.....	9
Figura 2-3: Principales vías de acceso hacia la Unidad Operativa “Las Bambas”.....	10
Figura 2-4: Columna estratigráfica del distrito minero “Las Bambas”.....	13
Figura 2-5: Geología Regional y lineamientos estructurales “Las Bambas”.	14
Figura 2-6: Distribución y disposición geométrica del Batolito “Andahuaylas-Yauri”.....	15
Figura 2-7: Mapa estructural del yacimiento “Ferrobamba”.....	17
Figura 2-8: Diagrama de frecuencia y estereograma de fallas del yacimiento “Ferrobamba”.....	18
Figura 2-9: Plano Geológico del Yacimiento “Ferrobamba”.....	23
Figura 2-10: Secciones geológicas (Az 35°) “Ferrobamba”.	24
Figura 2-11: Tipos de Reacción en función de la cinética química.	35
Figura 2-12: Prueba de Hess (Poder Rompedor) Norma ITINTEC 311.193.....	37
Figura 2-13: Determinación del poder rompedor por el método Hess.....	38
Figura 2-14: Esquema de una emulsión.....	44
Figura 2-15: Tipos de Emulsión en función de proporción Emulsión/ANFO.	45
Figura 2-16: Propiedades de la Emulsión Gasificada.	46
Figura 3-17: Pentex™ CD (Diversas presentaciones) ORICA.	63
Figura 3-18: Exel™ MS (Diversas presentaciones) ORICA.	64
Figura 3-19: Detonador Electrónico i-kon™ II (Componentes).	65
Figura 3-20: Plano “UCS” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).	67
Figura 3-21: Diseño de carga mineral (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).	68
Figura 3-22: Diseño de carga estéril (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).	69
Figura 3-23: Diseño de Voladura (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).	71
Figura 3-24: Líneas de Isotiempo “100 ms.” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).	72
Figura 3-25: Movimiento de Material “Desplazamiento” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).	73
Figura 3-26: “BURDEN RELIEF” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).	74
Figura 3-27: Medición de V.O.D. (Fortis Extra 65/35) proyecto 4020-027.	88
Figura 3-28: Medición de V.O.D. (Fortis Extra 70/30) proyecto 4020-031.	88
Figura 3-29: Medición de V.O.D. (Fortis Extra 65/35) proyecto 4020-024.	89



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Equipos de perforación “Las Bambas”.....	26
Tabla 2-2: Flota de Equipos de Carguío “Las Bambas”	29
Tabla 2-3: Flota de Equipos de Acarreo “Tajo Ferrobamba”.....	30
Tabla 2-4: Componentes usados en la fabricación de explosivos comerciales ORICA.....	34
Tabla 2-5: Rango de densidades explosivos comerciales ORICA	39
Tabla 2-6: ANFOS Pesados y sus porcentajes de composición.....	45
Tabla 3-7: Variables e Indicadores de la investigación.....	50
Tabla 3-8: Operacionalización de variable independiente.	51
Tabla 3-9: Operacionalización de variable dependiente (Análisis técnico operativo).	51
Tabla 3-10: Operacionalización de variable dependiente (Análisis económico).	52
Tabla 3-11: Operacionalización de variable dependiente (Análisis ambiental).	52
Tabla 3-12: Control de densidades de explosivos gasificados “Fortis Extra 65/35”.....	56
Tabla 3-13: Control de densidades de explosivos gasificados “Fortis Extra 65/35”.....	57
Tabla 3-14: Propiedades Geomecánicas del Macizo Rocoso “Las Bambas”.....	61
Tabla 3-15: Densidad de diferentes tipos de mezclas de Explosivos.....	62
Tabla 3-16: Especificaciones Técnicas Pentex™ ORICA.	63
Tabla 3-17: Disparo Jahuapaylla Alta 4020 - 027.....	66
Tabla 3-18: Diagrama de costo del “Fortis Extra 65/35” por Taladro del Proyecto 4005 - 015.	76
Tabla 3-19: Precios unitarios, costos de explosivos y accesorios.	76
Tabla 3-20: Costo total de accesorios y explosivos.	76
Tabla 3-21: Costo de taladros de mineral del proyecto de voladura “4005 - 015”.	77
Tabla 3-22: Costo de taladros de material estéril del proyecto de voladura “4005-015”.....	78
Tabla 3-23: Costos de explosivos, accesorios y costo total por voladura.	79



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1: Unidades lito estratigráficas yacimiento minero “Las Bambas”.....	12
Fotografía 2-2: “Yacimiento Ferrobamba” (vista de NO a SE).	22
Fotografía 2-3: Perforadora P&H 250 XP.....	26
Fotografía 2-4: Camión Fabrica (Q-44).	28
Fotografía 2-5: Cargador Frontal (L-2350) “Le Tourneau”	29
Fotografía 2-6: Pala Eléctrica (CAT-7495).....	30
Fotografía 2-7: Camión (KOMATSU 930E).	31
Fotografía 2-8: Camión (CAT 797F).	31
Fotografía 2-9 y Fotografía 2-10: Densidad de la mezcla explosiva “Fortan Mex 50 (HA 55)”.....	39
Fotografía 2-11 y Fotografía 2-12: Densidad de la mezcla explosiva “Fortis Mex 60 (HA 64)”.....	40
Fotografía 2-13: Gases nitrosos post voladura de la mezcla explosiva “Fortis Mex 60 (HA 64)”.....	41
Fotografía 2-14: ANFO (Nitrato de Amonio 94% combustible derivado de petróleo 6 %).	43
Fotografía 3-15 y Fotografía 3-16: Toma de muestra explosiva (Fortis Extra 65/35) en vaso volumétrico.	54
Fotografía 3-17 y Fotografía 3-18: Limpieza del material explosivo que queda fuera del depósito y pesado.....	55
Fotografía 3-19 y Fotografía 3-20: Pesado de la muestra explosiva después de limpiar el material. ...	55
Fotografía 3-21: Instalación de cable resistivo (verde) junto al booster y líneas descendentes.	58
Fotografía 3-22: Frentes de minado analizados en el Tajo Ferrobamba.	59
Fotografía 3-23: Toma de muestras en frente de carguío con el equipo “Porta Metrics”.....	59
Fotografía 3-24: Procesamiento de imágenes con el equipo “Porta Metrics”.....	60
Fotografía 3-25: Levantamiento de taladros (Jahuapaylla Alta 4020-027).....	70
Fotografía 3-26: Resultados de fragmentación “Jahuapaylla Alta 4020-027”.....	75
Fotografía 3-27: Distribución de carguío de taladros según diseño.	79
Fotografía 3-28: Monitoreo de gases con el equipo “MSA ALTAIR 5X”.	81
Fotografía 4-29: Emisión de gases producidos post voladuras “Tajo Ferrobamba”.....	91
Fotografía A-30: Carguío de taladros con M.M.U. (Bombeable).	98
Fotografía A-31: Pala eléctrica P&H “3” (P.M.).	98
Fotografía A-32: Vista panorámica de área de investigación.	99
Fotografía A-33: Utilización de Portametrics- Trabajos en Campo.....	99
Fotografía A-34: Cálculo de densidad (FORTIS EXTRA 65/35).....	100
Fotografía A-35: Resultados Fragmentación de rocas con emulsión gasificada.....	100

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Curva de densidad - Gasificación - “Fortis Extra 65/35”	56
Gráfico 3-2: Curva de densidad - Gasificación - “Fortis Extra 65/35”	57
Gráfico 4-3: Densidades del “Fortis Advantage 100” (Emulsión matriz).....	84
Gráfico 4-4: Densidades del “Fortis Advantage 65/35” (Emulsión matriz).....	85
Gráfico 4-5: Densidades del “Fortis extra 100”	85
Gráfico 4-6: Densidades del “Fortis extra 65/35”	86
Gráfico 4-7: Factores de carga según tipo de taladro (Mineral).....	86
Gráfico 4-8: Factores de carga según tipo de taladro (Estéril).....	87
Gráfico 4-9: Tamaño de Fragmentación (pulgadas) “Tajo Ferrobamba”	89
Gráfico 4-10: Análisis de costos según tipo de explosivo.....	90
Gráfico 4-11: Monitoreo de Gases Nitrosos “Tajo Ferrobamba”	92
Gráfico 4-12: Monitoreo de Oxígeno “Tajo Ferrobamba”	92
Gráfico 4-13: Monitoreo de Dióxido de Carbono “Tajo Ferrobamba”	93



“RENDIMIENTO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA VOLADURA CON EMULSIÓN GASIFICADA VERSUS EMULSIÓN MATRIZ EN LAS BAMBAS - MMG”

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene la finalidad de mejorar la fragmentación de la roca en zona de mineral, y demostrar que usando una nueva mezcla explosiva comercial a base de emulsión gasificada “Fortis Extra”, que tiene como característica principal mayor poder energético pudiendo sustituir a las mezclas explosivas a base de emulsión matriz (no gasificable) que actualmente se viene usando en la extracción de mineral en el “Tajo Ferrobamba”.

Las cargas explosivas se diseñan dependiendo de las condiciones ambientales y la dureza del material. El área de voladura a cargo de “ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A.” viene implementando la utilización de una nueva mezcla explosiva, logrando reducir costos y mejorar los procesos operativos.

Se formó un equipo con el objetivo de determinar las ventajas que este nuevo producto podría ofrecer y evaluar su aplicación en la operación minera.

Controlar la calidad del explosivo permanentemente, con la medición de propiedades importantes como: Densidad, velocidad de detonación y principalmente la fragmentación de la roca.



RESUMEN

Actualmente en la operación minera “Las Bambas” las cargas explosivas se diseñan dependiendo de la dureza del macizo rocoso y las condiciones ambientales, utilizando para este propósito agentes de voladura a granel y explosivos, como el ANFO y ANFO Pesado a base de emulsión matriz.

El área de Voladura a cargo de la empresa contratista “ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A.” viene realizando diversas pruebas con el objetivo de demostrar las ventajas que posee la emulsión (gasificable) “como componente del ANFO Pesado” frente a la emulsión matriz (no gasificable) la cual se utiliza en la operación.

La implementación de la nueva mezcla explosiva comercial en los diferentes componentes del “Tajo Ferrobamba” tiene como principal característica su mayor poder energético, con lo cual se logrará una disminución del factor de carga buscando minimizar costos operativos y maximizar la producción.

Palabras Clave: Sensibilización química, emulsión gasificable, densidad, velocidad de detonación y fragmentación.



ABSTRAC

Currently in the “Las Bambas” mining operation the explosive charges are designed depending on the hardness of the rock mass and the environmental conditions, using for this purpose bulk blasting agents and explosives, such as ANFO and Heavy ANFO based on matrix emulsion.

The blasting area in charge of the contractor company “ORICA MINING SERVICES PERU S.A.” is carrying out various tests with the aim of demonstrating the advantages of the emulsion (gasifiable) “as a component of the Heavy ANFO” as opposed to the matrix emulsion (non gasifiable) which is used in the operation.

The main feature of the implementation of the new commercial explosive mixture in the different components of the “Tajo Ferrobamba” is its greater energetic power, which will achieve a reduction in the load factor, seeking to minimize operating costs and maximize production.

Key words: Chemical sensitization, gasified emulsion, density, velocity of detonation, fragmentation.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En el yacimiento Ferrobamba escurre un afluente del río Ferrobamba con dirección NO - SE, razón por la cual se evidencia la presencia de abundante agua durante el minado del “Tajo Ferrobamba”. Usando emulsión matriz las voladuras en el “Tajo Ferrobamba” generan gases nitrosos debido a un incorrecto balance de oxígeno que genera la abundante presencia de agua y consecuentemente una fragmentación deficiente.

Con la implementación de una mezcla explosiva a base de emulsión gasificada “Fortis Extra” se podrá mejorar la fragmentación en zona de mineral. El nitrito de sodio reacciona con el nitrato de amonio, para formar el gas nitrógeno. La rápida producción de burbujas de nitrógeno se conoce como proceso de gasificación que produce un aumento de volumen, a este aumento de volumen se le conoce como esponjamiento.

Con la sensibilización química se obtendrá un explosivo eficiente para reducir los costos de la voladura del “Tajo Ferrobamba” debido al esponjamiento que genera, este explosivo posee un adecuado balance de oxígeno que no genera gases nitrosos y es muy resistente al agua.

Cuando los taladros son mayormente secos, una combinación de ANFO y de explosivos encartuchados “Senatel” o “Fortis Advantage” es rentable. A medida que aumenta la cantidad de taladros húmedos (a más de 30% aproximadamente) se hace más rentable una combinación de ANFO y “Fortis Extra” en una malla expandida (haciendo uso de la energía extra). El uso de un explosivo más caro, más poderoso como la emulsión gasificada puede significar un ahorro en el trabajo del personal, tiempo y reducciones en los costos, combinados de perforación, voladura secundaria, carguío, transporte y chancado, siendo así más eficiente en los costos respecto a un explosivo más barato de más baja potencia.



La variación de la densidad de la emulsión al adicionarle nitrato de sodio se relaciona con otras propiedades del explosivo como sensibilidad, diámetro crítico y velocidad de detonación que son fundamentales para el resultado de una óptima fragmentación.

1.2. Enunciados

a) General

- ¿En qué medida se puede determinar el rendimiento técnico, económico y ambiental de la voladura, entre la emulsión gasificada y la emulsión matriz, para obtener mayor eficiencia y reducción de costos en las operaciones de minado en “Las Bambas - M.M.G.”?

b) Específicos

- ¿De qué manera mejorar la calidad de la voladura (técnico operativo) utilizando emulsión gasificada frente a la emulsión matriz en “Las Bambas - M.M.G.”?
- ¿Cómo mejorar el rendimiento económico de las operaciones de voladura utilizando emulsión gasificada frente a la emulsión matriz en “Las Bambas - M.M.G.”?
- ¿Cómo minimizar los impactos ambientales de la voladura utilizando emulsión gasificada versus emulsión matriz en “Las Bambas - M.M.G.”?

1.3. Objetivos

a) General

- Determinar las ventajas técnico operativas, económicas y ambientales que se conseguirán con utilización de la emulsión gasificable en comparación con la emulsión matriz en el Tajo Ferrobamba de la Unidad Operativa “Las Bambas - M.M.G.”.

b) Específicos

- Optimizar la calidad de los rendimientos técnicos operativos de voladura con emulsión gasificada frente a la emulsión matriz en “Las Bambas - M.M.G.”.
- Mejorar el rendimiento económico en las operaciones de voladura usando la emulsión gasificada frente a la emulsión matriz en el minado del Tajo Ferrobamba de la Unidad Operativa “Las Bambas - M.M.G.”.
- Reducir los impactos ambientales de la voladura con emulsión gasificada frente a la emulsión matriz en la extracción de mineral del Tajo Ferrobamba de la Unidad Operativa “Las Bambas - M.M.G.”

1.4. Justificación

Si se tiene en cuenta que hoy en día la economía de libre mercado, la globalización y los impactos ambientales vienen siendo el “boom” del momento; pues la ciencia y tecnología avanza a pasos agigantados y cada vez las empresas se enfrentan a nuevos retos, los cuales deben desafiarlos y para desafiarlos deben estar a la vanguardia de los cambios haciendo investigación científica para luego aplicarlos en sus procesos y existir en el mercado.



Siendo así, es justificable, el propósito de este trabajo de investigación, que es estudiar las principales variables que explican la posibilidad de reemplazar la emulsión matriz por la emulsión gasificada, de manera que se pueda buscar la mejor opción para lograr la efectividad en costos y procesos operativos.

Por otro lado, tiene un alto valor teórico la cual, aportará nuevos conocimientos para el quehacer mismo y a partir de esta surgirán otras investigaciones para dar respuesta a las interrogantes dejadas; así el conocimiento científico y tecnológico continúe su desarrollo. Además, como pretensión personal, es la obtención del título profesional que me permitirá escalar eslabones dentro de la profesión de Ingeniería de Minas.

1.5. Delimitación

El yacimiento minero “Las Bambas” se ubica entre los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui, en la provincia de Cotabambas y el distrito de Progreso en la provincia de Grau. La investigación se llevará a cabo en los diferentes componentes y zonas del “Tajo Ferrobamba” (Jahuapaylla Alta, Mini Tajo y Jahuapaylla Baja) durante los años 2016 y 2017.

Se recopilará datos de campo de la emulsión gasificada “Fortis Extra” durante el carguío con camiones fábrica de densidades al iniciar la actividad, durante el disparo se medirá la velocidad de detonación, con la filmación se verificará la generación de gases nitrosos por cada voladura y después de cada disparo se calculará la fragmentación en los diferentes frentes.

Estos datos recopilados se compararán con la base de datos de voladuras con emulsión matriz realizados en el “Tajo Ferrobamba” antes de la implementación de la emulsión gasificable “Fortis Extra”.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

2.1.1. Ubicación

El yacimiento minero “Las Bambas” se ubica entre los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui, en la provincia de Cotabambas y el distrito de Progreso en la provincia de Grau, en el departamento de Apurímac a 260 km. de la ciudad del Cusco. Se encuentra entre los 3 700 y 4 650 m.s.n.m., en la divisoria de las cuencas del río Santo Tomás (hacia el este) y Vilcabamba (hacia el oeste), ambos pertenecientes a la cuenca del río Apurímac.

El yacimiento minero “Las Bambas” cuenta con un derecho especial denominado “Área de no admisión de petitorios” de 33 063 hectáreas, dentro de la cual existen cuatro concesiones mineras que corresponden a Activos Mineros S.A.C. (antes Centromín Perú) que tienen una extensión total de 1 800 hectáreas.

Las comunidades asentadas dentro del “Área de no admisión de petitorios” son: Fuerabamba, Huancuire, Chicñahui, Pamputa, Chucuini, Pumamarca, Choquecca Antío, Manuel Seoane Corrales, Quehuira, Allahui, Asaccasi, Sorcco, Patrón Santiago, Pallca Picosayhuas, Ccahuapirhua, Carmen Alto, Cconccacca y Escohorno.

El área del yacimiento minero “Las Bambas” presenta una fisiografía bastante irregular, caracterizada por cumbres, quebradas poco profundas, llanuras y laderas de relieve suave. Las cumbres más altas son el cerro Chonta en Sulfobamba (4 682 m.s.n.m.) y Pichacani en Chalcobamba (4 663 m.s.n.m.); el relieve más bajo lo constituye las márgenes del río Challhuahuacho (3 700 m.s.n.m.).



Se ubica en el sector norte del cuadrángulo de Santo Tomás (29-r) de la carta Geológica Nacional escala 1: 100 000. (Xstrata, 2010)

Ver la figura 2-1, sobre la ubicación de “Las Bambas” en Perú y en la figura 2-2, se presentan las concesiones mineras de “Las Bambas”.



Figura 2-1: Ubicación de “Las Bambas” en Perú.

Fuente: (Xstrata, 2010)

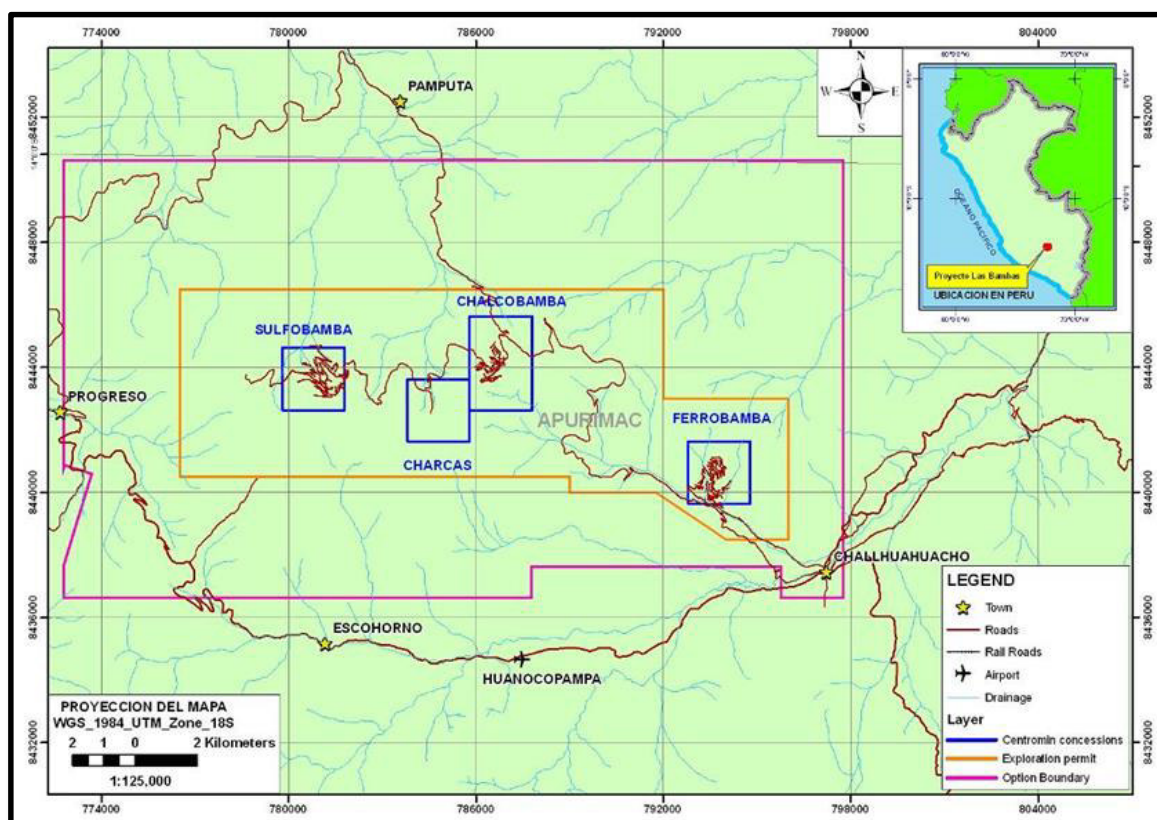


Figura 2-2: Derecho especial - Concesiones Mineras “Las Bambas”.
Fuente: (Xstrata, 2010)

2.1.2. Accesos

Por vía aérea desde Lima - Cusco, luego se continúa por vía terrestre (250 Km. aproximadamente en 6 horas) o en helicóptero hasta el proyecto (73 Km. en 40 minutos). Las principales rutas para llegar al proyecto desde el Cusco son las siguientes:

- ❖ Cusco - Cotabambas - Tambobamba - Challhuahuacho - “Las Bambas”, carretera afirmada aproximadamente 250 Km.
- ❖ Cusco - Cotabambas - Ñahuinlla - Pamputa - “Las Bambas”, carretera afirmada aproximadamente 240 Km.
- ❖ Cusco - Yaurisque - Ccoyabamba - Ccapaccmarca - Mara - Challhuahuacho - “Las Bambas”, carretera afirmada aproximadamente 220 Km.

Por transporte terrestre desde las principales ciudades del Perú:

Ruta 1: Lima - Pisco - Ica - Nazca - Puquio - Chalhuanca - Puente Sahuinto - Lambrama - Chuquibambilla - Vilcabamba - Curasco - Progreso - Challhuahuacho - “Las Bambas”.

Ruta 2: Arequipa - Imata - Espinar - Velille - Santo Tomas - Haqaira - Challhuahuacho - “Las Bambas”. De Arequipa a Imata vía asfaltada y resto es carretera afirmada. (Bambas, 2010)

Ver la figura 2-3, Sobre las principales vías de acceso del aeropuerto (Alejandro Velasco Astete) de Cusco hacia la Unidad Operativa “Las Bambas”.

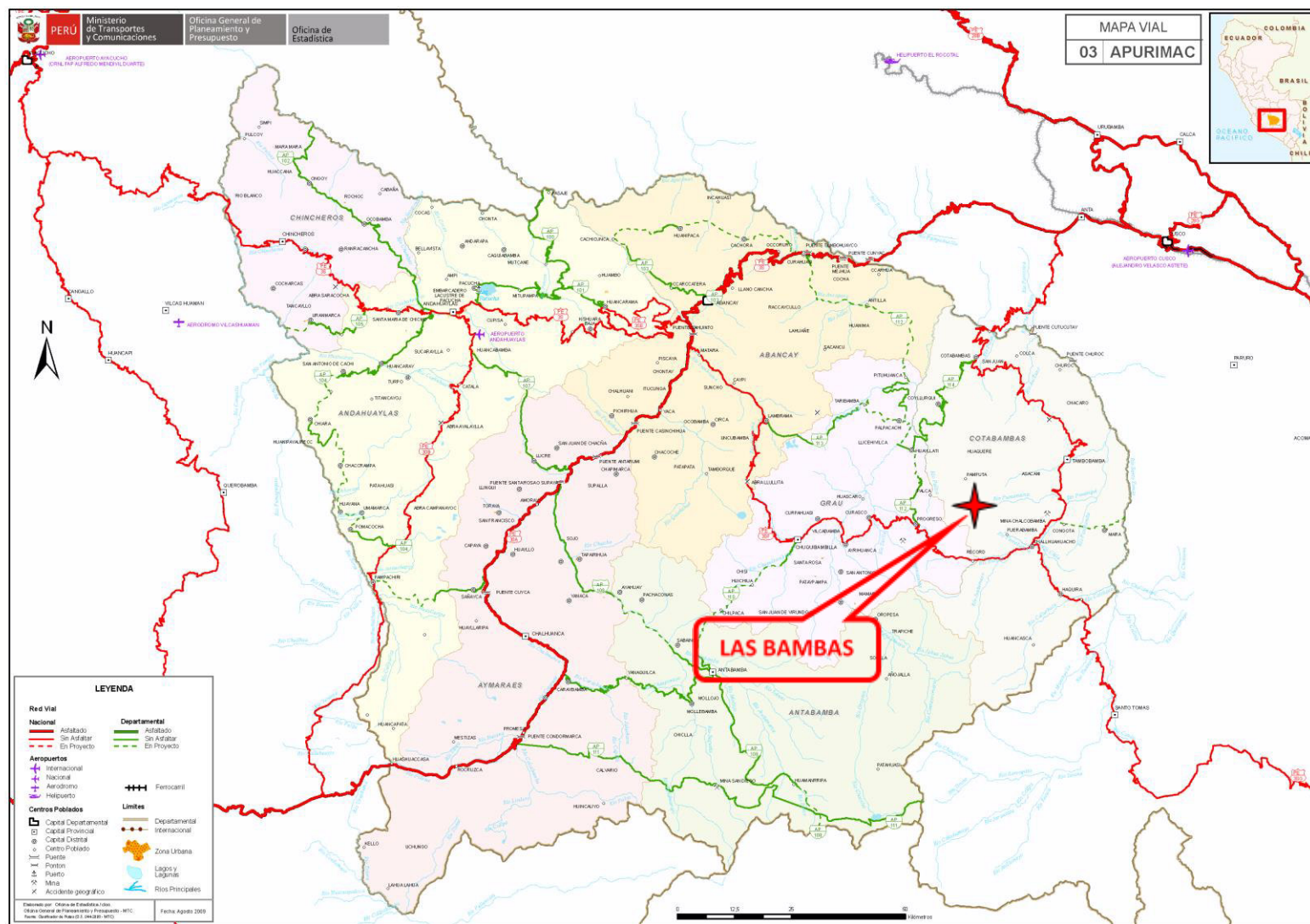


Figura 2-3: Principales vías de acceso hacia la Unidad Operativa “Las Bambas”.
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Mapa Vial Apurímac).

2.1.3. Clima

Es variado se caracteriza por periodos de lluvias, de frío, templado y seco. El periodo de lluvias generalmente se inicia en octubre, acentuándose en diciembre hasta marzo; ocasionando muchas veces la interrupción de las vías de transporte terrestre debido a deslizamientos de terrenos empinados e inestables. La presencia de descargas eléctricas es considerada de alto riesgo en la Unidad Operativa durante este periodo.

A partir de abril hasta septiembre, durante el día la temperatura presenta fuertes cambios desde 5°C en las mañanas hasta 25°C al medio día. En las noches la temperatura decrece hasta por debajo de 0°C en horas de la madrugada. El periodo de vientos ocurre entre los meses de julio a septiembre y su intensidad aumenta después de las 13 horas hasta las 17 horas. En el resto del año la intensidad del viento es débil a moderada. Normalmente la humedad relativa en toda la sierra está por debajo del 90%, en general el clima es seco. (Bambas, 2010).

2.1.4. Geología General

La operación minera “Las Bambas” se encuentra ubicado en la franja de yacimientos de Skarn de Cu (Mo-Au), asociados a sistemas tipo pórfido, ubicados en la parte sureste del Perú. Esta franja metalogenética está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri de edad Eoceno-Oligoceno, que se ha emplazado en unidades sedimentarias del Mesozoico, siendo la de mayor importancia la formación Ferrobamba (Cretáceo inferior a superior).

Las rocas intrusivas del batolito en contacto con las calizas Ferrobamba, han originado un metamorfismo de contacto y en algunos lugares cuerpos de skarn con mineralización de Cu (Mo-Au). El batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado al sur de la “Deflexión de Abancay”, con lineamientos de dirección NO-SE, NE-SO y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina. (Bambas, 2010)

2.1.5. Estratigrafía

En el área del yacimiento minero “Las Bambas” 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. (Bambas, 2010)

a) Formación Soraya

El nombre de esta unidad se debe a que su mayor afloramiento se encuentra en las cercanías del poblado de Soraya, ubicado en la provincia de Aymaraes próxima al proyecto Los Chancas. Está constituida por horizontes masivos de areniscas cuarzosas blancas a gris, afloran en la parte noroeste de la concesión y hacia el sur dentro del proyecto Haqira de Antares Minerals. La edad de esta unidad es Titoniano-Hauteriviano del Jurásico superior a Cretáceo inferior. (Bambas, 2010)



Alrededor del proyecto, el espesor de esta secuencia no es mayor a 300 metros. En el proyecto Haquira, la formación indicada es la roca huésped de la mineralización.

b) Formación Mara

Unidad que lleva el nombre de una localidad cercana a la operación minera. Constituida por delgados horizontes de limonitas y lutitas rojas y grises, con algunas intercalaciones de areniscas gris calcáreas, estas últimas reconocidas en los niveles superiores de la secuencia. En el área del yacimiento minero “Las Bambas” algunos sondajes, han interceptado hornfels de biotita y piroxeno al noroeste de Chalcobamba y en Charcas correspondientes a la formación Mara. Aflora al sureste y sur del yacimiento con espesores menores a 200 metros y su edad es del Aptiano (Cretáceo inferior). Ocasionalmente presenta mineralización en contacto con fases intrusivas mineralizantes. (Bambas, 2010)

c) Formación Ferrobamba

Es la unidad sedimentaria de mayor extensión y espesor en la unidad operativa. 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 Azulccacca). 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 yacimiento sobrepasa los 300 metros. (Bambas, 2010)



Fotografía 2-1: Unidades lito estratigráficas yacimiento minero “Las Bambas”.

Fuente: (Bambas, 2010)

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							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				

Figura 2-4: Columna estratigráfica del distrito minero “Las Bambas”.

Fuente: (Xstrata, 2010)

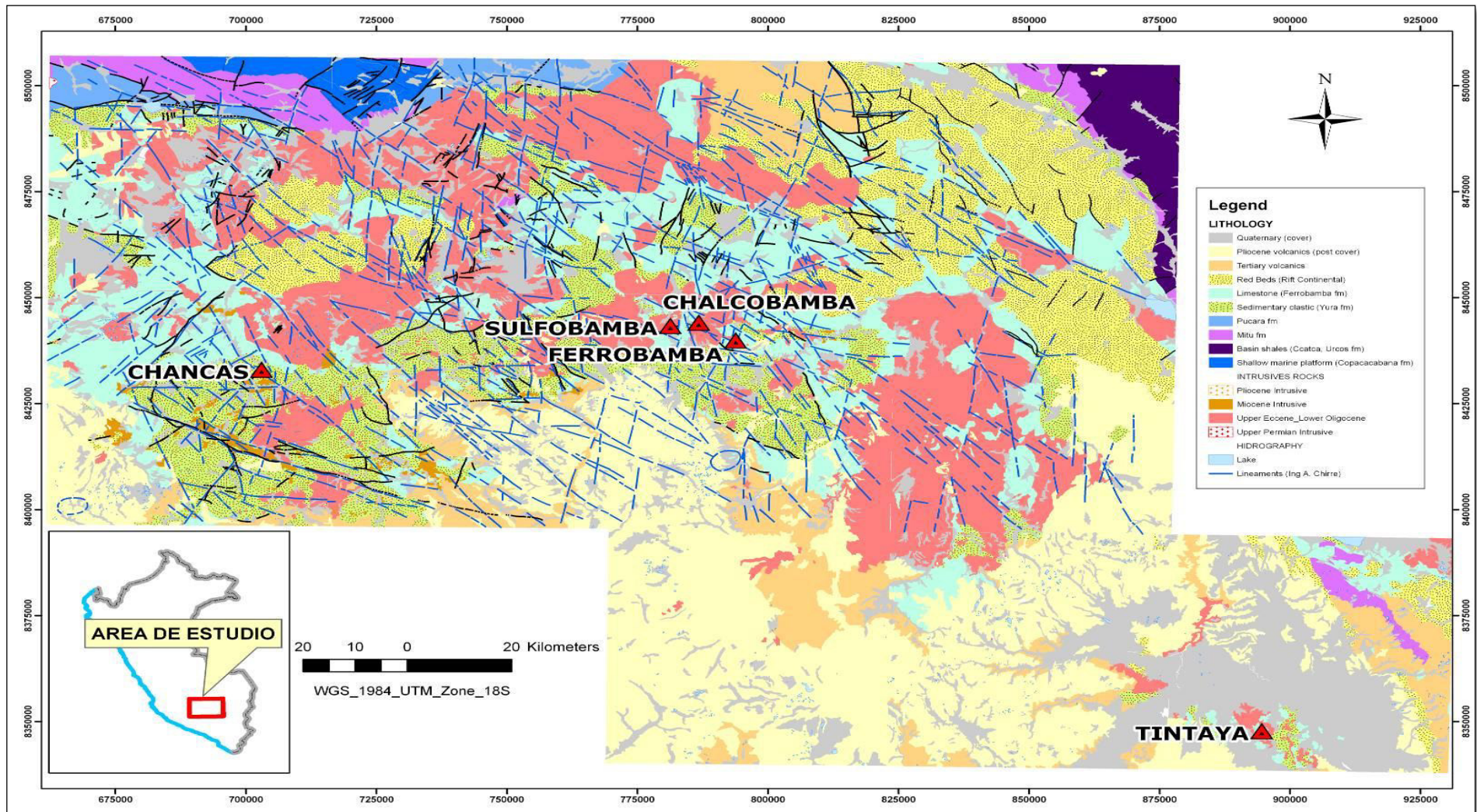


Figura 2-5: Geología Regional y lineamientos estructurales “Las Bambas”.
Fuente: (Xstrata, 2010)

2.1.6. Marco Estructural

El yacimiento minero “Las Bambas” regionalmente está enmarcado en la margen Sur de la Deflexión de Abancay (12° a 14° Latitud Sur); esta estructura se caracteriza por evidenciar un cambio en el “*trend*” de los Andes peruanos pasando de NO-SE a E-O por más de 200 Km como consecuencia de la colisión de la placa de Nazca con el margen litoral pacífico peruano predisponiendo su morfología actual (bayoneta); asociada a este hecho esta la orogenia andina con sus diferentes direcciones de acortamiento NE, NS, EO. En conclusión, la tectónica y el estilo estructural en la región y a escala local están asociados a la evolución tecto-estructural de la deflexión de Abancay. (Megard, 1979)

Este cinturón metalogénico está hospedado principalmente en el Batolito de Andahuaylas-Yauri, el cual presenta intrusiones múltiples de tendencia calcoalcalina. Las principales deformaciones en la región, causantes del fallamiento y plegamiento son asociadas a la fase Inca. (Cerpa, 2002)

Localmente el área del yacimiento “Las Bambas” presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a la caliza del Cretáceo inferior-superior (Formación Ferrobamba). Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azulccacca obedecen a un alineamiento estructural ONO-ESE similar al del “*trend*” del gran batolito Andahuaylas-Yauri de dirección ONO-ESE. (Cerpa, 2002)

Ver la figura 2-6, sobre la distribución y disposición geométrica del Batolito “Andahuaylas-Yauri”.

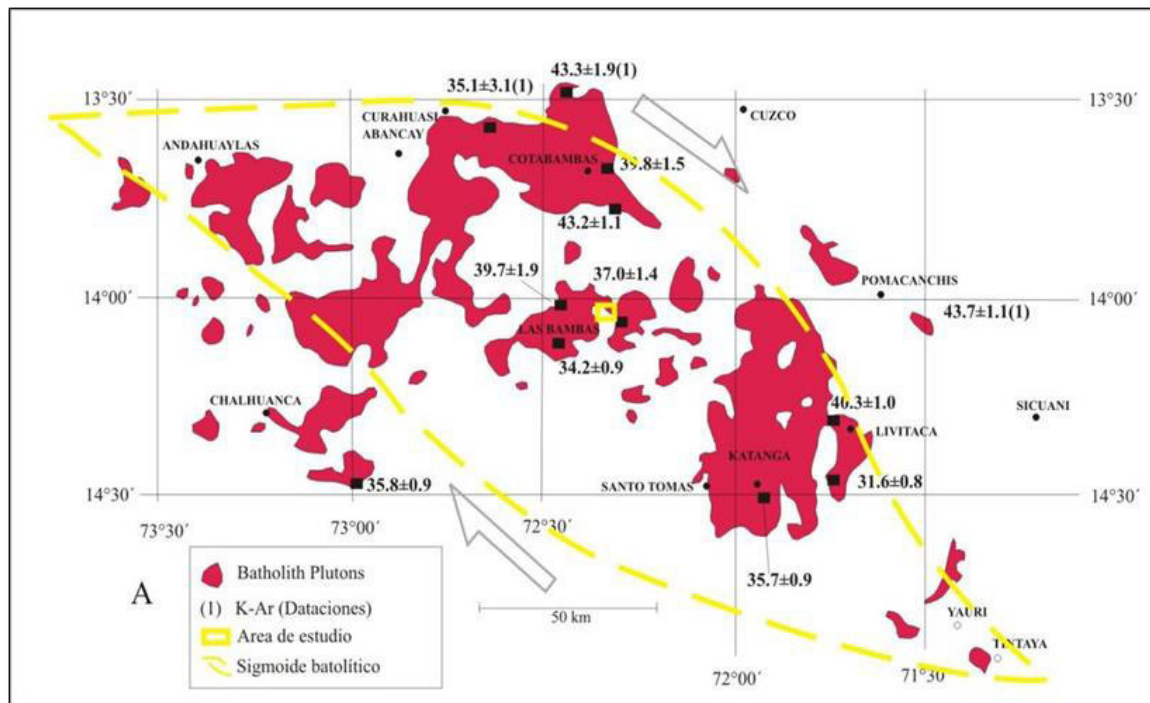


Figura 2-6: Distribución y disposición geométrica del Batolito “Andahuaylas-Yauri”.

Fuente: (Xstrata, 2010)

a) Fallas y Pliegues

En el yacimiento minero “Las Bambas” el desarrollo estructural es notorio, siendo predominantes las deformaciones dúctil y frágil en forma de sinformes, antifformes asimétricos, fallas normales, inversas, lineamientos y cabalgamientos. La deformación estructural a escala local fotointerpretada evidencia fallamientos principales de tendencia general ONO-ESE que cortan a las secuencias sedimentarias del Mesozoico; este “*trend*” estructural es cortado por fallas NE-SO y tardíamente por fallamientos en bloques postmineralización de dirección NS, un ejemplo sería la falla Challaque al E del Yacimiento Ferrobamba. El sistema NE-SO controla la mineralización de cobre en varios sectores del yacimiento. (Bambas, 2010)

Existen además fallas de tipo “*thrust fault*” en la zona S del proyecto. Son reconocidas principalmente en las unidades sedimentarias por mostrar inconformidades debido al desplazamiento entre unidades litológicas asociadas a un bajo ángulo del plano de fallamiento; debido a esto, todas las unidades sedimentarias se encuentran plegadas formando antifformes, sinformes, algunos de ellos volcados, cuyos ejes axiales tienen dirección NO-SE y E-O. Existen también pliegues replegados con ejes N-S y NNE-SSO asociados a una fase deformativa dúctil durante la fase Inca con dirección compresiva NE-SO. En muchos casos las posiciones de los estratos han sido favorables para la formación de los cuerpos de skarn en contacto con las fases de intrusión. (Bambas, 2010)

b) Yacimiento Ferrobamba

En Ferrobamba de acuerdo al control de campo, así como al análisis de imágenes (ortofotos) se ha diferenciado varios tipos de estructuras: fallas, lineamientos y pliegues. La falla Chuspiri-Fuerabamba de dirección ONO-ESE es la estructura principal que atraviesa la parte sur de tajo, su presencia podría ser resultado de una reactivación de un fallamiento antiguo de comportamiento cinemático tipo “*thrust*” en su etapa inicial, pasando posteriormente a un régimen normal-transtensivo local que influyó en el emplazamiento de los plutones monzoníticos mineralizantes, además de los esfuerzos distensivos en la región como consecuencia de una deformación regional. (Bambas, 2010)

Otras estructuras asociadas al fallamiento principal son las fallas tensionales NE-SO dispuestas principalmente en el lado N de la falla Chuspiri-Fuerabamba; estas fallas secundarias son el resultado de la cinemática de esta estructura principal, así como de esfuerzos tensionales en el sector.

Ver figura 2-7, se muestra el mapa estructural del yacimiento Ferrobamba.



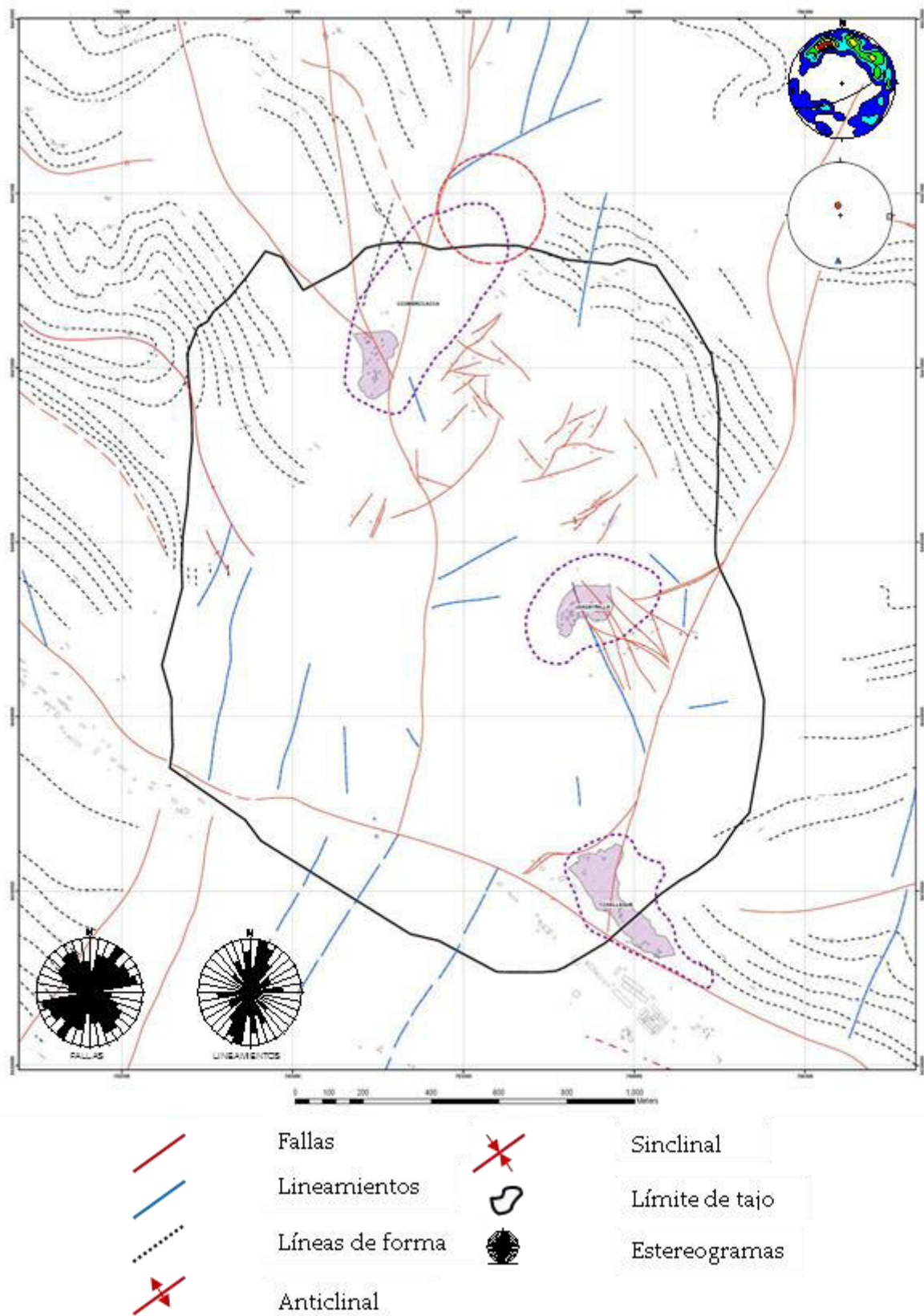


Figura 2-7: Mapa estructural del yacimiento “Ferrobamba”.
Fuente: (Xstrata, 2010)

El análisis de los estereogramas (Círculos máximos y tensores de esfuerzos) evidencian regímenes extensionales en la dirección N-S, asociadas a fallamientos de tendencia normal.

Ver figura 2-8, sobre diagrama de frecuencias y estereogramas de fallas del yacimiento “Ferrobamba”

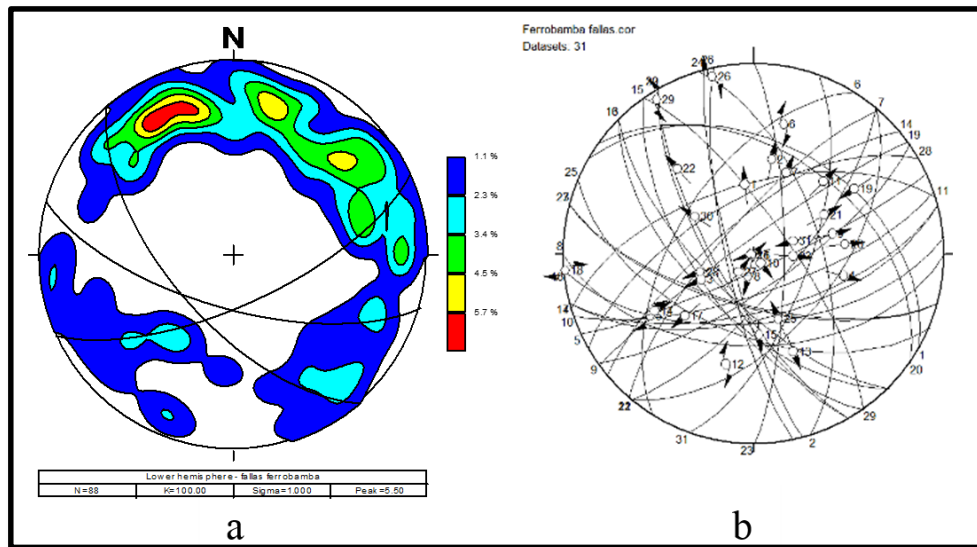


Figura 2-8: Diagrama de frecuencia y estereograma de fallas del yacimiento “Ferrobamba”.
Fuente: (Xstrata, 2010)

2.1.7. Fases de Intrusión

El Batolito de Andahuaylas-Yauri, en la zona del yacimiento minero “Las Bambas” presenta una evolución magmática de diorita ==> granodiorita ==> cuarzo feldespato ==> monzonita. La ocurrencia de mineralización está asociada a por lo menos las dos últimas fases. (Bambas, 2010)

a) Diorita (Di)

Es la primera fase de intrusión, presenta variaciones en su composición y textura. Su textura es casi equigranular, con desarrollo de plagioclasas y anfíboles anhedrales de tamaño variable. Los mayores afloramientos se encuentran en SulfoBamba y en el sector norte y noreste de la Unidad Operativa. Esta fase en contacto con las calizas Ferrobamba, ha originado grandes cuerpos de skarn de magnetita y granate en Chalcobamba y SulfoBamba. En otros lugares los skarn son más pequeños, como los que afloran al sur de Charcas, noroeste de Azulccacca, oeste de Huancuire y noreste de la comunidad de Pumamarca. Fuera del proyecto, también se han identificado skarn de magnetita asociados a diorita en las cercanías de Andahuaylas, Huinchos, Tintaya, Ccorocohuayco y otros. Por lo general estos skarn presentan débil mineralización de cobre. (Bambas, 2010)

b) Granodiorita (Gr)

Es la segunda fase de intrusión, de composición y textura variable, aflora en grandes extensiones en el proyecto (parte central, oeste y noreste). Esta fase es de grano grueso, textura equigranular

algo porfirítica, con escasa matriz, cristales de cuarzo, plagioclasas y anfíboles (todos subhedrales a anhedrales) y biotita en forma de agregados de mica. No son típicos los libros de biotita. También forma pequeños cuerpos de skarn de granate de color marrón amarillento, con pobre mineralización de cobre. Parte de una de estas fases graníticas que se encuentra adyacente a la fase mineralizante en Chalcobamba, presenta alteración potásica (biotita secundaria) con débil mineralización de calcopirita. (Xstrata, 2010)

c) Pórfido Cuarzo Feldespático (QFP)

Es la tercera fase de intrusión, presenta variación en composición y textura; la característica de esta fase es que presenta fenocristales de feldespato potásico, textura porfirítica y grano grueso. Aflora en la parte norte y noroeste de la concesión y se ha reconocido hasta tres unidades dentro de esta fase; siendo la primera mucho más granítica (considerada como una unidad batolítica) y de mayor extensión. Las otras dos afloran en forma de pequeños cuerpos y diques, emplazados generalmente dentro de la primera unidad; con alto contenido de minerales máficos en los contactos con otras unidades.

De acuerdo a las ocurrencias de mineralización reconocidas en Sulfobamba y Azulccacca, la primera unidad es considerada como roca huésped (*host rock*), mientras que la fase intermedia es la que está asociada con la mineralización. No desarrolla cuerpos de skarn en contacto con las calizas Ferrobamba, pero sí las mineraliza con sulfuros de Cu y Fe.

En la roca huésped y en la unidad intermedia se han desarrollado sistemas de mineralización tipo pórfido, con alteración potásica (biotita secundaria > feldespato potásico) en la parte central, con zonas de formación de albita-epídota (y otra variedad de epidota denominada Tulita de color rosado pálido), clorita y trazas de sericita. Hacia las partes periféricas el ensamble, es epídota-clorita-calcita.

Estos sistemas se encuentran mineralizados con piritita y calcopirita en forma diseminada, en venillas y en venillas de cuarzo, siendo este último otro factor de alteración y mineralización en estos sistemas. En superficie la alteración potásica no es fácil de reconocer, en cambio el ensamble propilítico es evidente. (Xstrata, 2010)

d) Monzonita (Mz)

Constituida por fases sucesivas con fuerte variación en su textura. Sus afloramientos están relacionados a zonas mineralizadas de la Unidad Operativa y también en la franja Andahuaylas-Yauri. Generalmente son fases que originan centros de mineralización, como el distrito de Tintaya, Katanga, Huinchos, Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba, Los Chancas y otros centros de menor relevancia.



Estas zonas mineralizadas presentan cuerpos de skarn de granates, piroxenos y magnetita, asociados a sistemas del tipo pórfido. Gran parte de los skarn presentan mineralización de sulfuros de cobre, con leyes $> 1\%$ de Cu; en los endoskarn además de los sulfuros de cobre también se tiene molibdenita.

Los sistemas del tipo pórfido presentan mineralización de sulfuros de cobre y molibdenita, con leyes $< 1\%$ de Cu. En el distrito minero de “Las Bambas” estas fases se han emplazado en las áreas de Ferrobamba y Chalcobamba, dando lugar a la formación de mineralización en skarn y sistemas tipo pórfido de cobre y molibdeno. (Xstrata, 2010)

2.1.8. Fases Tardías

Como en todo complejo magmático, producto final de la diferenciación se tiene diques tardíos que afloran en varios sectores del distrito minero; son de composición latítica, dacítica y andesítica. Algunos diques afloran a lo largo de varios kilómetros.

En Ferrobamba al igual que en Chalcobamba, los diques son de composición cuarzo-monzonítica y se caracterizan por presentar “ojos” de cuarzo y ocasionalmente fenocristales de ortosa; la dirección predominante de estos diques es NO-SE en Ferrobamba y en Chalcobamba ONO-ESE y NE-SO. Localmente presentan alteración de plagioclasas, clorita, epidota y sericita, con débil mineralización de pirita, calcopirita y trazas de bornita.

En Sulfobamba, los diques son de composición latítica y sus afloramientos tienen dirección NE-SO, con longitudes mayores a los 3 Km. Presentan débil alteración propilítica, con ensamble de epidota, clorita y pirita diseminada. (Xstrata, 2010)

2.1.9. Alteración

Las diferentes fases de intrusión del Batolito de Andahuaylas-Yauri han ocasionado diferente grado de metamorfismo y metasomatismo, tanto en la roca huésped como en las mismas rocas intrusivas. En “Las Bambas” las fases de intrusión han dado lugar a diferentes ensambles de alteración, los que se indican a continuación:

Los intrusivos (pórfidos) con mineralización de Cu-Mo (Au); presentan alteración potásica con biotita secundaria, feldespato potásico y magnetita (zona de mayor temperatura); gradando a una alteración propilítica con epidota, clorita, pirita y trazas de calcopirita hacia los bordes. Las calizas Ferrobamba en contacto con las fases mineralizantes han sido alteradas a mármol y skarn, con mineralización de Cu (Mo-Au). Los cuerpos de skarn son irregulares y están constituidos por granates, piroxenos y magnetita. Los intrusivos también han sido alterados a endoskarn de silicatos con presencia de sílice y mineralización de Cu-Mo (Au). (Xstrata, 2010)



2.1.10. Mineralización

El emplazamiento de fases mineralizantes dentro del batolito de Andahuaylas-Yauri ha originado numerosas ocurrencias de mineralización, que en algunos casos forman yacimientos económicos como Tintaya, Antapacay, Las Bambas, Los Chancas, etc. En el área del distrito minero “Las Bambas” existen varias zonas con mineralización, siendo las más importantes Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. (Bambas, 2010)

a) Sulfuros

En el área de los yacimientos (Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba y otros), tenemos abundante mineralización de sulfuros de cobre con moderada cantidad de óxidos. Los sulfuros de cobre predominantes son la calcopirita y bornita; la bornita es más abundante en Ferrobamba respecto a las otras áreas. También se tiene molibdenita, siendo más abundante en los pórfidos que en el skarn.

La ocurrencia de sulfuros secundarios, principalmente calcosina y menores cantidades de covelita es moderada. Actualmente Ferrobamba es el área que tiene más cantidad de sulfuros secundarios. Otros sulfuros como esfalerita y galena, ocurren en las partes distales de los sistemas de cobre, siendo más abundantes en Sulfobamba. (Bambas, 2010)

b) Óxidos

La zona de óxidos en las tres áreas (Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba), es algo superficial y tiene poca profundidad en general menor a 25 metros; localmente la oxidación profundiza hasta más de 50 metros a lo largo de zonas de fallas y fracturas.

En Ferrobamba, la zona de óxidos está conformada por crisocola, tenorita, “*copper pitch*” (*goethite copper bearing*), poca malaquita, neotocita, goethita y jarosita. También hay cobre nativo evidenciado en algunos sondajes, está asociado a zonas de brecha en forma de pequeñas láminas. (Bambas, 2010)

2.1.11. Geología Local

La Unidad Operativa “Las Bambas” comprende varias zonas mineralizadas, siendo a este momento las más importantes Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. También hay otras áreas que todavía no han sido estudiadas en detalle, entre las cuales están Charcas y Azulccacca. (Bambas, 2010)

2.1.11.1. Ferrobamba

Se encuentra ubicada en el sector SE del distrito Minero “Las Bambas” y es una de las áreas de mayor interés en cuanto a contenido de mineralización de Cu, con valores de oro, plata y molibdeno; tiene una extensión con evidencias de mineralización de 300 hectáreas aproximadamente. (Bambas, 2010)

Ver fotografía 2-2, “Yacimiento Ferrobamba” antes del inicio de las operaciones.





Fotografía 2-2: “Yacimiento Ferrobamba” (vista de NO a SE).
Fuente: (Bambas, 2010)

a) Rocas Sedimentarias

En el área aflora una potente secuencia de horizontes calcáreos de la formación Ferrobamba, constituidos por niveles de calizas con “*chert*”, calizas fosilíferas y bioclásticas, calizas impuras con clásticos finos, así como horizontes masivos y laminados. En el sector norte, presenta una posición estratigráfica variable entre 100° a 130° de azimut con buzamientos de 50° a 60° y al frente del campamento los estratos se encuentran casi horizontales. En general la formación Ferrobamba, se encuentra fuertemente plegada debido a eventos tectónicos del Mesozoico superior y principios del Cenozoico. (Bambas, 2010)

b) Rocas Intrusivas

La secuencia calcárea de la formación Ferrobamba ha sido cortada por varias fases de intrusión. La primera fase es una monzonita biotítica (**MZB**), de grano medio a grueso, textura porfírica, relación de fenos: matriz = 75:25. Se caracteriza por presentar libros de biotita hasta 4 mm. de diámetro, plagioclasas seriadas algunas en forma de cuña, hornblendas prismáticas alargadas y cristales de cuarzo anhedral menor al 1%; como accesorios esfena y magnetita. Aflora en gran parte en el sector sur y es una de las fases que ha formado cuerpos de skarn de granate de color marrón rojizo, verde-amarillento, piroxeno y en menor proporción magnetita; con

mineralización de calcopirita, bornita y molibdenita asociada a la alteración potásica de biotita secundaria, ortosa y magnetita. (Bambas, 2010)

Ver figura 2-9, sobre el plano geológico del yacimiento Ferrobamba y en la figura 2-10, se muestra las secciones geológicas del yacimiento Ferrobamba.

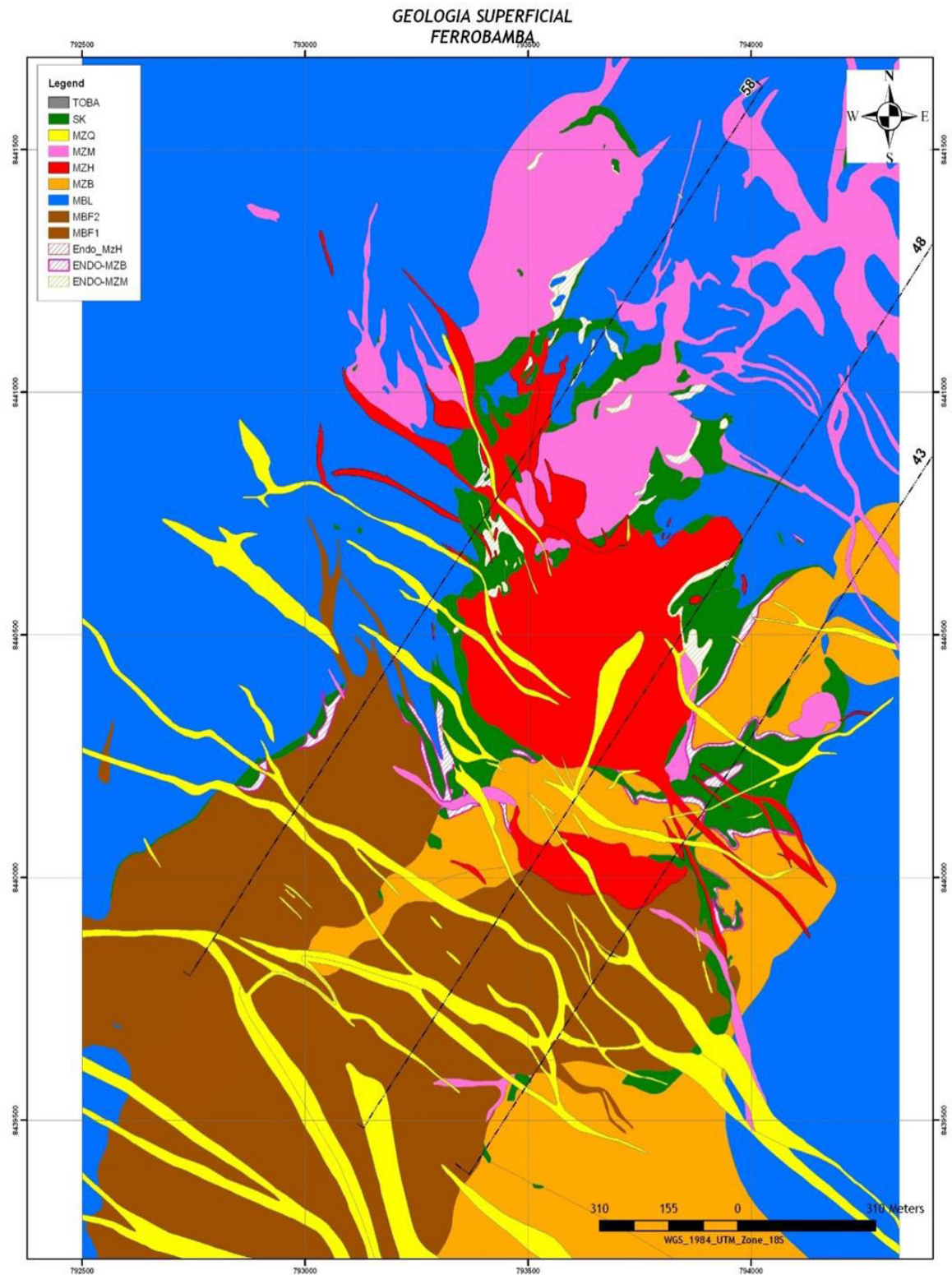
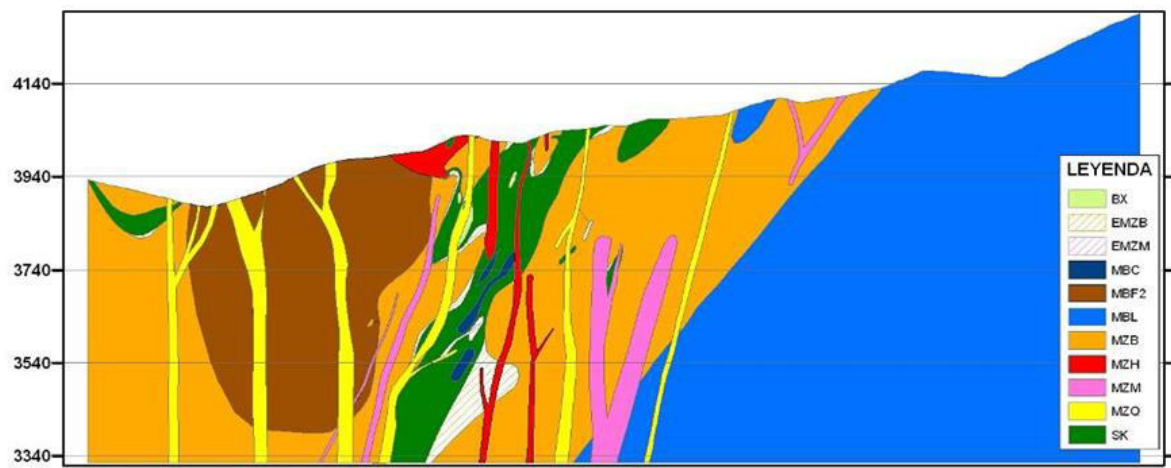
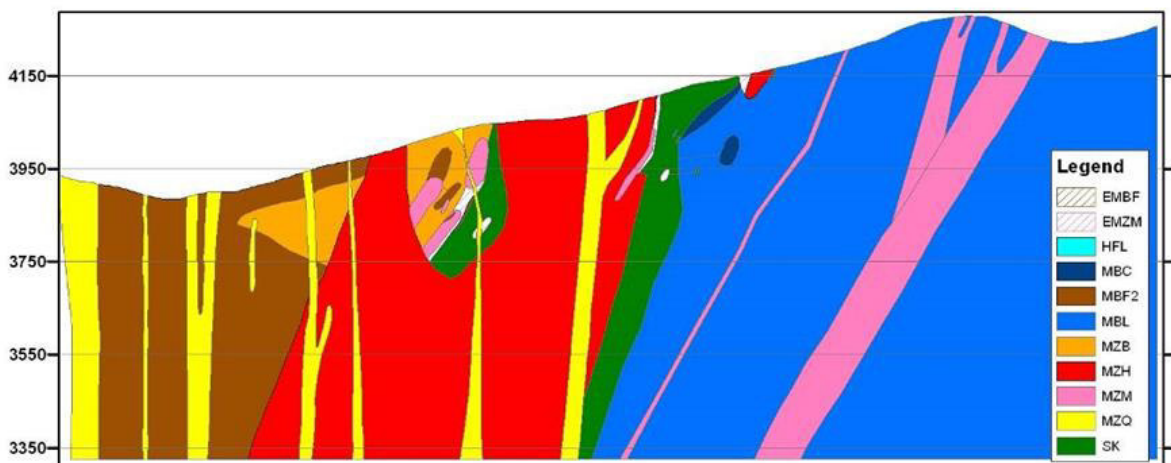


Figura 2-9: Plano Geológico del Yacimiento “Ferrobamba”.

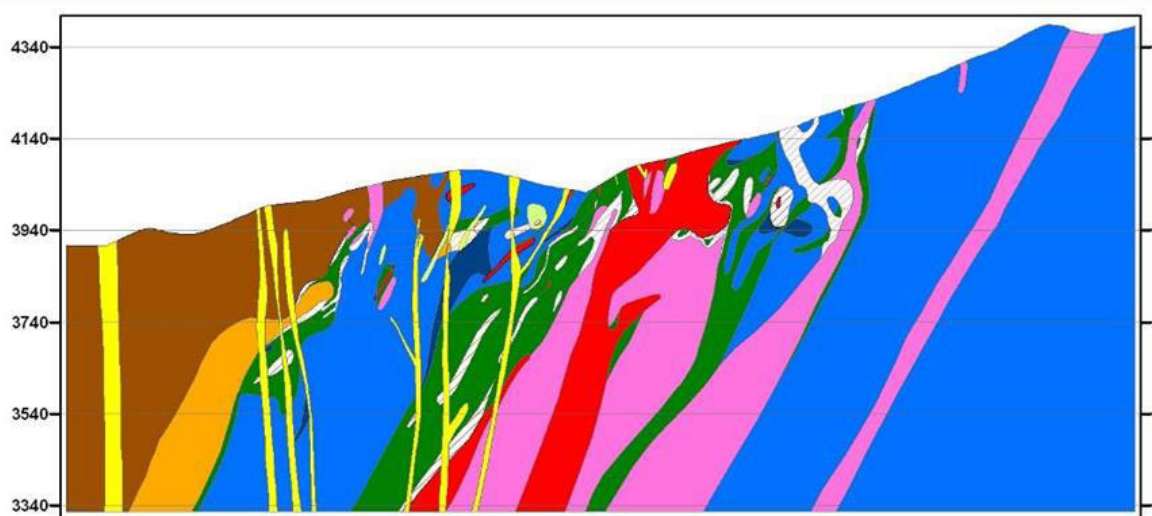
Fuente: (Xstrata, 2010)



SECCION GEOLOGICA 43



SECCION GEOLOGICA 48



SECCION GEOLOGICA 58

Figura 2-10: Secciones geológicas (Az 35°) “Ferrobamba”.
Fuente: (Bambas, 2010)

2.1.12. Método de Explotación

Los depósitos minerales de “Las Bambas” se explotan mediante el método de tajo abierto, también llamado “open pit”, usando equipos gigantes para los procesos operativos que se describirán posteriormente. Las dimensiones de los bancos son de 15 m. de altura y un diámetro de taladros de 12 ¼ de pulgadas, en la actualidad se cuenta con 8 máquinas perforadoras y 4 máquinas de martillo en fondo para la perforación del precorte.

2.1.13. Procesos operativos de Minado

El proceso operativo de minado de “Las Bambas” se describe básicamente en cuatro etapas, en torno a las cuales gira toda la operación de extracción. Éstas son: Perforación, Voladura, Carguío y Acarreo. Actualmente en la Unidad Operativa se viene explotando el “Tajo Ferrobamba”.

El proceso se inicia con la perforación de taladros en el área a explotar, posteriormente se cargan con explosivos a granel como ANFO o mezclas de ANFO con emulsión gasificada (Fortis Extra), También llamado ANFO Pesado; para luego realizar la voladura o disparo.

El material fragmentado es cargado a los camiones de gran capacidad, mediante palas y excavadoras.

2.1.14. Perforación

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, ..., hoyos o “*blast holes*”.

Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo. (EXSA, 2002)

a) Equipos de Perforación

Los equipos de perforación están distribuidos en los diferentes componentes del “Tajo Ferrobamba” según el plan de minado desarrollado por el equipo de Planeamiento de la Unidad Operativa “Las Bambas”. Las perforadoras cuentan con un sistema de comunicación conectado al servidor, mediante el cual son capaces de perforar desde cualquier ubicación las mallas de perforación que son diseñadas en las oficinas administrativas. Las perforadoras con un sistema de alta precisión, operan de manera satelital y pueden perforar los taladros según las coordenadas del diseño con ± 15 cm. de desviación.

Se presenta la tabla 2-1, sobre los equipos de perforación que se tiene en los diferentes componentes del “Tajo Ferrobamba”.



Tabla 2-1: Equipos de perforación “Las Bambas”.

Perforadoras	N° Unidades	Diámetro de Brocas (Pulgadas)
CAT MD6640 "Eléctrica"	4	12¼
P&H 250XP "Eléctrica"	4	12¼
SANDVIK DR560	2	5
ATLAS COPCO ROCK L8	2	3 y 4

Fuente: Elaboración propia.

Ver fotografía 2-3, que corresponde a una perforadora eléctrica P&H 250 XP en la zona de Jahuapaylla Baja.



Fotografía 2-3: Perforadora P&H 250 XP.

Fuente: Propia

b) Mallas de perforación y tipos de taladros

Las mallas de perforación son diseñadas por el equipo de Diseño de P.&V. (M.M.G.), que utilizan parámetros geológicos y geotectónicos para determinar el tipo de material, y asignar el burden, espaciamiento, sobre perforación y tipo de carga para cada malla y sus respectivos taladros. Toda la información de diseño es registrada para poder evaluar y realizar mejoras posteriores en el área.

En “Las Bambas” se tiene 3 tipos de diseño de taladros, los cuales tienen diferentes funciones según las necesidades y fases de la mina. Estos son: Precorte, Procedimiento y Producción. A continuación, se describen sus principales funciones:

- **Precorte.** - Primera fila de taladros pegada a la pared final (de diseño) del talud. El objetivo es proteger la pared final minimizando las vibraciones al absorber la onda de choque.
 - Diámetro de perforación: 5 pulgadas
 - Espaciamiento: 1.5 m. a 2.0 m.
 - Longitud de perforación: 16 m.
 - Inclinación: 65°- 80°

- **Procedimiento.** - Funcionan como Buffers para amortiguar vibraciones y la onda de choque cercana a la pared. Consta de un paquete de taladros de dos filas: Adyacente, 1° Producción. Cada taladro tiene un diseño y carga especial.

- **Producción.** - Son taladros diseñados para maximizar la producción de la voladura. La función es fragmentar óptimamente el material. Está ligado a la producción de los equipos de carguío.
 - Diámetro de perforación: 12¼ pulgadas
 - Malla de perforación: patrón triangular equilátero de 6.5 m. a 12 m.
 - Longitud de perforación: 15 m.
 - Sobre perforación: 1.5 m. a 2.0 m.

2.1.15. Voladura

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

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



Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la mejor fragmentación. Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminución en las plantas metalúrgicas, mientras que en la de rocas algunas veces se requiere que sea en grandes bloques, como los que se emplean para la construcción de rompeolas. El desplazamiento y la forma de acumulación del material se proyecta de la forma más conveniente para el paleo o acarreo de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles. (EXSA, 2002)

La voladura en el “Tajo Ferrobamba” consiste en el carguío mecanizado con camión fábrica o “Movil Manufactured Unit” (M.M.U.) de taladros con explosivos (emulsión gasificada “Fortis Extra” y ANFO pesado gasificado) según el diseño de columna explosiva para mineral y desmonte entregado por el área de Planeamiento de “Las Bambas”. El área de Asistencia Técnica de ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A. “Las Bambas” realiza un reporte diario de los procesos de voladura, donde se detalla lo ocurrido en las voladuras del día: generación de humos y gases, tiros cortados, demoras operativas y otros sucesos imprevistos. Asimismo, en cada voladura se efectúan los registros y mediciones siguientes:

- Filmación del disparo.
- Fotografías del proyecto antes y después del disparo.
- Análisis de fragmentación.
- Medición de velocidad de detonación en un taladro del proyecto.

Ver fotografía 2-4, se muestra al Camión Fábrica o (M.M.U.) Mercedes Benz (Q-44).



Fotografía 2-4: Camión Fabrica (Q-44).
Fuente: Propia.

2.1.16. Carguío

Es la tercera etapa que forma parte del proceso de explotación del “Tajo Ferrobamba”. Se refiere específicamente a la carga de material (mineral o desmonte) con palas y cargadores frontales a los equipos de acarreo.

“Las Bambas” cuenta con el sistema de gestión de flotas Dispatch, el cual permite maximizar la producción y eficiencia de los equipos de carguío y acarreo.

Se presenta la tabla 2-2, sobre los equipos de carguío que se tiene en el “Tajo Ferrobamba”.

Tabla 2-2: Flota de Equipos de Carguío “Las Bambas”

Cargador y Palas	Nº Unidades	Capacidad de cucharón (m ³)
CAT 7495 "Eléctrica"	2	19.1 - 61.2
P&H 4100 XPCAC-90 “Eléctrica”	2	42 – 49
CAT 6060 FS “Hidráulica”	2	34
Cargador Frontal L-2350 Letourneau	1	40

Fuente: Elaboración Propia.

Ver fotografía 2-5, se muestra el Cargador Frontal L-2350 “Le Tourneau” en la zona de Jahuapaylla Baja.



Fotografía 2-5: Cargador Frontal (L-2350) “Le Tourneau”.

Fuente: Propia.

Ver fotografía 2-6, se muestra la Pala Eléctrica (CAT 7495) en la zona más baja del Tajo Ferrobamba denominada “Mini Tajo”.



Fotografía 2-6: Pala Eléctrica (CAT-7495)
Fuente: Propia

2.1.17. Acarreo

Es la operación destinada al traslado de material (mineral y desmote) a los diferentes destinos de la mina como: Chancador primario y botaderos de desmote.

El material fragmentado en los diferentes componentes del “Tajo Ferrobamba” es minado por el cargador frontal (L-2350), palas (CAT 7495 “Eléctrica”, P&H 4100 XPCAC-90 “Eléctrica”, CAT 6060 FS “Hidráulica”) y es transportado a los diferentes puntos de destino mediante camiones “KOMATSU” 930E con capacidad de 300 toneladas y camiones “CAT 797F” con capacidad de 400 toneladas.

Tabla 2-3: Flota de Equipos de Acarreo “Tajo Ferrobamba”.

Camiones Mineros	Nº Unidades	Capacidad de tolva (Tm)
KOMATSU 930E	45	300
CAT 797F	5	400

Fuente: Elaboración Propia.

Ver fotografía 2-7, se muestra al camión (KOMATSU 930E) y en la fotografía 2-8, se presenta al camión (CAT 797F).



Fotografía 2-7: Camión (KOMATSU 930E).
Fuente: Propia.



Fotografía 2-8: Camión (CAT 797F).
Fuente: Propia.

2.2. Antecedentes

- En una investigación realizada por (Vilca, 2013) p.4, cuyo título es: “Uso de emulsiones gasificadas (SAN-G) para el mayor rendimiento de la columna explosiva en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (Comarsa)”, se propuso determinar las mejoras de la productividad y reducir los costos, al hacer uso de las emulsiones gasificadas (SAN-G), de las cuales determinó los beneficios en la seguridad y el medio ambiente que podrá obtenerse al hacer uso de las emulsiones gasificadas (SAN-G). Asimismo, su objetivo general fue conocer el procedimiento tecnológico que se realiza cuando se usa las emulsiones gasificadas (SAN-G) al realizar la voladura. Describió que las operaciones se realizan por el método de minado a tajo abierto. El carguío de mineral y desmante se realiza con cargadores frontales y excavadoras hidráulicas, mientras el acarreo con volquetes: Volvo-FMX y SCANIA-460, ambos de 15 m³, pertenecientes a Contratas como: POMISPA, EQUIDRILL, GEMINIS, CORFRANSA, VIRCAR S.R.L. y OCP haciendo un total de 150 unidades.
- Por otro lado, (Medina, 2014) p.7, en su tesis titulada “Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone-Southern Perú”, Analiza, evalúa y se discute el uso de la emulsión gasificada AP-73Q y se compara con los resultados obtenidos usando ANFO pesado 45/55 en las operaciones mineras de voladura de rocas en Cuajone. Para lo cual se llevaron a cabo varios disparos primarios. Algunos de estos disparos primarios fueron cargados solamente con emulsión gasificada AP-73Q para poder comparar los resultados obtenidos, y otros disparos fueron cargados con emulsión gasificada AP-73Q y ANFO pesado 45/55. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en términos de fragmentación y uniformidad, se debe mencionar que en términos generales con las dos mezclas explosivas se obtuvieron buenos resultados desde un punto de vista técnico-económico-ecológico. Para lo cual, se recomienda en forma especial que se continúe con estas pruebas usando las dos mezclas explosivas comerciales mencionadas anteriormente. También se debe estandarizar el uso de los fulminantes electrónicos para la iniciación de los disparos primarios. Lo mismo que se debe continuar usando cámaras de aire en los taladros de producción
- Asimismo, (Huangal, 2014) en su tesis titulada “Evaluación técnica económica del uso del SAN-G en mina “La Arena”, describe que en minera “La Arena” de Río Alto Mining Limited, para lo cual se trabajó con Heavy ANFO, explosivo que tenía el problema de la fragmentación requerida y emanación de óxidos nitrosos al medio ambiente. El material disparado es transportado directamente al PAD lixiviación, ya que esta mina no cuenta con chancadora. El material de desmante del tajo es destinado a los botaderos, es por ello que se realiza un análisis en la aplicación de un explosivo, que permita la obtención de la fragmentación requerida y no contamine al medio ambiente.



- Por otra parte, (Salcedo, 2015), en su investigación cuyo título es “Evaluación técnica económica de la emulsión gasificada en minera Yanacocha SRL”, indica que en el presupuesto del año 2 015, la Gerencia General de la Empresa Minera Yanacocha S.R.L. (M.Y.S.R.L.), luego de realizar un benchmarking con otras Unidades Operativas de la corporación Newmont, planteó al área de perforación y voladura la búsqueda de tecnologías que reduzcan el costo por tonelada primaria removida manteniendo o mejorando los resultados producidos por los disparos. La emulsión gasificada se muestra como una alternativa de solución que puede reemplazar los explosivos convencionales usados en M.Y.S.R.L., tales como el ANFO y el ANFO pesado, planteando un ahorro aproximado de \$ 40 000 mensuales, mejoras en la fragmentación de la roca y la eliminación de gases nitrosos productos de las voladuras, además de mejorar la resistencia del explosivo a terrenos con presencia de agua, los cuales se presentan durante todo el año en M.Y.S.R.L.
- Igualmente, (Llacma, 2017) p. iv, en su trabajo de investigación que lleva por título “Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura Mina Cuajone”, demuestra los resultados de las voladuras con una nueva tecnología en explosivo, una mezcla explosiva gasificable, y los beneficios que presenta en optimización en los resultados de fragmentación y ahorro de en costos. El trabajo describe el desarrollo de las pruebas las cuales se llevaron a cabo desde el año 2 014 y se masifica su uso después de la prueba, esto originó la necesidad de modificar sistemas técnicos y operativos, como el rediseño en los parámetros de perforación y voladura, capacitación técnica especializada en la aplicación del nuevo explosivo, acondicionamiento de la logística a la tecnología de gasificación (camiones Fábrica). Los resultados obtenidos en Mina Cuajone con la aplicación integral de la mezcla explosiva gasificada, se ve reflejado en un ahorro tangible de 5 780 157 dólares. Finalmente, con esta nueva tecnología en explosivo se está logrando la fragmentación requerida, especialmente en zonas mineralizadas donde se obtiene una reducción de la fragmentación de 7.1% e incremento de la velocidad de excavación de las palas en 10%.
- Finalmente, (Alcazar, 2017) p. xvi, en su tesis titulada “Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro”, analiza la viabilidad técnica, económica y operativa de un nuevo tipo de emulsión. Es así que se elaboró una línea base para luego poder trazar los objetivos y empezar con las pruebas. Después de desarrollar las pruebas se realizó el análisis correspondiente y se determinó que el producto tiene ventajas desde el punto de vista económico y operativo. Ventajas económicas el precio de introducción que presenta este nuevo producto y por su mayor energía específica a emulsiones anteriores ha permitido incrementar parámetros en malla de perforación generando un ahorro económico para la compañía minera. El uso de ANFO pesado 73 en base a emulsión gasificable demostró ser más eficiente en términos operativos y económicos sobre el ANFO pesado 55 en base a emulsión matriz, para terreno suave (CG,FG), se incrementó los parámetros de perforación de 4.8 m. × 5.5 m. a 5.0 × 5.8 m. (malla triangular), consiguiendo un ahorro para terreno suave de \$ 40 093 por cada 1 000 000 de toneladas producidas, para una producción anual de 12 000 000 toneladas se tendrá un ahorro anual de \$ 481 116.



2.3. Marco referencial

2.3.1. Explosivos

Los explosivos son sustancias o mezclas químicas, con la propiedad de cambiar a un estado más estable, mediante una reacción química exotérmica en un instante de tiempo, liberando toda la energía que contienen en forma de gases, sonido y calor de una manera violenta.

Parte de esta energía liberada es utilizada en la fragmentación de roca, especialmente la producción de gases a gran presión y temperatura. En la industria minera, la voladura es el método más productivo para la excavación en roca dura.

Existe una variedad de clasificaciones para los explosivos en base a sus distintas características o aplicaciones. (Ames, 2007)

2.3.2. Componentes esenciales de los explosivos:

- **Oxidante.** - Es un producto químico que entrega oxígeno para la reacción. Nitrato de amonio es lejos el oxidante más común.
- **Combustible.** - El combustible reacciona con oxígeno para producir calor. Los combustibles comunes incluyen el petróleo y al polvo de aluminio.
- **Sensibilizador.** - Un sensibilizador entrega espacios vacíos que actúan como “puntos calientes” y es donde empieza la reacción durante la detonación. Los sensibilizadores son generalmente aire o gas en forma de burbujas muy pequeñas, a veces encapsuladas en “microballons” de vidrio (GMBs). (ORICA, 2008)

Se presenta la tabla 2-4, sobre los componentes usados en la fabricación de explosivos comerciales de ORICA.

Tabla 2-4: Componentes usados en la fabricación de explosivos comerciales ORICA.

COMPONENTE	ANFO	FORTAN	FORTIS
Oxidante	Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio
Combustible	Petróleo	Petróleo	Petróleo, Parafina
Sensibilizador	Aire Retenido	Aire Retenido	Micro Burbujas de Gas
Otro		Emulsificador	Emulsificador

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.



2.3.3. Tipos de reacción en función de la cinética química

Todos los explosivos industriales están en gran medida constituida por una mezcla de sustancias, combustible y comburente que dan lugar a reacciones químicas de oxidación cuya característica es su rapidez, ya que los impulsos de energía aplicado a las moléculas de los explosivos ocasionan fuerzas de atracción entre los átomos, las cuales se disocian para luego reagruparse en formas estables. Toda la gran energía que se libera es la reacción exotérmica propiamente dicha manifestada en formas de ondas de presión y altas temperaturas, las cuales ocasionan y provocan sucesivas disociaciones de las moléculas adyacentes, de modo que la reacción se propaga de todas las partículas y la velocidad con que se manifiesta esta propagación puede o no estabilizarse hasta alcanzar valores, de modo que, las reacciones de oxidación se dividen en tres tipos de reacción, que son, combustión, deflagración y detonación en función de su velocidad con la cual se produce. (Bernaola, 2013).

Se muestra la figura 2-11, sobre los Tipos de Reacción en función de la cinética química.

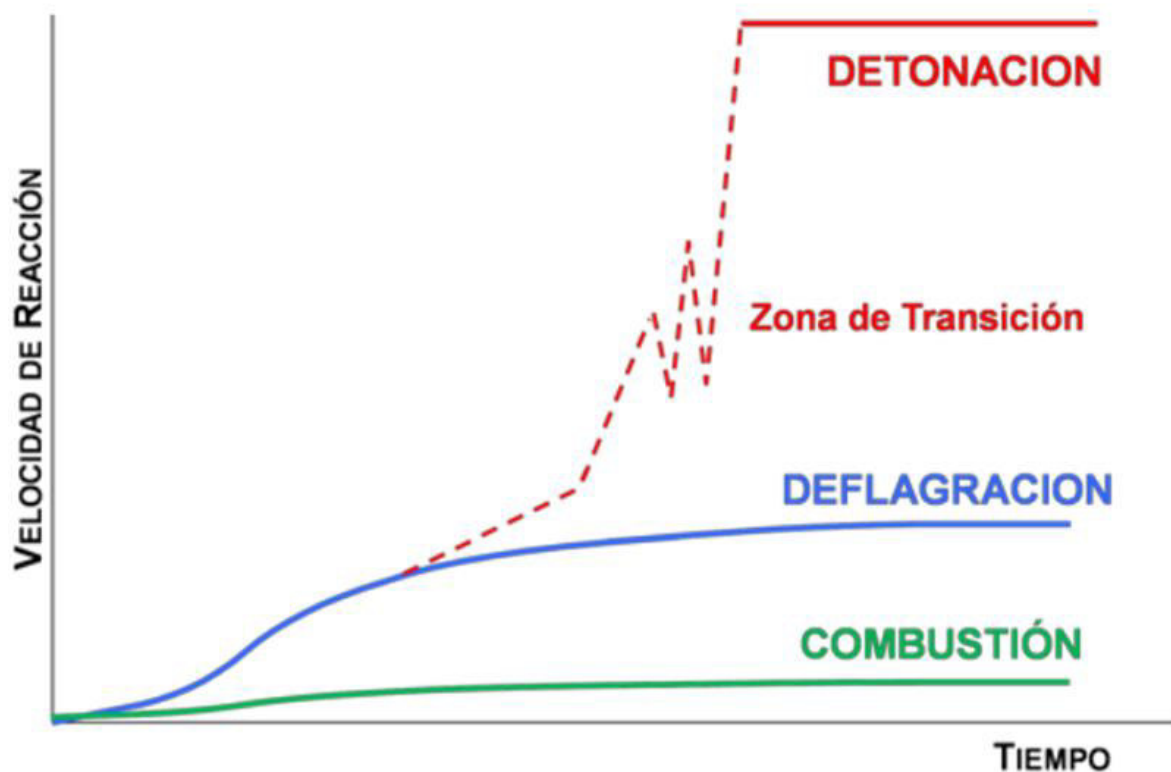


Figura 2-11: Tipos de Reacción en función de la cinética química.

Fuente: (Bernaola, 2013)

a) Combustión

La combustión es una reacción química de oxidación, de modo que, se ocasiona y desprende una inmensa cantidad de energía y su velocidad de reacción es menor de 1 m/s y su manifiesto lo puede visibilizar en forma de llama. (Bernaola, 2013)

b) Deflagración

Una deflagración es una combustión súbita con llama a baja velocidad de propagación, sin explosión. Se suele asociar erróneamente con las explosiones, usándose a menudo como sinónimo. La reacción que produce una deflagración es idéntica a la de la combustión, pero la cinética de la reacción se desarrolla a una velocidad mayor que la combustión, pero inferior a la velocidad con que se propagaría el sonido en el propio explosivo. Es, por tanto, una reacción subsónica. La onda de presión generada en una deflagración es del orden de 103 atmósferas. Este es el caso, por ejemplo, de la pólvora, que reacciona en forma de una combustión rápida de una sustancia que contiene su propio oxígeno. (Bernaola, 2013)

c) Detonación

La detonación es una combustión supersónica que se caracteriza porque genera una onda de choque. En ese frente de onda se generan altos gradientes de presión y temperatura, ya que la reacción química se produce instantáneamente. La velocidad de reacción suele estar comprendida entre 1 500 y 9 000 m/s, y la onda de presión producida sería del orden de 105 atmósferas. Cabe destacar que la circunstancia que parece determinar cuál de los dos procesos descritos (deflagración o detonación) tendrá lugar es el sentido del movimiento de las moléculas gaseosas que son producto de las primeras reacciones. En el caso de la detonación, se moverían preferentemente en el mismo sentido de la propagación, potenciándola, mientras que en el caso de la deflagración lo harían en sentido contrario, atenuándola. Cada tipo de explosivo tiene una composición específica y definida. Esto supone que sus características son diferentes, y en consecuencia, que para cada aplicación se puede seleccionar el explosivo más adecuado. (Bernaola, 2013)

2.3.4. Propiedades y características de los explosivos

Las características prácticas de un explosivo de acuerdo a (Bernaola, 2013) son básicas y se señalan de la siguiente manera:

- ❖ Potencia explosiva.
- ❖ Poder rompedor.
- ❖ Velocidad de detonación.
- ❖ Densidad.
- ❖ Resistencia al agua.
- ❖ Calidad de humos
- ❖ Sensibilidad.
- ❖ Estabilidad química.



a) Potencia Explosiva

La potencia explosiva es la capacidad del explosivo que quebranta y proyecta las rocas. Es la energía del mismo aprovechada en la voladura, esta característica depende de su composición de explosivo y pudiendo optimizarse con la adecuada técnica de voladura. (Bernaola, 2013).

b) Poder Rompedor

Es la característica del explosivo que indica la capacidad de quebrantar las rocas por las ondas de detonación, su poder rompedor es un parámetro muy importante para los explosivos de uso no confinado o desacoplado, cuyos gases no pueden ejercer grandes presiones. Es el caso de las cargas huecas y de las cargas para taqueo y su caracterización se realiza mediante el método de Hess, en la cual se determina la reducción de la altura que provoca la detonación de una cantidad de explosivo definida en un cilindro de plomo. (Bernaola, 2013).

También el método de Hess es el método más adecuado para los explosivos más sensibles al detonador y de diámetro crítico pequeño. (Bernaola, 2013)

Se muestra la figura 2-12, La Prueba de Hess (Poder Rompedor) Norma ITINTEC 311.193.

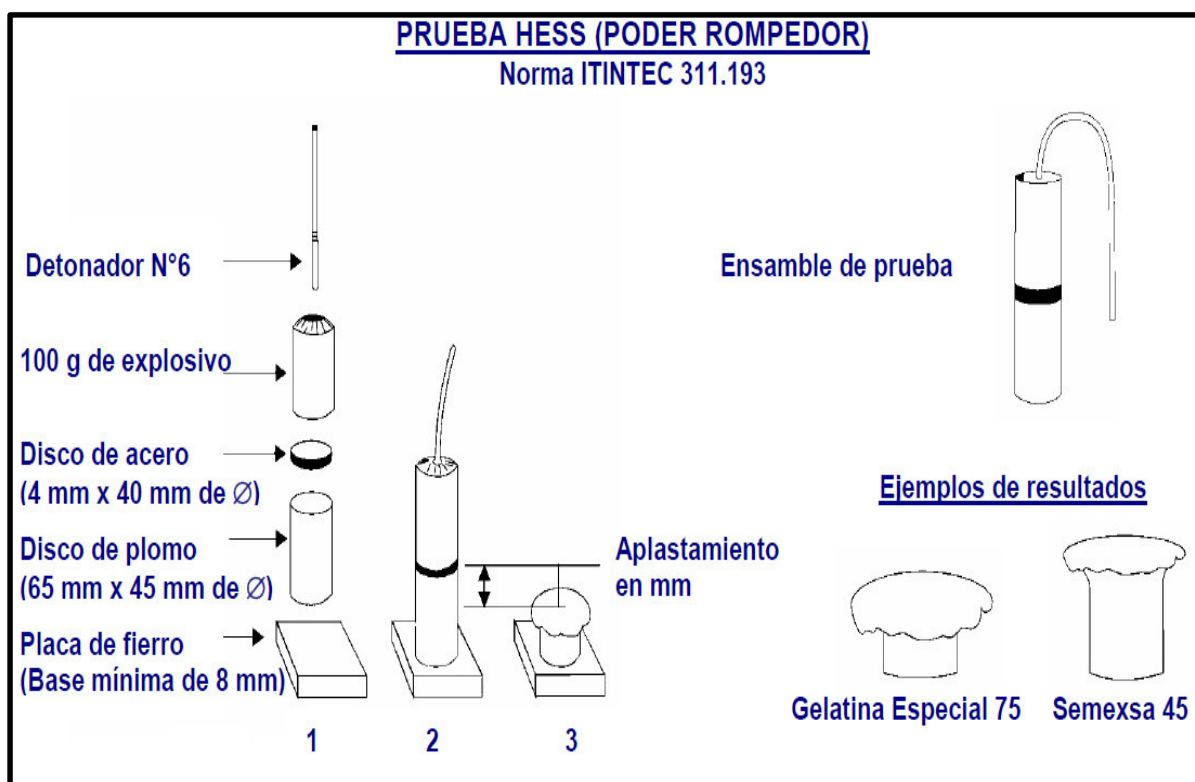


Figura 2-12: Prueba de Hess (Poder Rompedor) Norma ITINTEC 311.193.

Fuente: (Bernaola, 2013)

Se muestra la figura 2-13, sobre el poder rompedor. Método de Hess

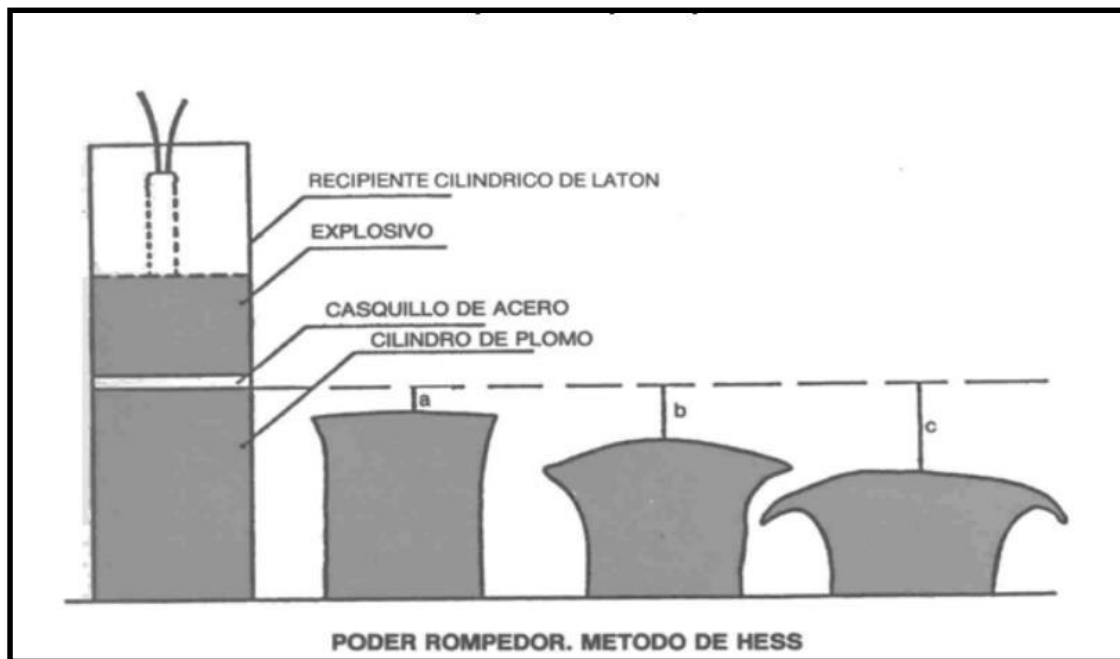


Figura 2-13: Determinación del poder rompedor por el método Hess.

Fuente: (Bernaola, 2013)

c) Velocidad de Detonación

Esta etapa provoca la transformación del explosivo en un gran volumen de gases a elevada temperatura y presión, de modo que dicha velocidad a la cual se produce esta transformación se le denomina velocidad de detonación, cuya unidad de medida metros por segundo (m/s), y esta es una particularidad de la detonación que debe ser considerado al momento de elegir el explosivo. (Bernaola, 2013).

d) Densidad

La densidad de la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 y 1.6 gr/cm³, y al igual que con la velocidad de detonación cuanto mayor es, más intenso es el efecto rompedor que proporciona.

En los agentes explosivos la densidad puede ser un factor crítico, pues si es muy baja se vuelven sensibles al cordón detonante que los comienza a iniciar antes de la detonación del multiplicador o cebo, o de lo contrario, si es muy alta, pueden hacerse insensibles y no detonar. Esa densidad límite es la denominada Densidad de muerte.

La densidad de un explosivo es un factor importante para el cálculo de la cantidad de carga necesaria para una voladura. Por regla general, en el fondo de los taladros, que es donde se necesita mayor concentración de energía para el arranque de la roca, se utilizan explosivos más densos como son los gelatinosos e hidrogel, mientras que en las cargas de columna se requieren explosivos menos densos, como son los pulverulentos y los de base ANFO. (Llera, 1987)

Se presenta la tabla 2-5, sobre el rango de densidades de explosivos comerciales de ORICA.

Tabla 2-5: Rango de densidades explosivos comerciales ORICA

Nombre del Producto	Densidad	% Emulsión	% NA Prill	% F. Oil
ANFO	0.80 +/-0,03			
Fortan Mex 20 (HA 28)	0.86 +/-0,03	20	75.2	4.8
Fortan Mex 30 (HA 37)	1.00 +/-0,03	30	65.8	4.2
Fortan Mex 40 (HA 46)	1.18 +/-0,03	40	56.4	3.6
Fortan Mex 50 (HA 50/50)	1.27 +/-0,03	50	47	3
Fortis Mex 60 (HA 64)	1.29 +/-0,03	60	37.6	2.4
Fortis Mex 65 (HA 65/35)	1.29 +/-0,03	65	32.9	2.1
Fortan Extra 20	0.95 +/-0,03	20	75.2	4.8
Fortan Extra 30	1.05 +/-0,03	30	65.8	4.2
Fortan Extra 40	1.21 +/-0,03	40	56.4	3.6
Fortan Extra 50	1.28 +/-0,03	50	47	3
Fortis Extra 60 (HA 64)	1.32 +/-0,03	60	37.6	2.4
Fortis Extra 65 (HA 65/35)	1.33 +/-0,03	65	32.9	2.1

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

En los primeros días del mes de julio del 2 015 se realizó en laboratorio medición de densidades de las mezclas explosivas a base de emulsión matriz empleadas en la Unidad Minera de “Las Bambas”; para poder comprobar que los valores estén dentro de los rangos establecidos.



Fotografía 2-9 y Fotografía 2-10: Densidad de la mezcla explosiva “Fortan Mex 50 (HA 55)”.

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

La densidad promedio obtenida en laboratorio de la mezcla explosiva a base de emulsión matriz “Fortan Mex 50 = 1.28 gr/cm^3 .



Fotografía 2-11 y Fotografía 2-12: Densidad de la mezcla explosiva “Fortis Mex 60 (HA 64)”.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

La densidad promedio obtenida en laboratorio de la mezcla explosiva a base de emulsión matriz “Fortis Mex 60 = **1.31 gr/cm³**.”

Además, se debe mencionar que para hallar la cantidad de carga explosiva que se utiliza en un taladro de un diámetro dado, se introduce el concepto de **Densidad de Carga Lineal** que nos indica cuantos kg de explosivo entra en un metro de taladro.

La fórmula de Densidad de Carga Lineal es la siguiente:

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

D: *Diametro (pulg)*

ρ : *Densidad (gr/cm³)*

e) Resistencia al Agua

Es la capacidad para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características. Varía de acuerdo con la composición del explosivo y generalmente está vinculada a la proporción de nitroglicerina o aditivos especiales que contengan, así las gomas, los hidrogeles y las emulsiones son muy resistentes al agua. Las sales oxidantes, como el nitrato amónico en el ANFO, disminuyen intensamente la resistencia al agua, pues son muy higroscópicas.

La escala de clasificación generalmente aceptada va desde: Nula, Limitada, Buena, Muy Buena y Excelente. En la primera, el explosivo no tiene ninguna resistencia al agua, mientras que en la última, garantiza una exposición superior a 12 horas. (Llera, 1987)

f) Calidad de los humos

Son residuales, 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 (CO_2). (Bernaola, 2013)

Es así, que 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, sin embargo, dado que, 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. (Bernaola, 2013)



Fotografía 2-13: Gases nitrosos post voladura de la mezcla explosiva “Fortis Mex 60 (HA 64)”.
Fuente: Propia.

g) Toxicidad

Los glicoles nitrados, como la nitroglicerina, son vasodilatadores y causan efectos nocivos sobre la salud de las personas como el dolor de cabeza por inhalación o absorción cutánea, en contacto con la piel, podrían ocasionar alteraciones diversas como dermatitis, decoloración, etc. Es por ello que la manipulación de los explosivos debe realizarse tomando las debidas precauciones. (Bernaola, 2013)

h) Sensibilidad

La sensibilidad de un explosivo es el mayor o menor grado de energía de iniciación la cual puede producir, su detonación. Se pueden considerar diferentes aspectos relativos a la sensibilidad de los explosivos; unas afectan a la seguridad en la manipulación (fabricación, transporte y utilización) y otras a su iniciación en la voladura. (Bernaola, 2013). A continuación, se presentan las sensibilidades de los explosivos.

- ❖ Sensibilidad al detonador.
- ❖ Sensibilidad a la onda explosiva.
- ❖ Sensibilidad al choque y al rozamiento.

Los explosivos industriales se inician generalmente mediante la detonación de una pequeña carga de explosivo de alta potencia. Este explosivo puede estar ubicado en un detonador, en un cordón detonante, o en un multiplicador, según el procedimiento que se utilice para la iniciación. Existen explosivos que no son sensibles al detonador. En este caso es habitual provocar su iniciación mediante un multiplicador, consistente en pastilla de explosivo de elevada potencia que es de forma cilíndrica y que si es sensible al detonador. (Bernaola, 2013)

2.3.5. Agentes de Voladura

Los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N° 8, por lo que necesitan un cebo reforzado o primer - booster para iniciar su detonación. Estos explosivos a diferencia de los primarios que tienen alta energía y sensibilidad, se caracterizan por desarrollar un mayor trabajo útil, en el estricto sentido de arranque y fragmentación de roca. Es así que se tienen los siguientes agentes de voladura que se utilizaran en minería de tajo abierto por su gran poder rompedor y bajo costo.

a) ANFO (Ammonium Nitrate / Fuel Oil)

En la línea de reducir el contenido en nitroglicerina (o nitroglicol) del explosivo para incrementar su seguridad, surgieron los explosivos tipo ANFO (Ammonium Nitrate + Fuel Oil), explosivos compuestos por un 94 % aproximadamente de nitrato amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 % de gasoil que actúa como combustible. Las características de este explosivo son las siguientes:

- Baja / media potencia.
- Muy baja densidad (0.8 g/cm³).
- Nula resistencia al agua, ya que el nitrato amónico es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel o multiplicadores. (Bernaola, 2013)



Fotografía 2-14: ANFO (Nitrato de Amonio 94% combustible derivado de petróleo 6 %).
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

b) Emulsión

Las emulsiones explosivas son del tipo denominado “agua en aceite” en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua de tipo hidrocarbonado.

El desarrollo de los explosivos ha llevado aparejado una reducción progresiva del tamaño de las partículas, pasando desde los sólidos hasta las soluciones salinas con sólidos y, por último, a las microgotas de una emulsión explosiva. (López, 1987)

Para (López, 1987). La tendencia actual de las emulsiones en las operaciones de arranque estriba en sus ventajas, las cuales se presentan a continuación:

- ❖ Menor precio, ya que en su fabricación no se precisa el uso de gomas y féculas de alto coste.
- ❖ Excelente resistencia al agua.
- ❖ Probabilidad alta de conseguir productos con densidades entre 1 y 1.45 g/cm³
- ❖ Elevadas velocidades de detonación que va de 4.000 a 5.000 m/s, con poco efecto de diámetro en el encartuchado.
- ❖ Gran seguridad en fabricación y manipulación.
- ❖ Posibilidad de mecanizar la carga y preparar mezclas con ANFO.

Sus inconvenientes, sin embargo, son los derivados de las condiciones de preparación muy estrictas, la alterabilidad por bajas temperaturas, la contaminación durante la carga si se utiliza a granel, el tiempo de almacenamiento y los periodos prolongados de transporte. (López, 1987)

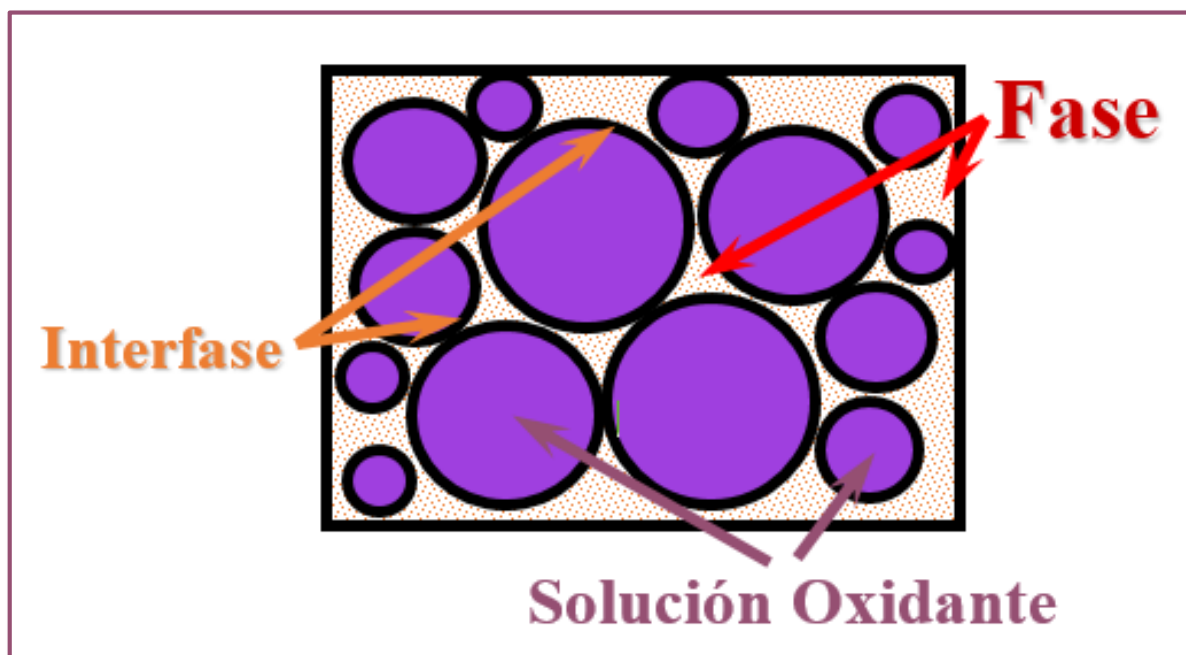


Figura 2-14: Esquema de una emulsión.

Fuente: (Bernaola, 2013)

c) ANFO pesado

El ANFO pesado es una combinación de perlas de nitrato de amonio, diésel y suspensión. La ventaja de las mezclas de ANFO pesado, es que se pueden hacer y cargar fácilmente al barreno. La proporción en las cantidades de suspensión y ANFO, puede ser cambiada y obtener ya sea un explosivo con mayor energía o uno que sea resistente al agua. El costo del ANFO pesado aumenta con el porcentaje de suspensión. La ventaja sobre los productos encartuchados es que el barreno se encuentra cargado totalmente, y no existen vacíos entre el barreno y la carga. Una desventaja es que ya que el explosivo ocupa el volumen total del barreno, si existe agua, ésta es empujada hacia arriba, lo que significa que se debe utilizar esta mezcla en todo el barreno. En cambio con los productos encartuchados y debido al espacio entre el cartucho y el barreno, se puede cargar producto encartuchado hasta rebasar el nivel del agua y entonces usar ANFO a granel de menor precio. (konya, 1998)

Se presenta la tabla 2-6, sobre los porcentajes de composición de emulsión gasificada “Fortis Extra” y ANFO en la preparación de diversas mezclas de ANFO pesado.

Tabla 2-6: ANFOS Pesados y sus porcentajes de composición.

MEZCLAS	Composición (%)		Densidad (gr/cm ³)	VOD (m/s)	Resistencia al agua
	Emulsión	ANFO			
HA-37	30	70	1.05	4 800 - 5 000	Nula
HA-46	40	60	1.15	5 000 - 5 200	Baja
HA-55	50	50	1.27	5 200 - 5 400	Buena
HA-64	60	40	1.29	4 500 - 4 800	Excelente

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Se muestra la figura 2-15, sobre tipos de Emulsión en función de la proporción de Emulsión/ANFO.



Figura 2-15: Tipos de Emulsión en función de proporción Emulsión/ANFO.

Fuente: (Bernaola, 2013)

2.3.6. Emulsión explosiva gasificada

Es un producto de última generación para operaciones de voladura en minería a tajo abierto. Se trata de un agente preparado a base de emulsión, que se transporta a minas como producto inerte no detonable. Se sensibiliza antes de ser cargado a los taladros mediante una solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad y mayor velocidad de detonación que los ANFOS pesados. Es altamente resistente al agua.

Ofrece enormes ventajas técnico económicas respecto al tradicional ANFO pesado. Su uso garantiza seguridad porque se trata de un producto no explosivo, antes de ingresar a los taladros. Entre sus principales ventajas se encuentra un incremento en la velocidad de detonación, de 4 800 m/s a 5 300 m/s en comparación con el rango de 3 700 m/s a 4 400 m/s que alcanza el ANFO pesado. También encontramos una disminución del costo unitario de perforación y voladura. Además, al no usar nitrato de amonio (NA) ni petróleo, se evita asumir el importante costo financiero que representa mantener stocks de estos productos en mina. (file:///C:/Users/FAMILY/Desktop/EXPLOSIVO%20SANG.html, 2016)

Se muestra la figura 2-16, Propiedades de la Emulsión Gasificada.

EMULSION G	UNIDAD	VALOR
Densidad antes de gasificar	g/cm ³	1.35 ± 3%
Densidades posibles luego de gasificar	g/cm ³	0.80 – 1.20
Viscosidad de la emulsión	cP	13000
Velocidad de detonación	m/s	4600 – 6000
Presión de detonación	MPa	4800 - 9100
Energía	KJ / Kg	2554
Volumen normal de gases	l/kg	1020
Potencia relativa en peso (comparado con ANFO)	%	70
Potencia relativa en volumen (comparado con ANFO)	%	120
Resistencia al agua	EXCELENTE	
Diámetro crítico	mm	76
Tiempo de espera en taladros	días	7

Figura 2-16: Propiedades de la Emulsión Gasificada.

Fuente: (Bernaola, 2013)

2.4. Definición de términos (Marco conceptual)

A. Agente de Voladura

Elemento que funciona igual que un explosivo, pero sus compuestos tomados separadamente no constituyen de por sí un explosivo; por ejemplo, nitrato de amonio, fuel oil o mezcla de oxidantes y combustibles, los cuales no inician directamente con detonador, por lo que es necesario colocar entre la carga y el detonador un explosivo multiplicador.

B. ANFO

Agente de voladura a base de nitrato de amonio y otros componentes para mejorar sus propiedades explosivas, muy sensible a la humedad, por lo que se debe utilizar en barrenos secos y en voladuras a cielo abierto. Es un explosivo de alto orden. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras y de demolición, debido a que son muy seguras, económicas y asequibles.

C. Contaminación ambiental

Acción que resulta de la introducción por el hombre, directa o indirectamente, en el medio ambiente, de contaminantes, que tanto por su concentración, al superar los niveles máximos permisibles establecidos, como por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza, a la salud y a la propiedad.



D. Costo ambiental

Son los gastos necesarios para la protección, la conservación, el mejoramiento y la rehabilitación del medio ambiente. Es el valor económico que se le asigna a los efectos negativos de una actividad productiva para la sociedad.

E. Densidad

Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m³).

F. Detonador

Cualquier dispositivo que contenga una carga detonadora usada para iniciar un explosivo. Entre estos dispositivos se incluyen los fulminantes eléctricos y no eléctricos instantáneos o los fulminantes de retardo, y también los conectores de retardo. El término “detonador” no incluye al cordón detonante. Comúnmente, los detonadores consisten en un pequeño tubo metálico o plástico que contiene explosivos, tales como Azida de plomo, PETN o combinaciones de explosivos. Están diseñados para iniciar un tren de voladura. Pueden construirse para detonar inmediatamente o pueden contener un elemento de retardo. Pueden contener no más de 10g de peso total de explosivos, sin incluir las cargas de ignición y retardo.

G. Energía de gas

Los gases producto de la detonación química se liberan a alta presión y temperatura, lo que les confiere gran energía.

H. Encendido

Acción de iniciar la voladura mediante diferentes técnicas.

I. Emulsión

Material explosivo que contiene cantidades sustanciales de oxidantes disueltos en pequeñas gotas de agua, rodeados por un combustible inmiscible.

J. Explosivo

Los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química y que son capaces de transformarse violentamente en gases. Esta transformación puede realizarse a causa de una combustión o por acción de un golpe, impacto, fricción u otro, en cuyo caso recibe el nombre de explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio. Cuando esta violenta transformación en gases ocurre en un lugar cerrado, como puede ser un barreno en un manto de roca, se producen presiones muy elevadas que fracturan la roca. La más antigua de las sustancias explosivas es la pólvora negra, que consistía en una mezcla formada por salitre, carbón y azufre.



K. Explosivo deflagrante.

Sustancia, por ejemplo, de propulsión que reacciona por deflagración en vez de hacerlo por detonación cuando se enciende y es usada de manera normal.

L. Explosivo detonante

Sustancia que reacciona por detonación en vez de por deflagración cuando se inicia y es usada de manera normal.

M. Evaluación ambiental

Identificación y calificación de los impactos que genera cada actividad de un determinado proyecto.

N. Fragmentación

Material que ha reducido su tamaño producto de la voladura, quedando listo para el carguío y transporte. El grado de fragmentación se mide en cuanto al tamaño medio obtenido y su distribución.

O. Gases tóxicos

En minería, gases nocivos al organismo por su acción venenosa: monóxido de carbono (CO); humos nitrosos (olor y sabor ácidos); sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico) (H₂S) (límite permisible 8 pm, olor a huevos podridos) y anhídrido sulfuroso (SO₂), que cuando la concentración es mayor del 15% en volumen es mortal, límite permisible 1,6 pm).

P. Impacto ambiental

Efectos y magnitud de los impactos ambientales percibidos en el presente y los que podrían ocurrir en el futuro en el suelo, el aire, el agua y los recursos de flora y fauna, así como las consecuencias que estos efectos producirían sobre la calidad de vida, la economía y el bienestar social.

Q. Línea base

En relación a la metodología empleada, así como la demanda o consulta sobre algunos resultados obtenidos, en su mayoría, en cuanto a las condiciones hidrobiológicas, calidad y cantidad de las fuentes de aguas existentes.

R. Minas a tajo abierto

Estas minas se explotan en la superficie utilizando una línea de explosivos. Luego de la voladura, que remueve el material mineralizado, se realiza el carguío en camiones o en cintas transportadoras, usando cargadores frontales o palas mecánicas, que lo llevan hasta la Planta de Chancado para iniciar el proceso de concentración.

S. Oxidación

Cambio en el estado de oxidación de un elemento representado por la pérdida de electrones. Dícese también del proceso durante el cual son eliminadas sustancias químicas oxidables como carbono y azufre presentes en el mineral por la acción del oxígeno u otro agente oxidante.



T. Plan de manejo ambiental

Sobre las medidas de manejo ambiental y de prevención a implementar durante el desarrollo del proyecto.

U. Rangos de velocidad de detonación

Para los explosivos químicos de uso industrial existen rangos de velocidad de detonación que van desde los 2 500 m/s a los 7 000 m/s. Esto tiene especial importancia para determinar el poder rompedor del explosivo a través del desarrollo de la energía para un diámetro determinado.

V. Voladura

La voladura es la fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de la detonación de explosivos depositados en su interior. La voladura primaria es la que se realiza directamente en el macizo rocoso para separar y fragmentar parte de éste, ya sea en minas a tajo abierto o subterráneas, en tanto que se denomina voladura secundaria a la que se realiza sobre fragmentos de gran tamaño o colpas ya separados del macizo, de manera de lograr su reducción al tamaño adecuado para ser cargadas y transportadas a la planta.

W. Voladura controlada

Patrones y secuencias de voladura diseñados para mejorar un objetivo particular. Voladura en la cual cada hoyo es detonado en una secuencia progresiva para reducir las vibraciones y la dirección de proyección. Voladura donde los hoyos son cargados a la vez, pero son detonados en sucesivas voladuras en días separados.

CAPÍTULO III DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Definición de Variables

Se presenta la tabla 3-7, sobre las variables e indicadores del presente trabajo de investigación.

Tabla 3-7: Variables e Indicadores de la investigación.

a) Variable Independiente (X)	Indicadores
➤ Emulsión gasificada versus emulsión matriz en “Las Bambas - MMG” (X1)	➤ Mayor eficiencia en el proceso de voladura, mediante la utilización de la mejor opción de emulsión.
b) Variable dependiente (Y)	Indicadores
➤ Análisis económico (Y1).	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Precios de la materia prima. ➤ Costo por metro lineal. ➤ Costo por taladro. ➤ Costo por tonelada volada.
➤ Análisis técnico - operativo (Y2).	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Velocidad de detonación (VOD). ➤ Densidad. ➤ Fragmentación
➤ Análisis medio ambiental (Y3).	<ul style="list-style-type: none"> ➤ % de generación de gases nitrosos. ➤ Resistencia a flujos de agua.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Operacionalización de variables

Se muestra la tabla 3-8, sobre la operacionalización de variables del presente trabajo de investigación.

Tabla 3-8: Operacionalización de variable independiente.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
(X1) Emulsión gasificada versus emulsión matriz en "Las Bambas - MMG"	El proceso de gasificación del ANFO Pesado consiste en formar pequeñas burbujas en la matriz, las cuales actúan en forma de "Hot - Spots". Mediante este proceso permite variar su densidad y sus demás características, según la cantidad de agente gasificante (Nitrito de Sodio) que se dosifique. (Alcázar, 2017)	La gasificación de la mezcla explosiva Fortis Extra 65/35 (65% de emulsión, 35% ANFO), se logra con la adición de agente gasificante. En "Las Bambas" la concentración de Nitrito de Sodio es al 10% y el porcentaje de inyección es de 0.30%.	Mayor eficacia en el proceso productivo de cobre, mediante la utilización de la mejor opción de emulsión.

Fuente: Elaboración Propia.

Se muestra las tablas 3-9, 3-10 y 3-11 sobre la operacionalización de variables dependientes:

Tabla 3-9: Operacionalización de variable dependiente (Análisis técnico operativo).

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
- Análisis técnico Operativo	Los explosivos convencionales y los agentes explosivos poseen propiedades diferenciadoras que los caracterizan y que se aprovechan para la correcta selección, atendiendo al tipo voladura que se desea realizar y las condiciones en que esta se lleva a cabo. (Carhuancho, 2011)	Las propiedades de cada grupo de explosivos permiten además predecir cuáles serán los resultados de fragmentación, desplazamiento en el proceso de voladura del "Tajo Ferrobamba".	<ul style="list-style-type: none"> · Velocidad de detonación (m/s). · Densidad (gr/cm³). · Fragmentación (Pulg).

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3-10: Operacionalización de variable dependiente (Análisis económico).

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
-Análisis económico	<p>Procedimientos o técnicas que tiene como objetivo determinar el costo de producción y el control de las operaciones de la empresa.</p> <p>El costo es el valor de adquisición de un bien o servicio, el cual generará una renta futura. (Hernández, 2016)</p>	<p>Los costos son parte del proceso de carguío mecanizado de taladros con emulsión gasificada "Fortis Extra". Lo que se busca es tener una óptima fragmentación al menor costo posible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Precios de la materia prima (US\$). · Costo por metro lineal ((US\$/m). · Costo por taladro (US\$). · Costo por tonelada volada (US\$/Tn).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-11: Operacionalización de variable dependiente (Análisis ambiental).

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
- Análisis ambiental	<p>La contaminación del aire por emisión de gases tóxicos: Los óxidos de nitrógeno se forman por recombinación de las moléculas de oxígeno y nitrógeno del aire en la combustión a alta temperatura. Por si solas contribuyen a la irritación de las vías respiratorias y dan origen a la contaminación fotoquímica y lluvia ácida. (Caizaluisa, 2016)</p>	<p>Los gases producidos durante el proceso de voladura en el "Tajo Ferrobamba" (óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono) son monitoreados por personal de Asistencia Técnica de ORICA los cuales deben estar por debajo de los límites máximos permisibles según el D.S. 024-EM-2016.</p>	<ul style="list-style-type: none"> · % de generación de gases nitrosos. · Resistencia a flujos de agua.

Fuente: Elaboración propia.



3.3. Hipótesis de la investigación

A. Hipótesis General

Dada la emulsión gasificada, existe mayor eficiencia en el rendimiento técnico operativo, económico y ambiental, con respecto a la emulsión matriz en las operaciones de minado en la “Bambas - M.M.G”.

B. Hipótesis específicas

- ❖ La utilización de emulsión gasificable mejora el rendimiento técnico-operativo, con respecto a la emulsión matriz en “Las Bambas - MMG”.
- ❖ La utilización de emulsión gasificable mejora el rendimiento económico en la voladura respecto al ANFO pesado a base de emulsión matriz en “Las Bambas - MMG”.
- ❖ La utilización de emulsión gasificable mejora el rendimiento ambiental, ya que no genera gases nitrosos con respecto a la emulsión matriz y por ende mejora las prácticas ambientales en “Las Bambas - MMG”.

3.4. Tipo y diseño de investigación

A. Tipo de Investigación

Es de tipo experimental, ya que se realizan ensayos con diferentes mezclas para obtener la densidad adecuada y su esponjamiento de la sustancia explosiva para determinar una fragmentación adecuada.

B. Diseño de investigación

La investigación tiene una finalidad aplicada, ya que aborda diversos procedimientos de trabajo en campo. Para ello utilizan la emulsión gasificada en el área de voladura en mina, por lo que el método de manipulación de datos es cuantitativo y cualitativo, ya que no se realizará una estadística exhaustiva y numérica, sino más bien, ver las ventajas que ofrece la aplicación.

3.5. Población y muestra

A. Población: Unidad operativa “Las Bambas”.

B. Muestra: “Tajo Ferrobamba”, niveles y zonas (Jahuapaylla Alta).

3.6. Procedimiento de la Investigación

3.6.1. Análisis Técnico Operativo

Se realizaron diversos procedimientos en campo para determinar la calidad del explosivo Fortis Extra (emulsión gasificable) y de todo el proceso de voladura en el “Tajo Ferrobamba”, se compararon tres parámetros de medición con los recopilados de la línea base.

- ✓ Densidad
- ✓ Velocidad de detonación (V.O.D.)
- ✓ Fragmentación



Un parámetro muy importante que se midió al iniciar el carguío de taladros con explosivo es la densidad, ya que es un aspecto crítico para determinar los costos y la calidad del explosivo. Durante la voladura, se midió la velocidad de detonación (VOD) que es el mejor parámetro que representa la calidad del explosivo en cuanto a poder rompedor. Finalmente, al disiparse los gases de la voladura se analizó la fragmentación del material volado.

3.6.1.1. Densidad

Esta propiedad se determinó midiendo la masa dentro de un volumen conocido. En el caso de un explosivo que no gasifica, su densidad es constante y basta con tomar una muestra durante la descarga al taladro. Para el caso del ANFO Pesado gasificado (ANFO + Fortis Extra “emulsión gasificada”), es importante medir la densidad inicial y final (tras 30 minutos de esponjamiento). Primero, se toma una muestra en el vaso volumétrico directamente de la manguera de descarga, rápidamente se limpia el material que quede fuera del depósito y se pesa.

Se controla treinta minutos, se elimina el material que colma el vaso volumétrico (producto de la gasificación) y se vuelve a pesar. Se recomienda medir la densidad cada 5 minutos para cuantificar el proceso de esponjamiento. A continuación, se presentan los materiales necesarios para realizar la medición, los cuales forman parte del kit obligatorio que tiene que tener cada camión fábrica “Movil Manufactured Unit”: Balanza, Vaso volumétrico, Espátula y trapos.

Ver fotografía 3-15, se muestra la medición de la masa del vaso volumétrico vacío y en la fotografía 3-16, se presenta la toma de muestra explosiva directamente de la manguera.



Fotografía 3-15 y Fotografía 3-16: Toma de muestra explosiva (Fortis Extra 65/35) en vaso volumétrico. **Fuente:** Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bombas”.

Ver fotografía 3-17, limpieza del material explosivo que rebasa el vaso volumétrico y en la fotografía 3-18, se presenta la medición de la masa del vaso volumétrico con muestra explosiva.



Fotografía 3-17 y Fotografía 3-18: Limpieza del material explosivo que queda fuera del depósito y pesado.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Ver fotografía 3-19, eliminación del material explosivo que rebasa el vaso volumétrico por gasificación y en la fotografía 3-20, se presenta la medición de la masa del vaso volumétrico con muestra explosiva después de 5 minutos.



Fotografía 3-19 y Fotografía 3-20: Pesado de la muestra explosiva después de limpiar el material.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

El área de Asistencia Técnica de “ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A.” de la Unidad Operativa “Las Bambas” es el encargado de verificar y controlar la calidad del explosivo usado en el “Tajo Ferrobamba”. Para lo cual entrego a todo el personal de ORICA en “Las Bambas” una cartilla patrón de la curva de densidad de la mezcla explosiva Fortis Extra 65.

En “Las Bambas” la concentración del nitrito de sodio es al 10%, el porcentaje de inyección es de 0.30% y a temperatura entre 20°C - 25°C.

Tabla 3-12: Control de densidades de explosivos gasificados “Fortis Extra 65/35”.

OPERADOR DE M.M.U.: Cesar Chicata Lazo				N° M.M.U.: Q – 38			
FECHA: 21/06/16		PESO DEL VASO (gr): 288		VOLUMEN DEL VASO (cm³): 446.32			
ID DEL TALADRO	PRODUCTO MUESTREADO	BANCO PROYECTO	TIEMPO DE GASIFICACIÓN	DENSIDAD DE MUESTRA (gr/cm³)			DENSIDAD MEDIA (gr/cm³)
				1	2	3	
486	FORTIS 65/35	4020-027	0	1.34	1.33	1.32	1.33
486	FORTIS 65/35	4020-027	5	1.28	1.29	1.27	1.28
486	FORTIS 65/35	4020-027	10	1.23	1.25	1.25	1.24
486	FORTIS 65/35	4020-027	15	1.19	1.22	1.23	1.21
486	FORTIS 65/35	4020-027	20	1.16	1.20	1.20	1.19
486	FORTIS 65/35	4020-027	25	1.14	1.18	1.18	1.17
486	FORTIS 65/35	4020-027	30	1.13	1.17	1.16	1.15

Fuente: Elaboración propia.

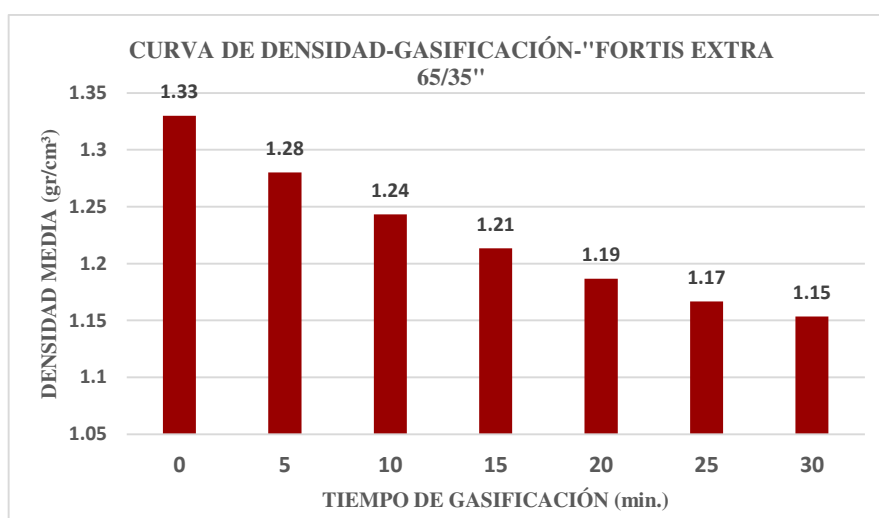


Gráfico 3-1: Curva de densidad - Gasificación - “Fortis Extra 65/35”.

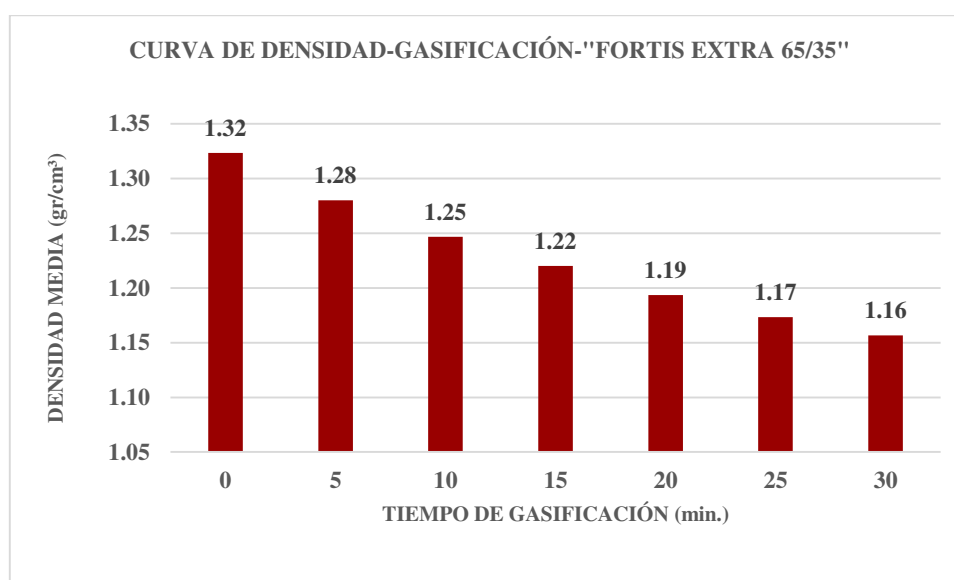
Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico anterior, se muestran las densidades tomadas al iniciar el carguío con el camión fábrica “cuadra 38” en donde las densidades tomadas en campo son semejantes a las de la cartilla patrón entregada por el área de Asistencia Técnica, lo cual indica una gasificación óptima con la cual se logrará una voladura de calidad. A una mayor densidad, se obtiene una mayor velocidad de detonación y un mayor poder rompedor. Además, se puede ver que debido a que se tiene diferentes densidades, las mezclas preparadas por los camiones fábrica nos pueden dar la proporción exacta de explosivo de acuerdo a las necesidades del macizo rocoso.

Tabla 3-13: Control de densidades de explosivos gasificados “Fortis Extra 65/35”.

OPERADOR DE M.M.U.: Fredy Morales Q.				N° M.M.U.: Q – 36			
FECHA: 26/06/16		PESO DEL VASO (gr): 288		VOLUMEN DEL VASO (cm ³): 446.32			
ID DEL TALADRO	PRODUCTO MUESTREADO	BANCO PROYECTO	TIEMPO DE GASIFICACIÓN	DENSIDAD DE MUESTRA (gr/cm ³)			DENSIDAD MEDIA (gr/cm ³)
				1	2	3	
486	FORTIS 65/35	4020-031	0	1.32	1.33	1.32	1.32
486	FORTIS 65/35	4020-031	5	1.28	1.29	1.27	1.28
486	FORTIS 65/35	4020-031	10	1.24	1.25	1.25	1.25
486	FORTIS 65/35	4020-031	15	1.21	1.22	1.23	1.22
486	FORTIS 65/35	4020-031	20	1.18	1.20	1.20	1.19
486	FORTIS 65/35	4020-031	25	1.16	1.18	1.18	1.17
486	FORTIS 65/35	4020-031	30	1.14	1.17	1.16	1.16

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 3-2:** Curva de densidad - Gasificación - “Fortis Extra 65/35”.

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico anterior, se muestran las densidades tomadas al iniciar el carguío con el camión fábrica “cuadra 36” en donde las densidades tomadas en campo son semejantes a las de la cartilla patrón entregada por el área de Asistencia Técnica.

3.6.1.2. Velocidad de detonación (VOD)

Para realizar la medición de la velocidad de detonación en el “Tajo Ferrobamba” se usó el equipo “Micro Trap”, este permite medir la “VOD” de un taladro por proyecto de voladura por el método de corto circuito. El método consiste en medir la disminución de la resistencia del circuito, a medida que el frente de detonación consume el cable resistivo. Esto se logra mediante la instalación de un cable de resistencia continuo (cable resistivo) cuya resistencia lineal es conocida (10.8 ohm/m). El cable se adhiere al booster o iniciador y se extiende a lo largo de la carga

explosiva. A medida que el frente de detonación del explosivo consume el cable resistivo, la resistencia del corto circuito disminuirá en proporción a la reducción del largo del cable. De esta manera el “Micro Trap” registra la disminución resultante del voltaje en comparación con el tiempo. El software convierte los datos registrados en un gráfico de distancia versus tiempo. En taladros con agua pese a que se hermetiza el corto circuito, mínimas filtraciones de agua dañan la medición y no es posible obtener la velocidad de detonación.

Ver fotografía 3-21, sobre la instalación de cable resistivo (verde) junto al booster y líneas descendentes para la medición de la Velocidad de Detonación



Fotografía 3-21: Instalación de cable resistivo (verde) junto al booster y líneas descendentes.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”

3.6.1.3. Fragmentación

Para la medición de este parámetro en la operación minera “Las Bambas” (ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A.) cuenta con el sistema de fragmentación portátil “Porta Metrics”. Es un innovador sistema portátil con sensores tridimensionales, que permiten a una persona acercarse a un frente de carguío y medir el tamaño de las rocas “in situ”, sin tener que volver a la oficina para la obtención de información y análisis que usualmente demora de 2 a 4 horas. “Porta Metrics” se demora en promedio 5 minutos y gracias a sus sensores tridimensionales permite información precisa, y la medición de cada roca de manera independiente.

A continuación, en las fotografías se muestran los diversos componentes del “Tajo Ferrobamba” en los cuales se realizó el análisis y toma de muestras en cada frente de carguío con el equipo “Porta Metrics”. Para posteriormente realizar el procesamiento de las imágenes para obtener así el producto de una voladura eficiente y segura con una fragmentación óptima.

Ver fotografía 3-22, sobre los frentes de minado analizados en el “Tajo Ferrobamba” con el equipo “Porta Metrics”.



Fotografía 3-22: Frentes de minado analizados en el Tajo Ferrobamba.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”

Ver fotografía 3-23, toma de muestras en frente de carguío con el equipo “Porta Metrics” (Jahuapaylla Baja) y en la fotografía 3-24, se presenta el procesamiento de imágenes con el equipo “Porta Metrics”



Fotografía 3-23: Toma de muestras en frente de carguío con el equipo “Porta Metrics”.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bmbas”.



Fotografía 3-24: Procesamiento de imágenes con el equipo “Porta Metrics”.

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”

3.6.2. Proceso de optimización de la Fragmentación

3.6.2.1. Planeamiento de la voladura (Tajo Ferrobamba)

Para llevar a cabo el planeamiento de la voladura en “Las Bambas” se obtuvo la siguiente información:

- ✓ Plano geológico.
- ✓ Plano geomecánico o geotécnico.
- ✓ Propiedades físico - mecánicas del macizo.
- ✓ Cantidad y calidad de la mezcla explosiva.

3.6.2.2. Análisis del macizo rocoso

Se analizó todas las variables del macizo rocoso tales como las propiedades físico mecánicas, RQD, RMR, contactos, fallas, relleno de los contactos, condiciones de agua subterránea, etc.

Es importante tener en cuenta, que la perforación y voladura en los diferentes componentes del Tajo Ferrobamba, está en función de la calidad del macizo rocoso, es decir más que los parámetros del explosivo; las características Geo-estructurales del macizo rocoso son los que en definitiva juegan el papel más importante:

- ❖ Resistencias a la compresión y tracción simple de la roca.
- ❖ Espaciamiento y orientación de las discontinuidades.
- ❖ Propiedades elásticas de las rocas.
- ❖ Velocidad de propagación de las ondas.
- ❖ Densidad del macizo rocoso.

Se presenta la tabla 3-14, sobre las Propiedades Geomecánicas del Macizo Rocoso de la Unidad Operativa “Las Bambas”

Tabla 3-14: Propiedades Geomecánicas del Macizo Rocoso “Las Bambas”

LITOLOGÍA	CÓDIGO	UCS (Mpa)			RQD (%)			Res. Tracc. (Mpa)	Módulo Young (Gpa)			
		Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Mean	Min.	Mean	Max.	
40	Exoskarn	SK	87.76	131.860	175.960	68.45	82.18	95.91	4	31.55	102.34	173.14
47	Mármol	MBL	124.86	152.850	180.840	71.16	78.59	86.02	4	51.19	73.09	94.99
48	Mármol	MBC	73.74	142.750	211.760	75.58	84.11	92.64	4	-	82.79	-
50	Endoskarn	ENDO	111.91	167.740	223.570	68.23	82.11	95.99	4	-	-	-
62	Brecha de Contacto	BX	42.59	75.720	109.250	26.51	45.37	64.23	4	-	-	-
76	Monzonita Biotítica	MZB	166.26	197.620	228.980	51.64	67.32	83.00	6	-	78.14	-
77	Monzonita Horbléndica	MZH	134.20	187.800	241.400	64.86	77.1	89.34	6	-	85.3	-
78	Monzonita Máfica	MZM	121.30	172.420	223.540	69.54	78.73	87.92	6	-	78.14	-
79	Monzonita Quarcífera	MZQ	188.78	215.520	242.260	66.00	74.72	81.24	5	76.41	85.49	94.56
86	Monzonita Biotítica Fina	MBF	177.72	208.890	240.160	59.61	70.94	82.27	6	-	-	-

Fuente: Geomecánica MMG “Las Bambas”

3.6.2.3. Selección del tipo de mezcla explosiva

De acuerdo al tipo de roca se seleccionó la mezcla explosiva, teniendo en cuenta la existencia de agua o no en los taladros perforados, en ese caso por ejemplo no se podría utilizar agentes de voladura secos como el ANFO, por la baja densidad que resulta tener. Lo ideal debería ser que, de acuerdo al tipo de roca, el camión fábrica formule la mezcla explosiva para dicho macizo rocoso y así sucesivamente a medida que avance la operación.

Se presenta la tabla 3-15, sobre la densidad de diferentes mezclas explosivas denominadas Heavy ANFO: (ANFO + emulsión gasificada “Fortis Extra”).

Tabla 3-15: Densidad de diferentes tipos de mezclas de Explosivos.

PRODUCTO	MÍNIMO (gr/cm ³)	MÁXIMA (gr/cm ³)	PROMEDIO (gr/cm ³)	VARIACIÓN
ANFO	0.74	0.80	0.77	4%
H/A 10/90	0.80	0.84	0.82	2%
H/A 20/80	0.85	0.91	0.88	3%
H/A 30/70	0.98	1.02	1.00	2%
H/A 40/60	1.18	1.22	1.21	2%
H/A 45/55	1.24	1.26	1.25	4%
H/A 50/50	1.27	1.29	1.28	1%
H/A 65/35	1.30	1.32	1.31	1%
FORTIS EXTRA	1.10	1.14	1.12	2%

Fuente: Asistencia Técnica ORICA “Las Bambas”.

3.6.2.4. Selección de explosivos y accesorios para iniciar la voladura

Se seleccionó los dispositivos requeridos para iniciar y/o retardar la mezcla explosiva por métodos adecuados y aprobados; para la extracción de mineral en el “Tajo Ferrobamba” se utilizó los siguientes productos de ORICA:

- ❖ **Pentex™**. - Conocido también como “BOOSTER” se fabrica en base a Pentolita que es una mezcla de PETN y TNT, tiene alta potencia, presión de detonación y velocidad de detonación. Presenta una alta resistencia al agua, posee mayor resistencia al impacto y fricción.

Es un explosivo altamente estable, ideal para una perfecta iniciación de columnas explosivas. Los orificios del producto permiten una fácil iniciación mediante el uso de detonadores electrónicos, detonadores no eléctricos o cordones detonantes. Para un primado óptimo debe usarse un detonador de fuerza N° 8 mínimo o cordón detonante de 5 g/m.



Ver figura 3-17, se muestra las diversas presentaciones de Pentex™ CD (cilíndrico) fabricados por ORICA.



Figura 3-17: Pentex™ CD (Diversas presentaciones) ORICA.

Fuente: Asistencia Técnica ORICA “Las Bambas”.

Se presenta la tabla 3-16, sobre las especificaciones técnicas del Pentex™ usado en las voladuras del “Tajo Ferrobamba”.

Tabla 3-16: Especificaciones Técnicas Pentex™ ORICA.

Pentex™ CD	
Densidad (gr/cm³)	1.6 +/- 3%
(*) Velocidad de Detonación (m/s)	7 000 +/- 3%
(*) Presión de Detonación (Mpa)	19 600
Energía (Kcal/Kg)	1 350
Resistencia al agua	Excelente
Volumen de gases (Lt/Kg)	692
Potencia relativa en peso ANFO = 100	148
(*) Medido en tubo de 1" x 16"	

Fuente: Asistencia Técnica ORICA “Las Bambas”.

- ❖ **Exel™ MS.**- Los detonadores no eléctricos Exel™ MS está conformado por 04 elementos principales:
 - **Cápsula de Aluminio.** - Compuesta por una carga primaria, una carga secundaria y un tren de retardo (Fuerza 12).
 - **Tubo de Choque.** - Transmite en su interior una señal de baja energía a una velocidad de 2 000 m/s para iniciar la carga explosiva del interior de la cápsula.
 - **Etiqueta.** - Indica el número de serie MS, el tiempo nominal y la longitud del tubo de choque.
 - **Conector J.** - Dispositivo que une el tubo de choque a la línea troncal de cordón detonante.

Ver figura 3-18, se muestra las diversas presentaciones de Exel™ MS fabricados por ORICA.

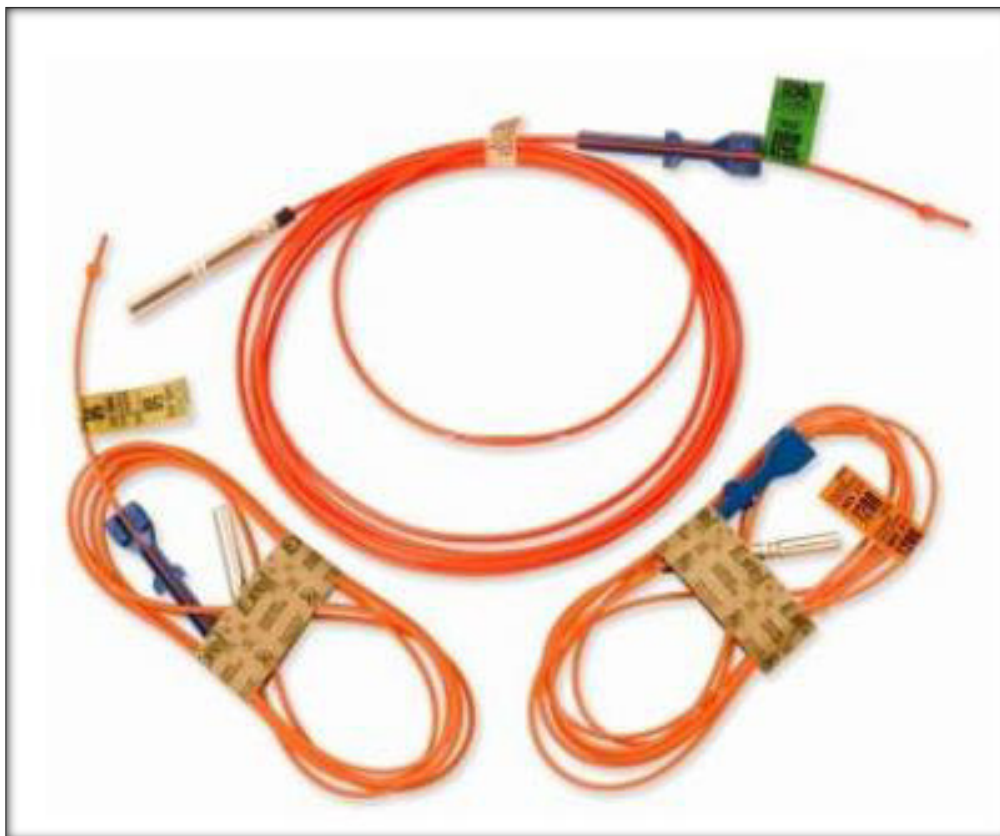


Figura 3-18: Exel™ MS (Diversas presentaciones) ORICA.
Fuente: Asistencia Técnica ORICA “Las Bambas”.

- ❖ **Detonador Electrónico i-kon™ II.**- Son los más avanzados del mercado y son particularmente apropiados para voladuras complejas en operaciones grandes, tanto en superficie como subterráneas, y en las condiciones más desafiantes:
 - Programable de 0 - 30 000 ms con 1 ms de incremento.
 - Cada i-kon™ II detonador tiene un número de identificación único (ID) que está escrito electrónicamente en su chip.
 - El número ID está impreso en la etiqueta asegurado al legwire cerca del conector.

Ver figura 3-19, se muestra los componentes del Detonador Electrónico i-kon™ II.

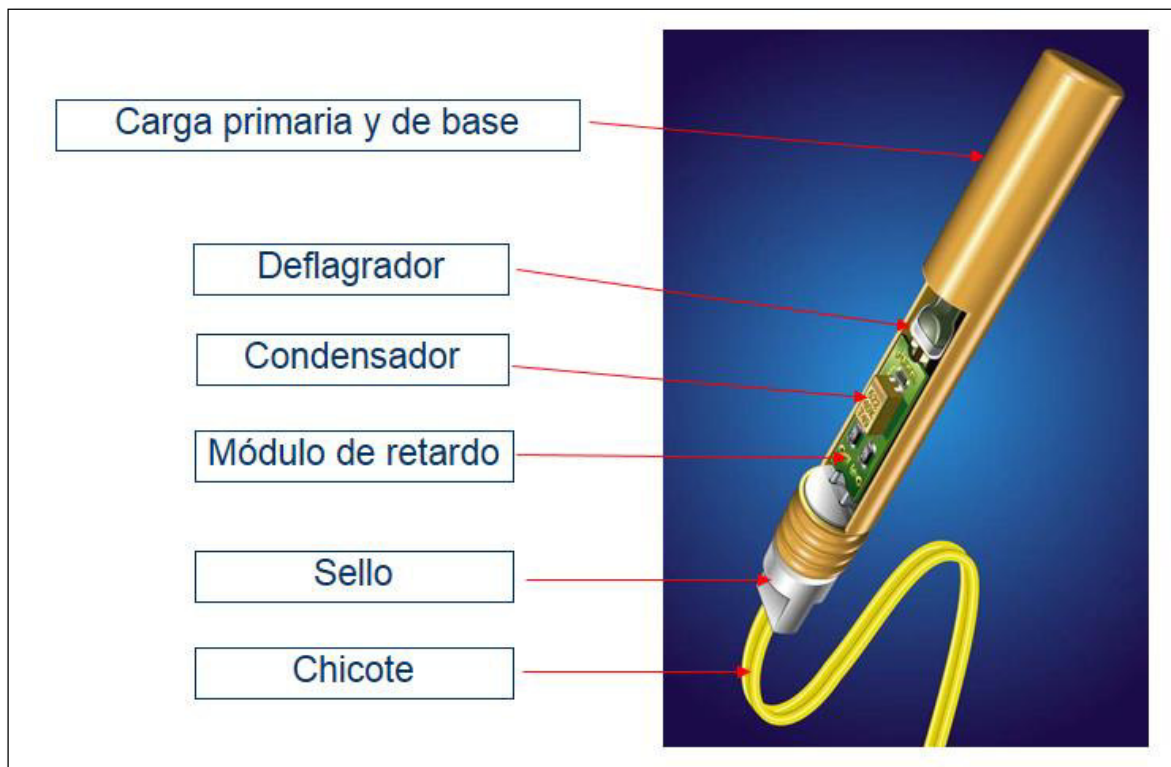


Figura 3-19: Detonador Electrónico i-kon™ II (Componentes).

Fuente: Asistencia Técnica ORICA “Las Bambas”.

Con este moderno y preciso sistema de iniciación electrónica, se pudo controlar la energía liberada en el disparo, optimizando la fragmentación y disminuyendo el daño a las paredes del pit, mediante un control de vibraciones; todo esto controlado por un Blaster. Este equipo realiza un auto chequeo completo y automático de la funcionalidad del sistema y programación del detonador. Cuenta con una capacidad de 1 600 detonadores (control de 8 Logger con 200 c/u). Único con una llave de activación digital y con códigos de armado y fuego.

3.6.2.5. Diseño de voladura electrónica (SHOT Plus5)

Con todos los estudios realizados, y con el seguimiento continuo, es que se llegó al siguiente diseño de voladura electrónica en los sectores mineralizados del “Tajo Ferrobamba”.

Como ya se mencionó anteriormente, en la extracción de mineral del “Tajo Ferrobamba”, se han probado diferentes configuraciones de diseños de cargas explosivas en los taladros de amortiguación y producción, todas estas, con la obtención de buenos, medios y malos resultados, dependiendo principalmente de los Sectores Estructurales y de las configuraciones de los factores de carga.

A continuación, se muestran datos del disparo realizado en el “Tajo Ferrobamba”:

Se presenta la tabla 3-17, sobre los datos del disparo en la zona de “Jahuapaylla Alta” 4020 - 027.

Tabla 3-17: Disparo Jahuapaylla Alta 4020 - 027.

DATOS DEL DISPARO		
Disparo	4020 – 027	
Diámetro (Pulg.)	12¼	
Burden (m.)	5.2 / 7.5	
Espaciamiento (m.)	6.0 / 8.5	
Taladros cargados	87	
Taladros con 3 I-kon II	0	
Taladros con doble I-kon II	87	
Taladros con una prima	0	
I-kon II programados	174	
I-kon II para Precorte	0	
Voladura Secundaria	0	
Consumo de I-kon II	174	
Tiempo de retardo (ms.)	2/100	Entre taladros/Filas

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”

3.6.2.6. Resumen de la Voladura Electrónica del “Disparo Jahuapaylla Alta 4020 - 027”

Antecedentes

- ❖ El total de taladros cargados en la zona de mineral y desmonte fue 87, cargados con detonadores electrónicos “I-kon II” y detonadores pirotécnicos “Exel™ MS”.
- ❖ Secuencia de salida: “Diagonales largas”, se coordinó con el personal de “M.M.G. - Las Bambas”, tiempo entre taladros 2 ms. y entre filas 100 ms.
- ❖ Se observa buen esponjamiento en la zona del taco, no hubo “Back Up”.

Control de Calidad

- Fortis Extra: Se realiza control de densidades al producto Fortis Extra 65/35 en los diferentes camiones al iniciar el carguío del proyecto, se trabaja con una densidad inicial de 1.33 promedio y una densidad de copa de 1.14 gr/cm³.

Ver figura 3-20, se muestra el “UCS” de la zona de “Jahuapaylla Alta 4020 - 027”.

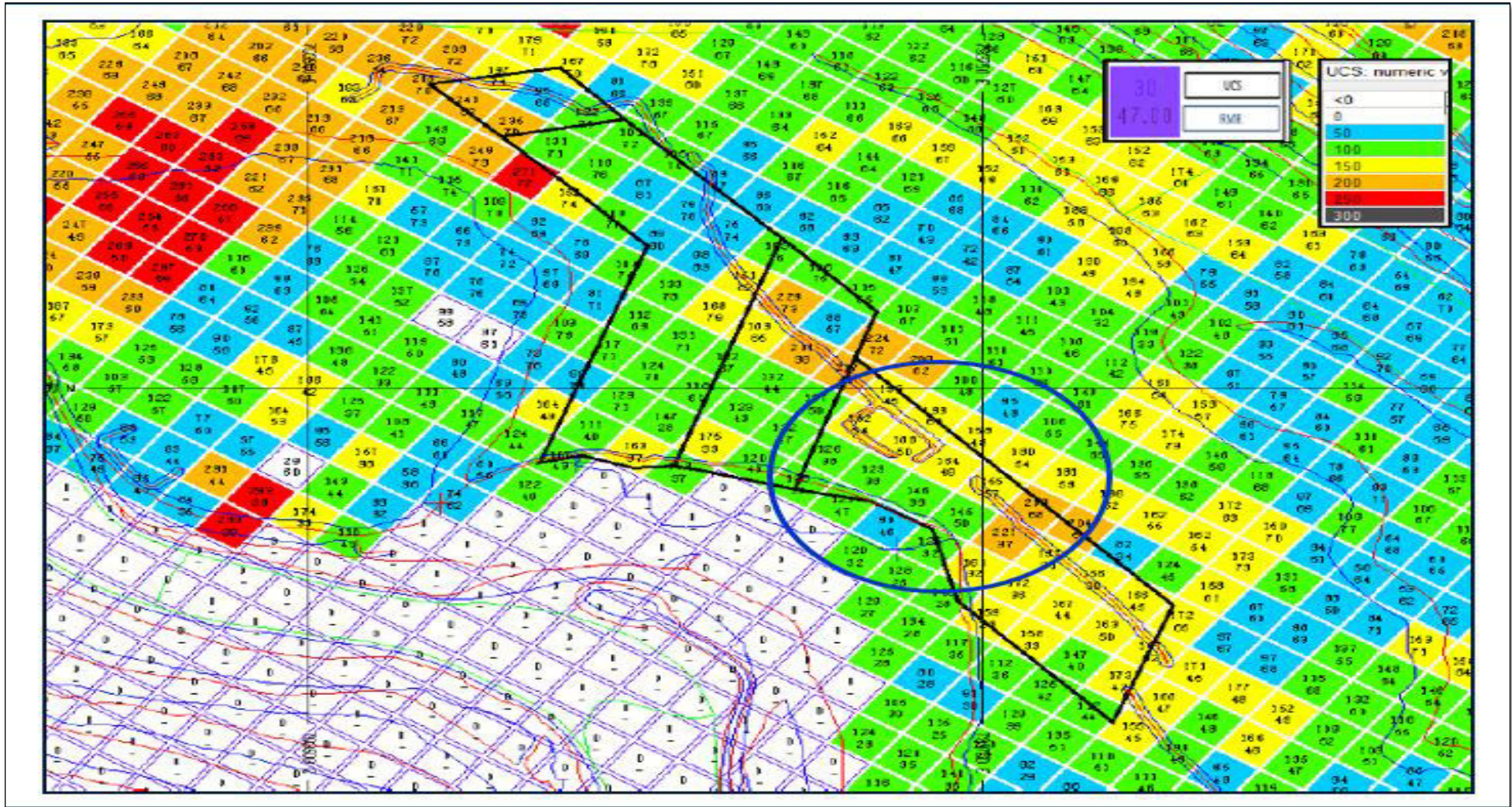


Figura 3-20: Plano “UCS” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver figura 3-21, se muestra el diseño de carga para taladros de mineral en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020-027”.

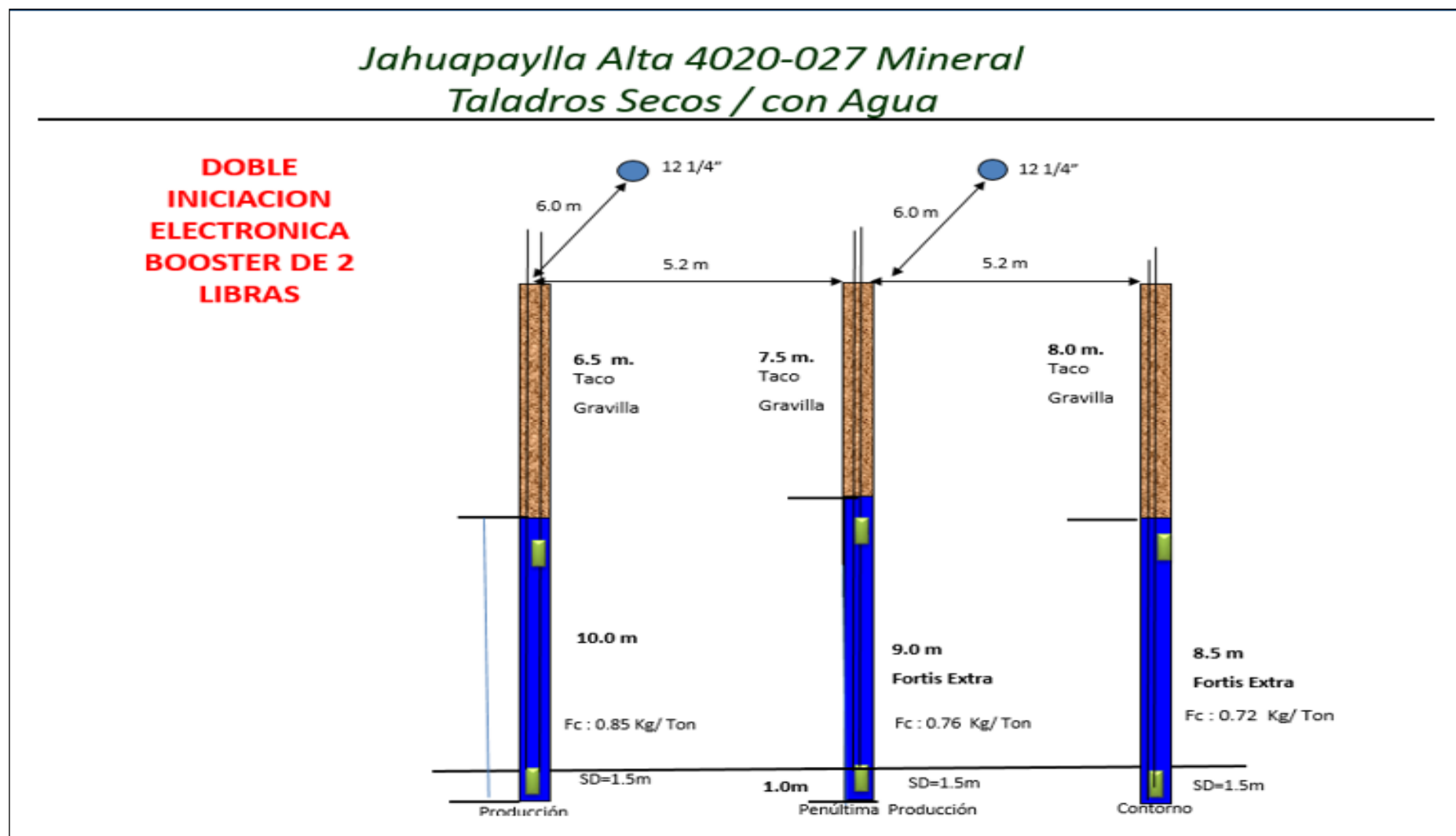


Figura 3-21: Diseño de carga mineral (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver figura 3-22, se muestra el diseño de carga para taladros de material estéril en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020 - 027”.

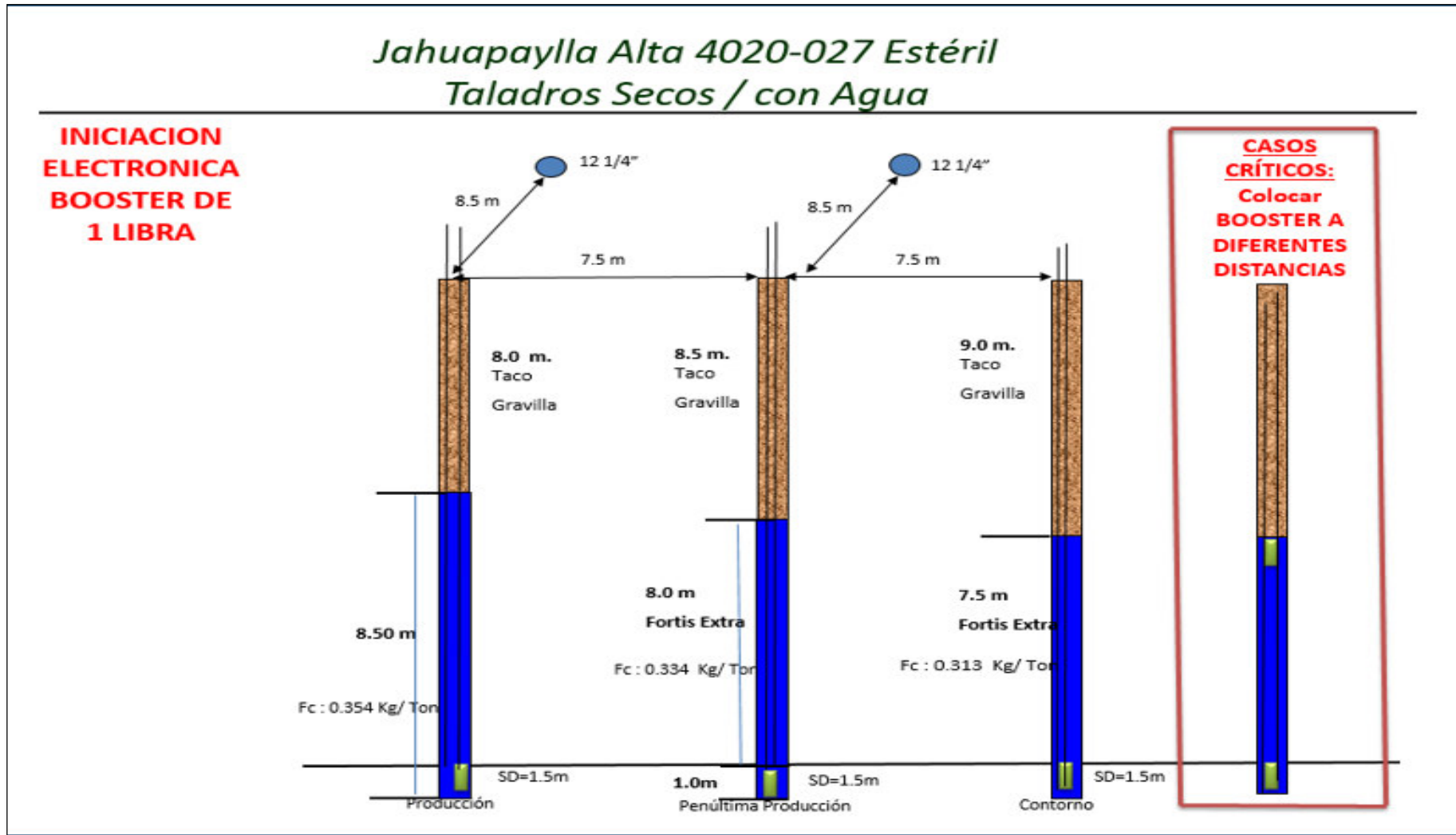
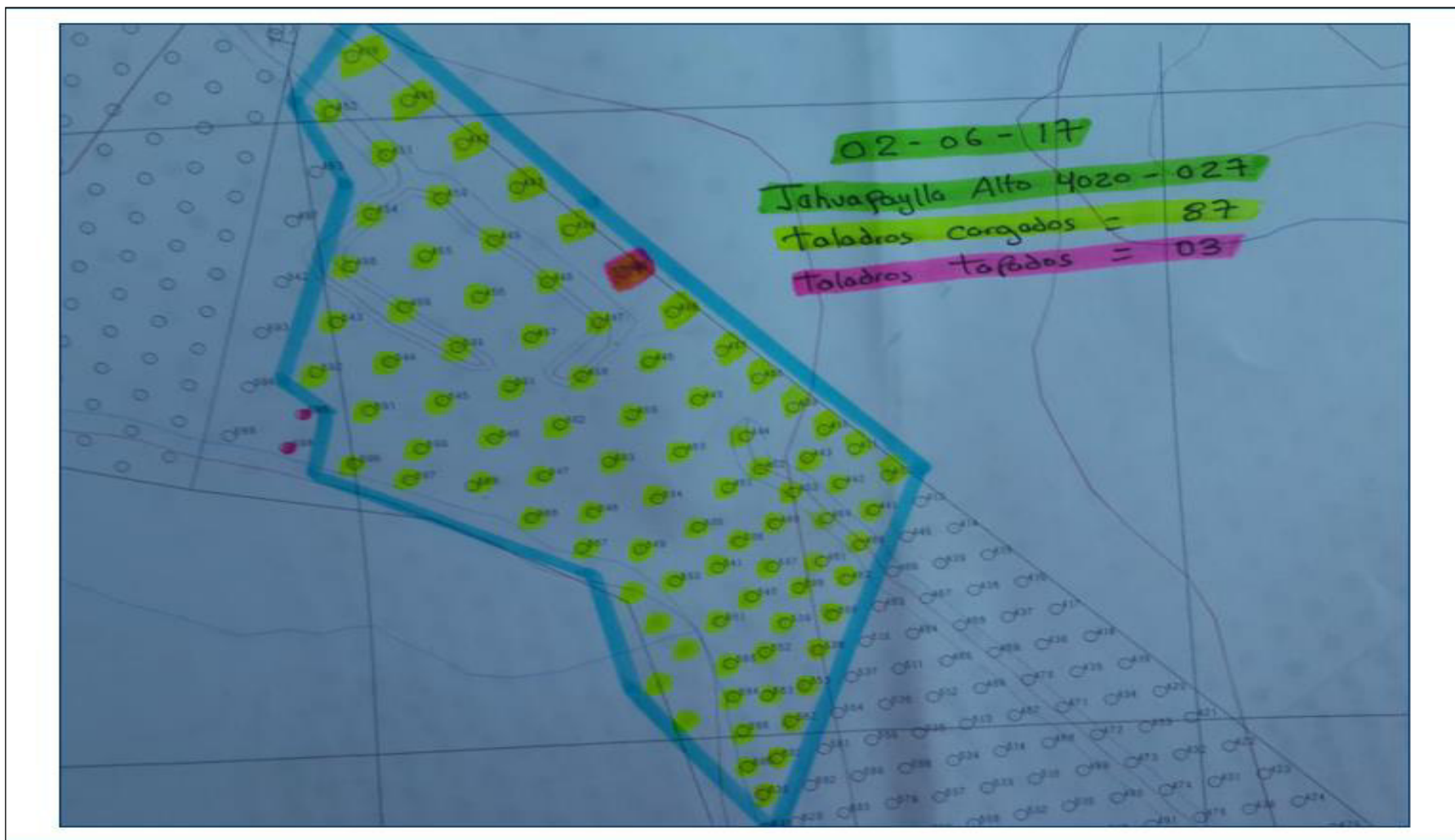


Figura 3-22: Diseño de carga estéril (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver fotografía 3-25, se muestra el levantamiento de taladros en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020-027”



Fotografía 3-25: Levantamiento de taladros (Jahuapaylla Alta 4020-027).
Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver figura 3-23, se muestra el diseño de voladura en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020-027”.

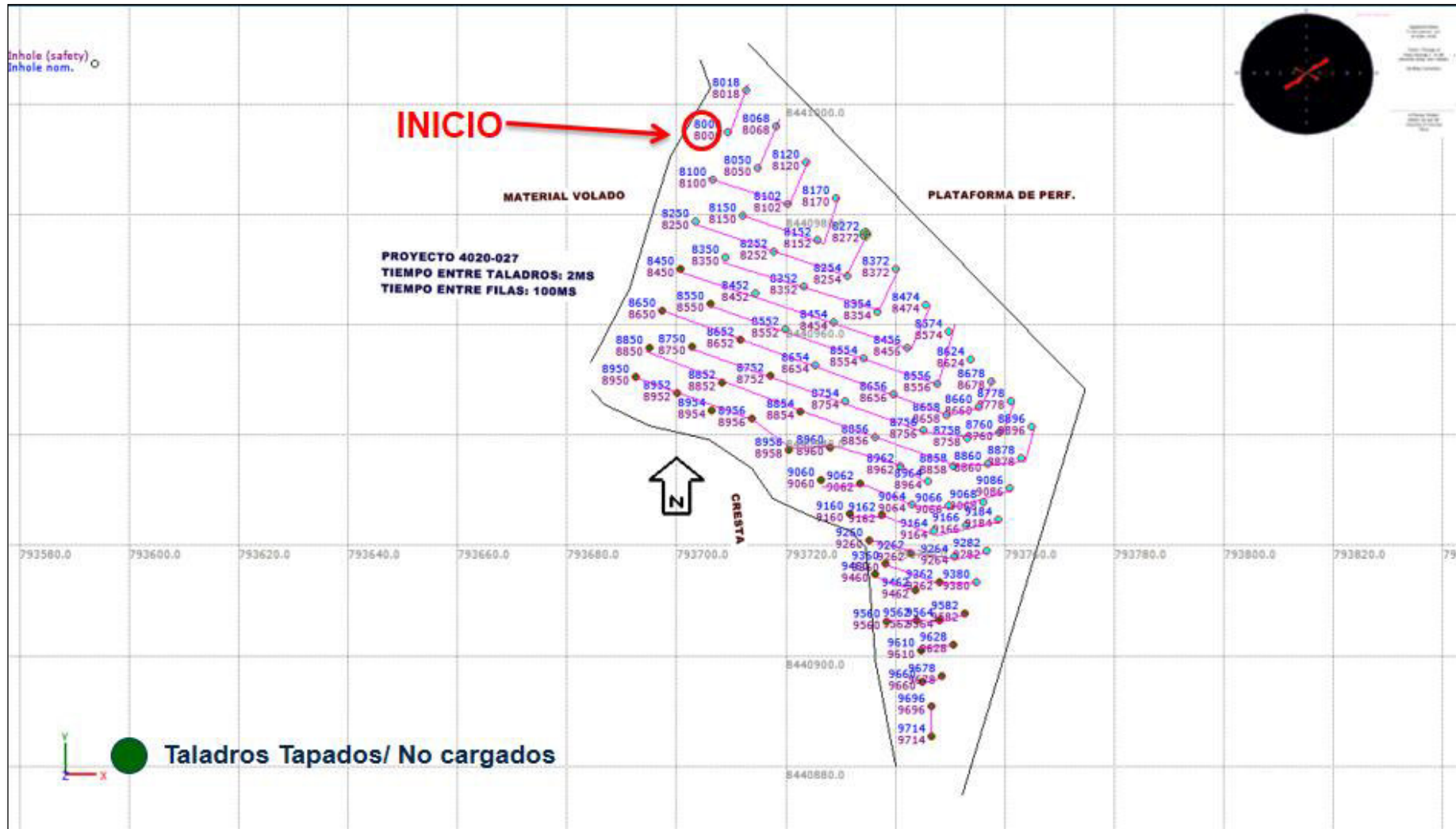


Figura 3-23: Diseño de Voladura (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver figura 3-24, se muestra las líneas de Isotiempo cada 100 milisegundos en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020-027”.

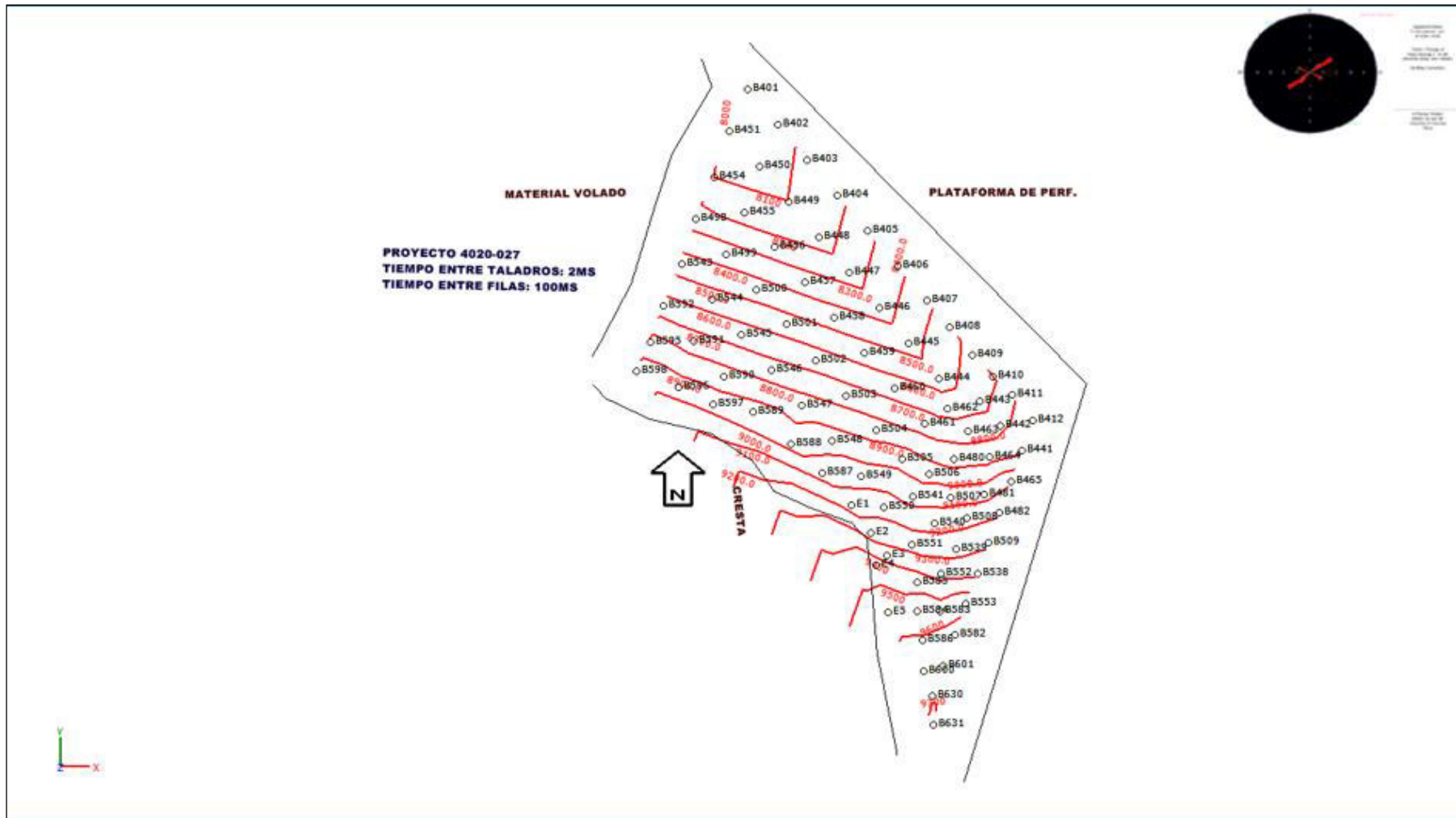


Figura 3-24: Líneas de Isotiempo “100 ms.” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver figura 3-25, se muestra el movimiento de material “Desplazamiento” en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020-027”.

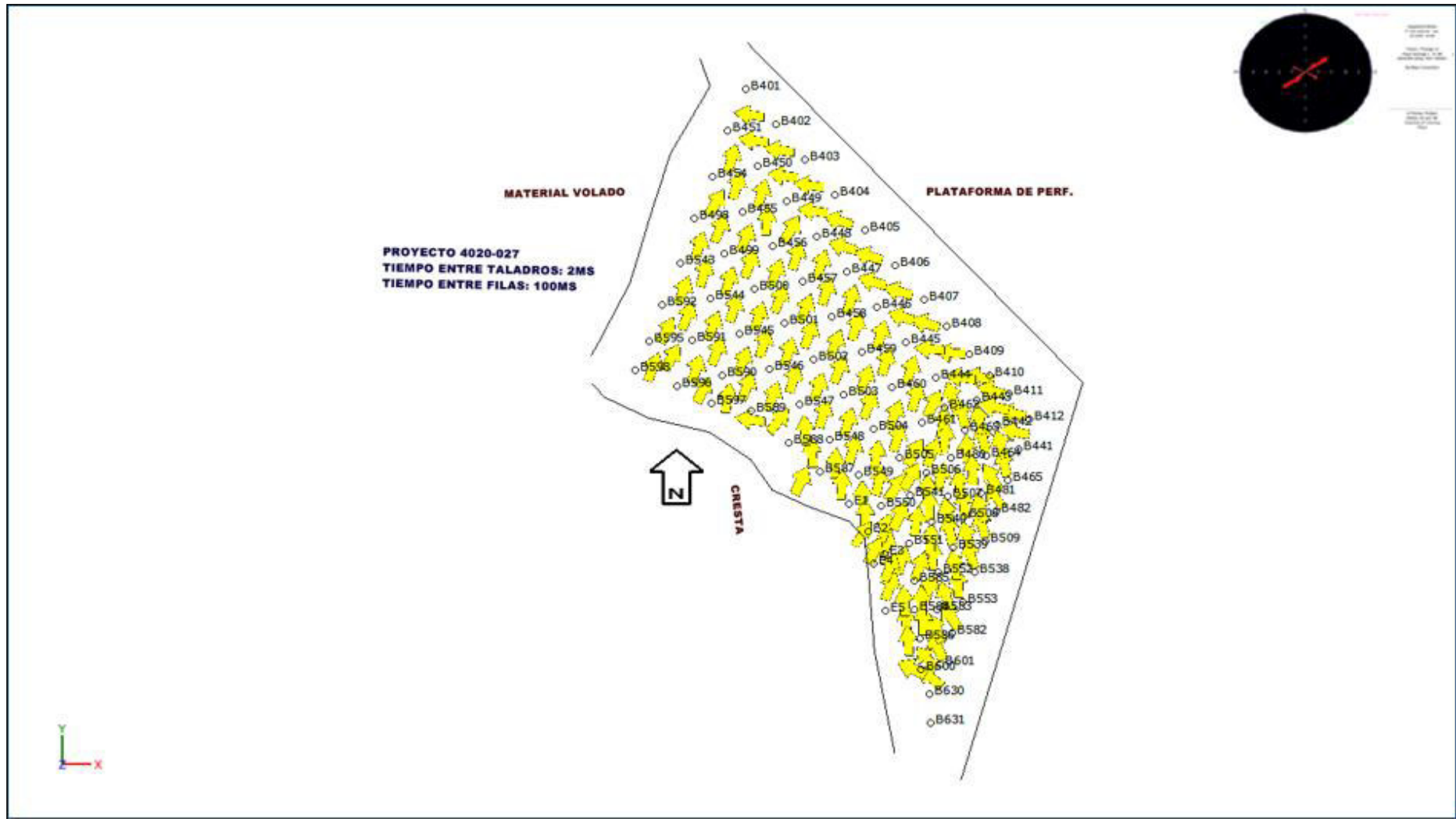


Figura 3-25: Movimiento de Material “Desplazamiento” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver figura 3-26, se muestra el “BURDEN RELIEF” en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020-027”.

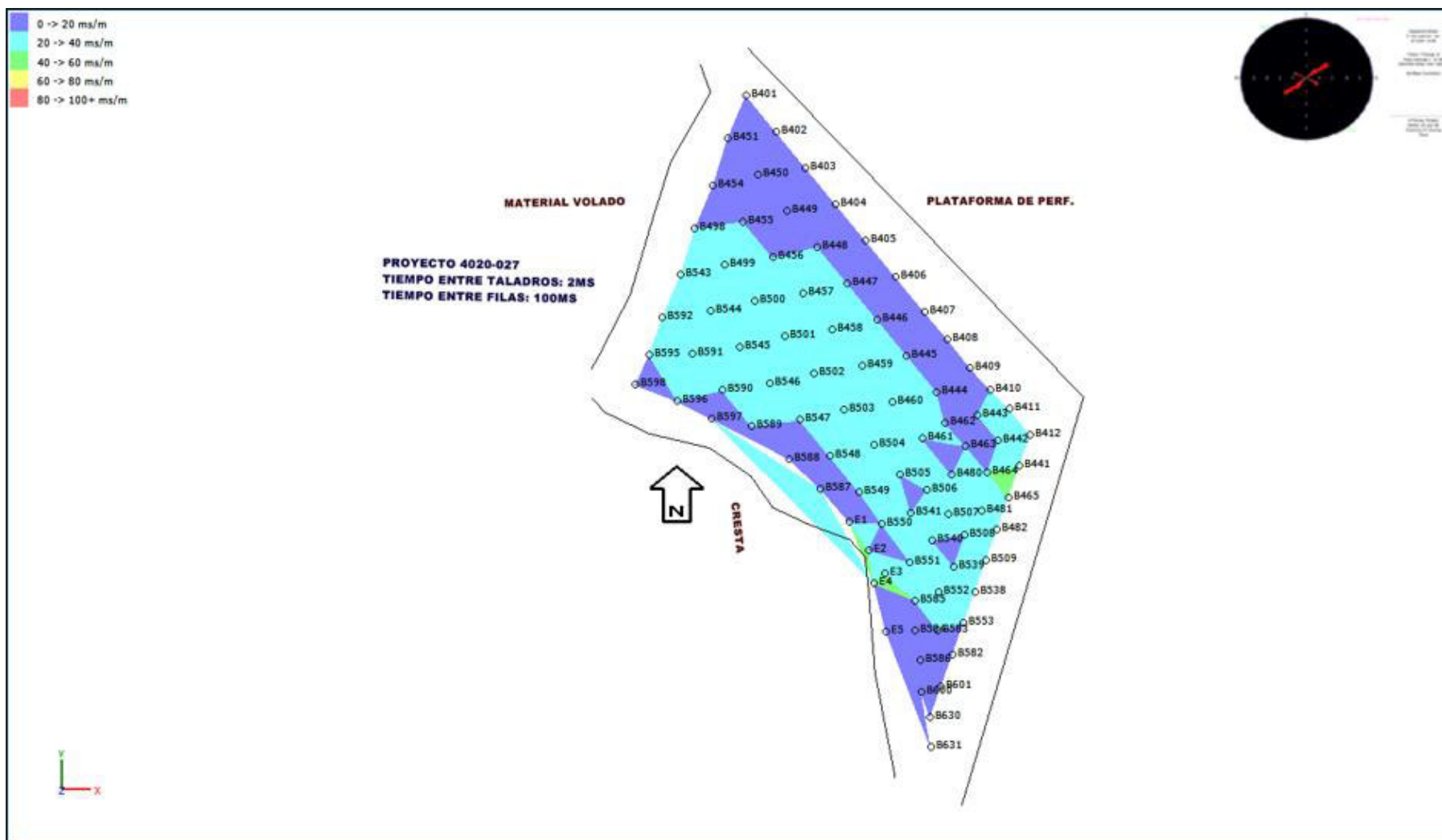


Figura 3-26: “BURDEN RELIEF” (Jahuapaylla Alta 4020 - 027).

Fuente: Asistencia Técnica / E.B.S. ORICA “Las Bambas”.

Ver fotografía 3-26, sobre los resultados de fragmentación después del disparo en la zona de “Jahuapaylla Alta 4020-027”.



Fotografía 3-26: Resultados de fragmentación “Jahuapaylla Alta 4020-027”.

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

3.6.3. Análisis Económico

3.6.3.1. Análisis de costos del Proyecto de voladura “4020 - 027”

Desarrollaremos a continuación el esquema de costos de las voladuras de producción en el “Tajo Ferrobamba” según los diseños entregados por el área de Planeamiento Mina de (M.M.G.) - “Las Bambas”.

Se presentan la tablas, sobre los diagramas de carguío y costos de voladura en la zona de “Jahuapaylla Alta” 4020 - 027.

Tabla 3-18: Diagrama de costo del “Fortis Extra 65/35” por Taladro del Proyecto 4005 - 015.

Tipo de Explosivo	FORTIS EXTRA	65/35
Diámetro	pulgadas	12 ¼
Densidad del Explosivo	gr/cm³	1.31
Densidad Lineal	kg/m	99.82
Nitrato de Amonio	US\$/Kg	0.42
Emulsión Matriz	US\$/Kg	0.77
Diesel	US\$/Gl	3.50
Costo por Metro Lineal	US\$/m	66.03
Costo por Explosivo	US\$	998.24

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3-19: Precios unitarios, costos de explosivos y accesorios.

EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS		P.U. (US\$)	USADO	TOTAL (U.S.\$)
Booster 2 Lb	Unidad	5.49	2	10.98
Exel	Unidad	3.14	2	6.28
Detonador Electrónico	Unidad	25.00	2	50
Costos		(Explosivos y accesorios)		67.26

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Tabla 3-20: Costo total de accesorios y explosivos.

Costo Total (US\$)	1 065.50
Malla	5.2/6.0
Altura de banco (m)	15
Sobreperforación (m)	1.5
Área de Incidencia de Taladro (m²)	31.2
Volumen por Taladro (m³)	514.8
Peso Específico (gr/cm³)	2.5
Toneladas Rotas (Ton)	1 287
Factor de Carga (Kg/Ton)	0.78

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Tabla 3-21: Costo de taladros de mineral del proyecto de voladura “4005 - 015”.

TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (MINERAL)	Nº TAL.	CANTIDAD DE EXPLOSIVO POR TALADRO (Kg.)	COSTO DE EXPLOSIVO POR TALADRO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	61	998.20	660.30	40 278.30
Penúltima de Producción	17	781.83	602.01	10 234.15
Contorno	18	738.40	568.56	10 234.15
				60 746.61
TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (MINERAL)	Nº TAL.	CANTIDAD DE "PENTEX™" POR TALADRO (Uds.)	COSTO DE "PENTEX™" POR UNIDAD (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	61	2	5.49	669.78
Penúltima de Producción	17	2	5.49	186.66
Contorno	18	2	5.49	197.64
				1 054.08
TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (MINERAL)	Nº TAL.	CANTIDAD DE "i-kon™" POR TALADRO (Uds.)	COSTO DE "i-kon™" POR UNIDAD (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	61	2	25.00	3 050.00
Penúltima de Producción	17	2	25.00	850.00
Contorno	18	2	25.00	900.00
				4 800.00
TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (MINERAL)	Nº TAL.	CANTIDAD DE "Exel™" POR TALADRO (Uds.)	COSTO DE "Exel™" POR UNIDAD (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	61	2	3.14	383.08
Penúltima de Producción	17	2	3.14	106.76
Contorno	18	2	3.14	113.04
				602.88

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3-22: Costo de taladros de material estéril del proyecto de voladura "4005-015".

TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (ESTÉRIL)	N° TAL.	CANTIDAD DE EXPLOSIVO POR TALADRO (Kg.)	COSTO DE EXPLOSIVO POR TALADRO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	21	848.47	561.26	11 786.36
Penúltima de Producción	21	694.96	535.12	11 237.50
Contorno	30	651.53	501.67	15 050.23
				38 074.09
TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (ESTÉRIL)	N° TAL.	CANTIDAD DE "PENTEX™" POR TALADRO (Uds.)	COSTO DE "PENTEX™" POR UNIDAD (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	21	1	5.49	115.29
Penúltima de Producción	21	1	5.49	115.29
Contorno	30	1	5.49	164.70
				395.28
TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (ESTÉRIL)	N° TAL.	CANTIDAD DE "i-kon™" POR TALADRO (Uds.)	COSTO DE "i-kon™" POR UNIDAD (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	21	1	25.00	525.00
Penúltima de Producción	21	1	25.00	525.00
Contorno	30	1	25.00	750.00
				1 800.00
TIPOS DE TALADROS "PRODUCCIÓN" (MINERAL)	N° TAL.	CANTIDAD DE "Exel™" POR TALADRO (Uds.)	COSTO DE "Exel™" POR UNIDAD (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Producción	21	1	3.14	65.94
Penúltima de Producción	21	1	3.14	65.94
Contorno	30	1	3.14	94.20
				226.08

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3-23: Costos de explosivos, accesorios y costo total por voladura.**COSTO POR EXPLOSIVOS**

COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE TALADROS DE MINERAL	26 090.90
COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE TALADROS DE ESTÉRIL	23 672.83
COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE "PENTEX™" EN TAL. DE MINERAL	230.58
COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE "PENTEX™" EN TAL. DE ESTÉRIL	274.40
	50 268.71

COSTO POR ACCESORIOS

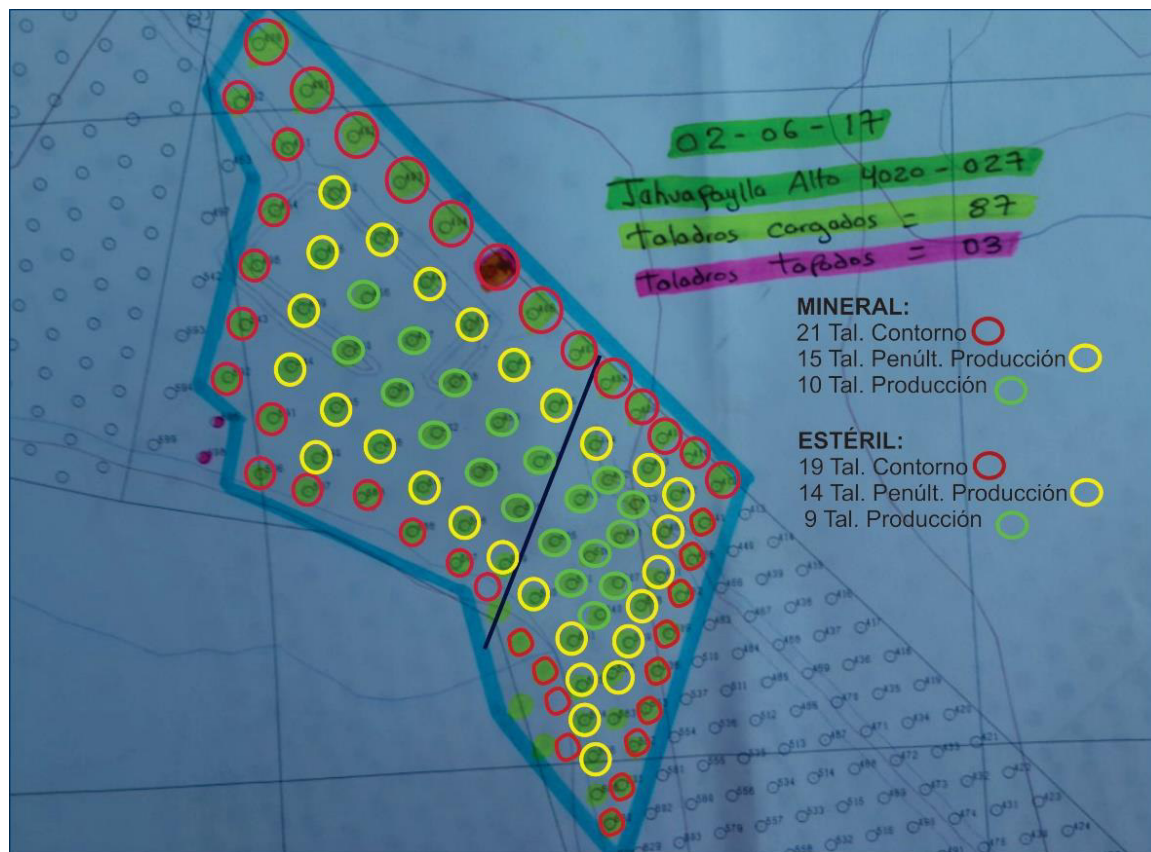
COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE "i-kon™" EN TAL. DE MINERAL	1 050.00
COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE "i-kon™" EN TAL. DE ESTÉRIL	1 125.00
COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE "Exel™" EN TAL. DE MINERAL	131.88
COSTO POR CANTIDAD TOTAL DE "Exel™" EN TAL. DE ESTÉRIL	141.30
	2 448.18

COSTO TOTAL POR PROYECTO DE VOLADURA

COSTO POR EXPLOSIVOS	50 268.58
COSTO POR ACCESORIOS	2 448.18
	52 716.76

Fuente: Elaboración Propia.

Ver fotografía 3-27, sobre la distribución de carguío de taladros según diseño entregado por el área de planeamiento.

**Fotografía 3-27:** Distribución de carguío de taladros según diseño.

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) "Las Bambas".

3.6.4. Análisis Ambiental

3.6.4.1. Marco legal

La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Dicha norma establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Conforme a lo establecido en la Ley N° 28611 y en el reglamento para la Protección Ambiental de las actividades Minero Metalúrgicas, aprobado mediante Decreto Supremo (D.S.) N° 016-93-EM, los proyectos de inversión pública o privada que vayan a ejecutarse dentro del territorio nacional y que son susceptibles de causar impactos ambientales significativos de carácter negativo, dentro de los cuales se incluyen los proyectos mineros nuevos, requieren la previa realización y aprobación de un EIA, por la autoridad competente. La autoridad competente para la aprobación de los EIA de los proyectos de inversión en minería, es el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM).

a) Normatividad General

- Constitución Política del Perú de 1993.
- Ley Marco para el crecimiento de la Inversión Privada, Decreto Legislativo N° 757.
- Ley General de Comunidades Campesinas, Ley N° 24656.
- Ley de la Inversión Privada en el Desarrollo de las Actividades Económicas en las Tierras de Territorio Nacional y de las Comunidades Campesinas y Nativas, Ley N° 26505.
- Ley General de Salud, Ley N° 26842.
- Código Penal, Delitos contra la ecología, Título XIII, Decreto Legislativo N° 635.

b) Normatividad Ambiental

- Ley General del Ambiente, Ley N° 28611.
- Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338.
- ECA para calidad de agua, Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.
- ECA del aire, Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM.
- Reglamento de ECA para el ruido, Decreto Supremo N° 085-2003-PCM.
- Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314, y su Reglamento, Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.
- Ley Forestal y de Fauna Silvestre, Ley N° 27308.



3.6.5. Medición de los gases post voladura

Para realizar la medición de los gases tóxicos producidos luego de la voladura en el “Tajo Ferrobamba” se usó el monitor de gases MSA ALTAIR 5X, el cual permite medir la cantidad de gases tóxicos producidos luego de la voladura de rocas de un determinado espacio, el cual funciona a través de sensores.



Fotografía 3-28: Monitoreo de gases con el equipo “MSA ALTAIR 5X”.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

3.7. Material de la investigación

3.7.1. Pruebas de entrada y salida de la investigación

3.7.1.1. Entradas

- ❖ Ensayos de campo.
- ❖ Pruebas de Voladura.
- ❖ Uso de la Emulsión matriz.
- ❖ Uso de la Emulsión gasificada.
- ❖ Densidad.
- ❖ Fragmentación de la roca.
- ❖ Velocidad de detonación (VOD).

3.7.1.2. Salidas

- ❖ Impacto - Rendimiento técnico operativo.
- ❖ Impacto - Rendimiento económico.
- ❖ Impacto - Rendimiento Medioambiental.

3.7.2. Instrumentos de la investigación

3.7.2.1. Recolección de información

En esta etapa se recolectó la información técnica económica y ambiental de la voladura con emulsión matriz con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con la voladura utilizando emulsión gasificada.

3.7.2.2. Fuentes de Recolección e información

❖ Fuentes primarias

La información se obtiene directamente, en su origen.

❖ Fuentes Secundarias

Los libros, las revistas los informes los documentos, y todos los medios de información.

3.7.2.3. Técnicas de recolección de información

En este caso se aplicó la técnica de la observación sistemática y lo que deriva de él, la cual es el análisis del contenido, y archivos (Informes).

3.7.2.4. Proceso de recolección de datos

La recolección de datos necesarios a fin de probar la hipótesis, y los objetivos la cual se registrarán por los siguientes pasos: Información obtenida en base a objetivos e hipótesis, selección de población y muestra, definición de las técnicas de recolección de información, y finalmente procesar la información.

3.7.2.5. Procesamiento de la Información (Datos)

Los pasos para el procesamiento de la investigación presente se rigen por los siguientes:

- ❖ Se obtuvo base de datos sobre la información de la población y muestra, objeto de la investigación.
- ❖ La definición de las variables para ordenar los datos obtenidos en campo.
- ❖ La definición de las herramientas estadísticas.
- ❖ Introducción de los datos para su procesamiento.



3.7.3. Diseño de materiales

Los materiales utilizados en la investigación presente fueron:

- ❖ Cámaras fotográficas.
- ❖ Emulsión matriz.
- ❖ Emulsión gasificada.
- ❖ ANFO.
- ❖ Laptop.
- ❖ Portametrics.
- ❖ Shot plus 5 (software).
- ❖ ALTEIR 5X (Monitor de gases).
- ❖ Balanza.
- ❖ Vaso volumétrico.
- ❖ Espátula.
- ❖ Trapos.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Descripción de los resultados

4.1.1. Evaluación Técnico Operativo

a) Densidad

Según la línea base tomada del área de Voladura del año 2015, se muestra los resultados de las densidades, para las muestras explosivas “Fortis Advantage 100” y “Fortis Advantage 65/35”, las cuales son constantes debido a que este tipo de emulsiones no gasifican.

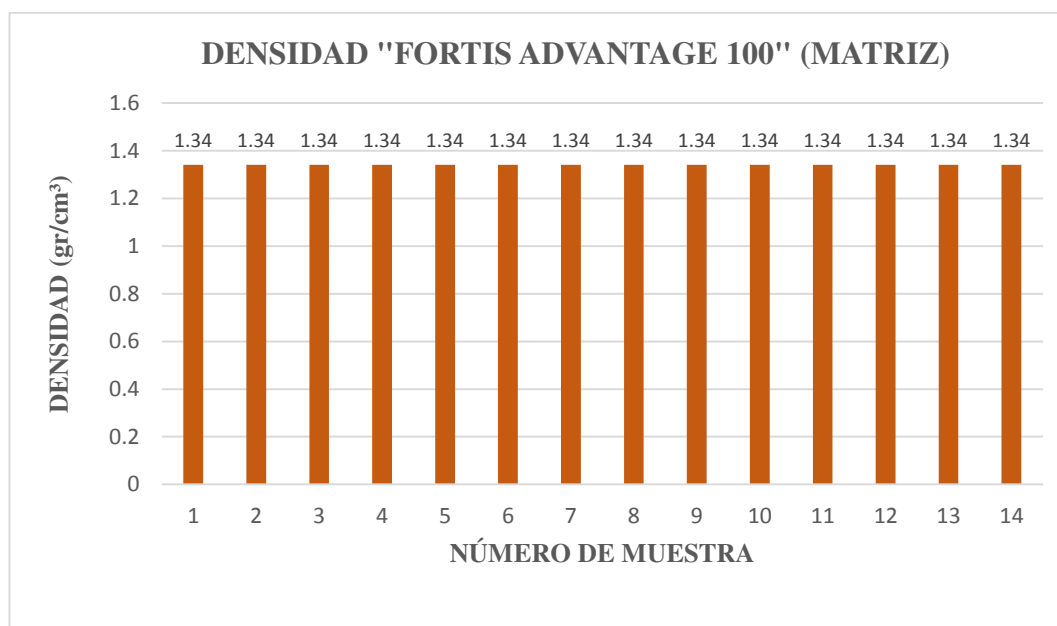


Gráfico 4-3: Densidades del “Fortis Advantage 100” (Emulsión matriz).
Fuente: Elaboración Propia.

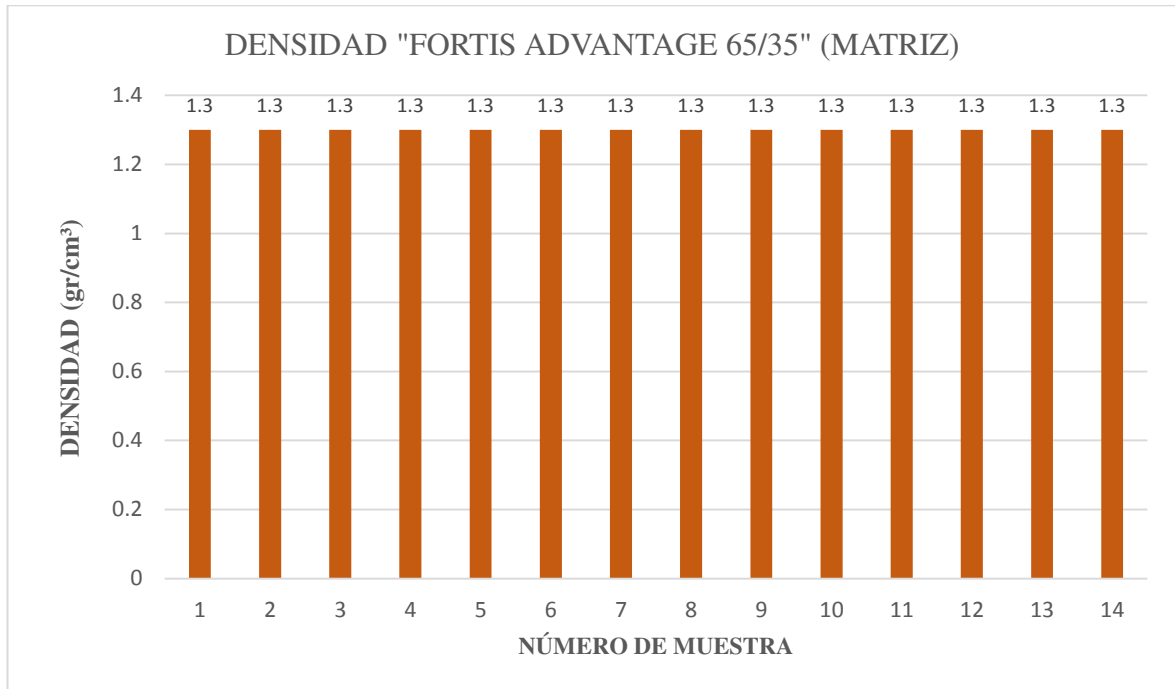


Gráfico 4-4: Densidades del “Fortis Advantage 65/35” (Emulsión matriz).
Fuente: Elaboración Propia.

a.1) Densidades “Fortis extra 100” y “Fortis extra 65/35” (Emulsión Gasificada)

Luego de realizar las pruebas con la nueva emulsión gasificable, se obtuvo los siguientes datos, donde la densidad final varía dependiendo de la cantidad de agente gasificante inyectado durante la descarga.

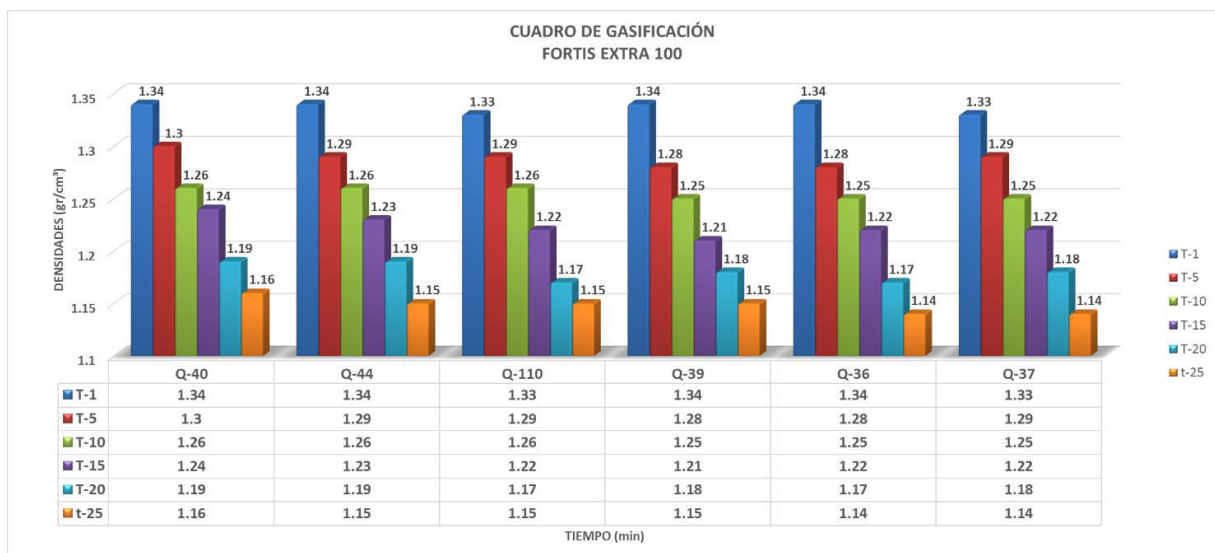


Gráfico 4-5: Densidades del “Fortis extra 100”.
Fuente: Elaboración Propia

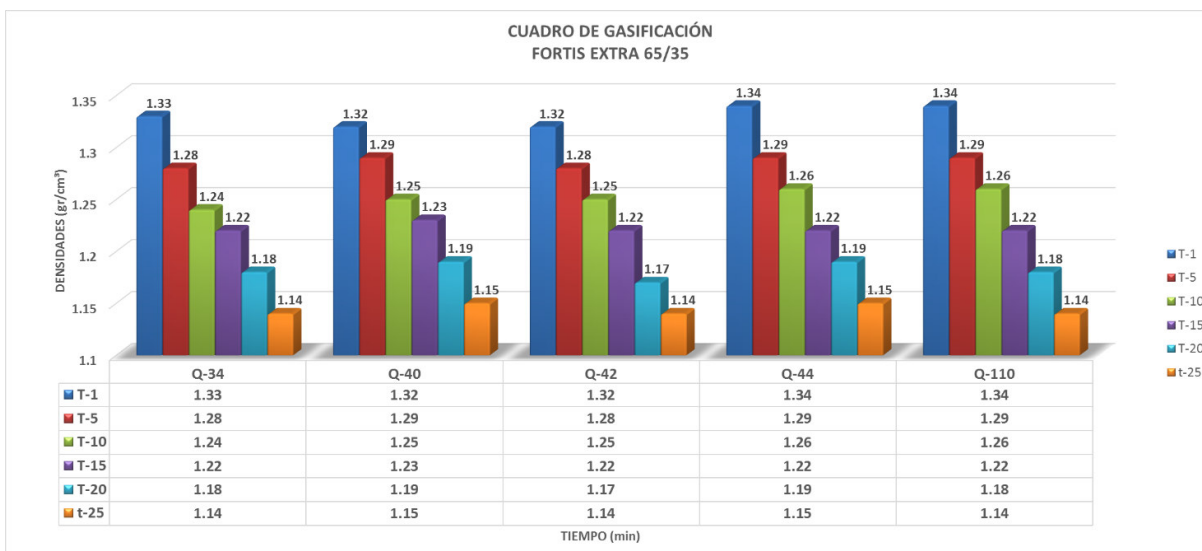


Gráfico 4-6: Densidades del “Fortis extra 65/35”.

Fuente: Elaboración Propia.

a.2) Factor de carga

Se calculó el factor de carga para la emulsión gasificada y la emulsión matriz para mineral y estéril, los cuales nos dieron los siguientes resultados.

FACTOR DE CARGA SEGÚN TALADRO (Kg/ton)			
EXPLOSIVO	Producción	P. Producción	Contorno
Emulsión Matriz	0.89	0.81	0.77
Emulsión Gasificada	0.85	0.76	0.72

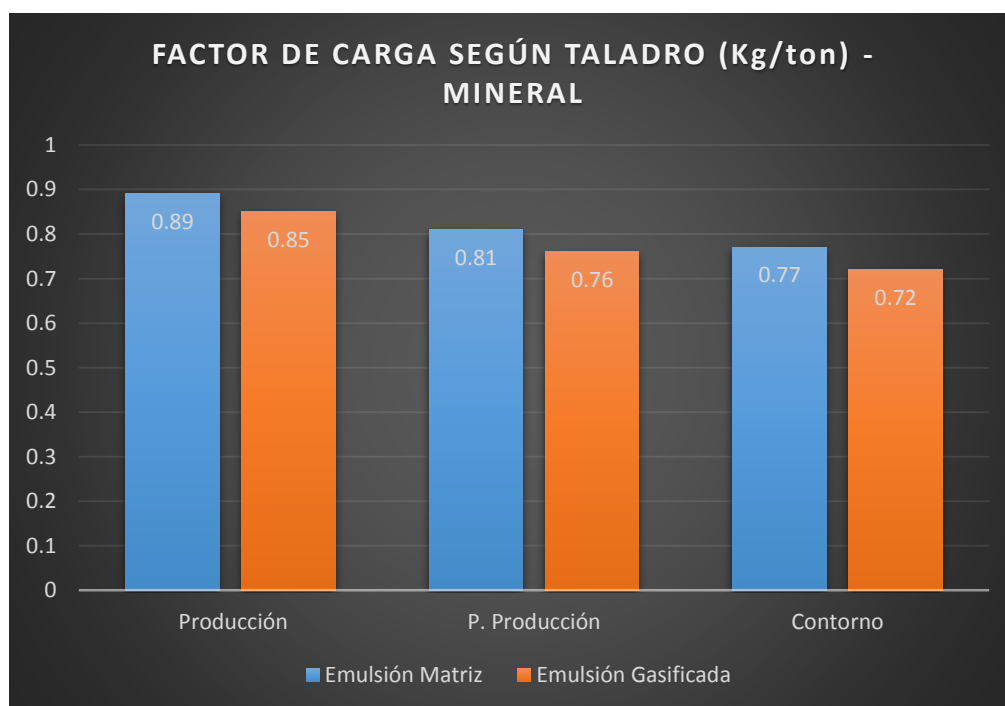


Gráfico 4-7: Factores de carga según tipo de taladro (Mineral).

Fuente: Elaboración Propia.



FACTOR DE CARGA SEGÚN TALADRO (Kg/ton)			
EXPLOSIVO	Producción	P. Producción	Contorno
Emulsión Matriz	0.375	0.354	0.333
Emulsión Gasificada	0.354	0.334	0.313

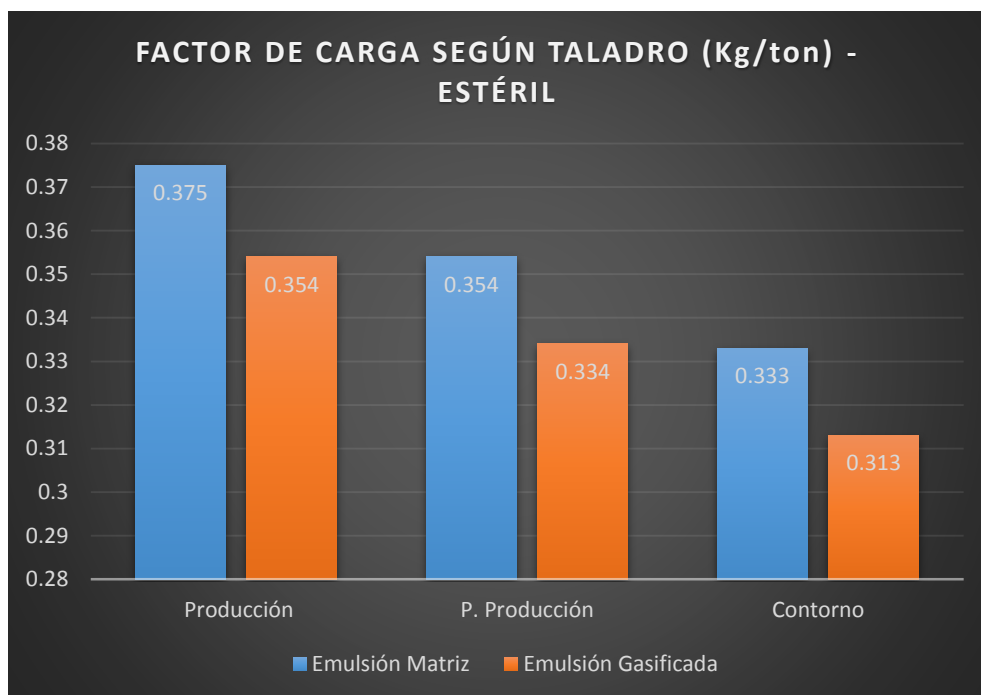


Gráfico 4-8: Factores de carga según tipo de taladro (Estéril).
Fuente: Elaboración Propia.

b) VELOCIDAD DE DETONACIÓN (VOD)

Según línea base las velocidades de detonación utilizando emulsión matriz fueron las siguientes:

- VOD promedio (Fortis Advantage 70/30) = 5479.2 m/s
- VOD promedio (Fortis Advantage 65/35) = 5349.8 m/s

Con la utilización de las nuevas mezclas gasificadas en las pruebas de campo tomadas con el equipo MICROTRAP se obtuvieron los siguientes datos:

Ver figura 3-27, sobre la medición de V.O.D. (Fortis Extra 65/35) “Jahuapaylla Alta”.

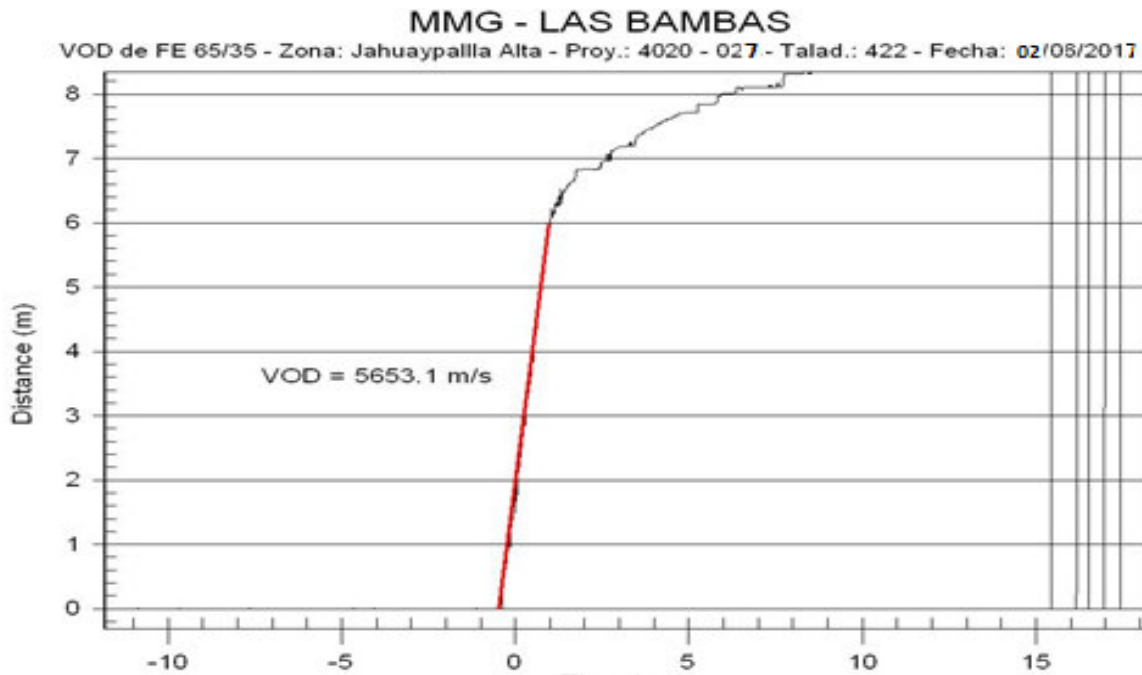


Figura 3-27: Medición de V.O.D. (Fortis Extra 65/35) proyecto 4020-027.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Ver figura 3-28, sobre la medición de V.O.D. (Fortis Extra 70/30) “Jahuapaylla Alta”

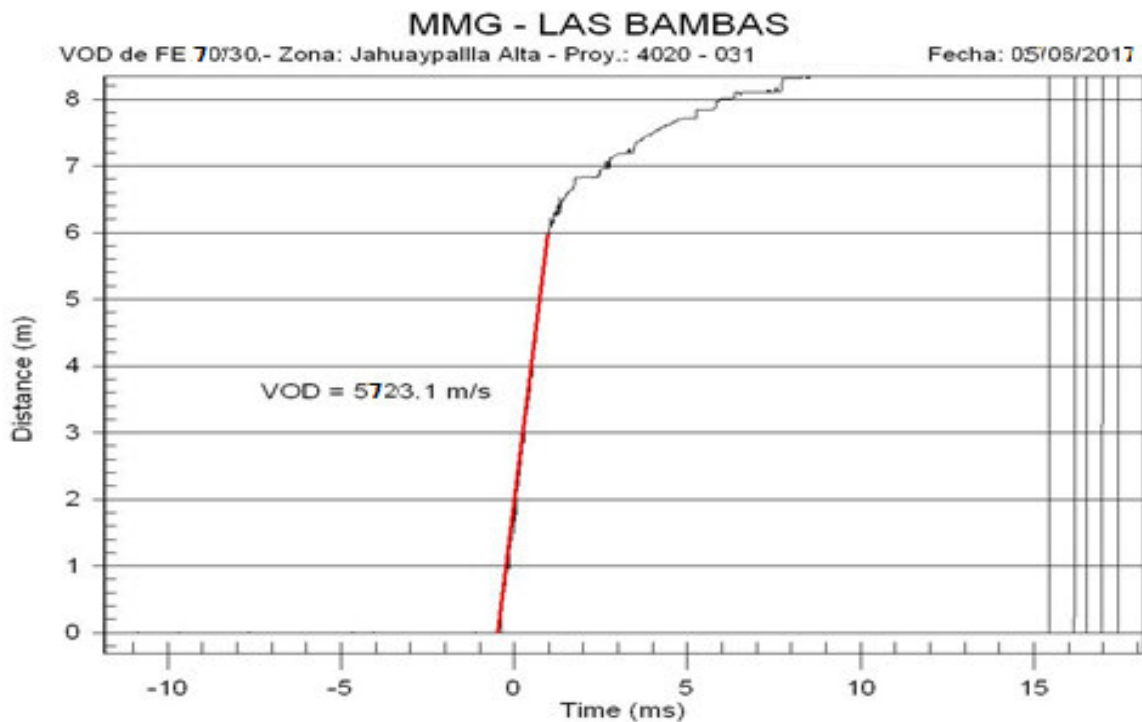


Figura 3-28: Medición de V.O.D. (Fortis Extra 70/30) proyecto 4020-031.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Ver figura 3-29, sobre la medición de V.O.D. (Fortis Extra 65/35) “Jahuapaylla Alta”

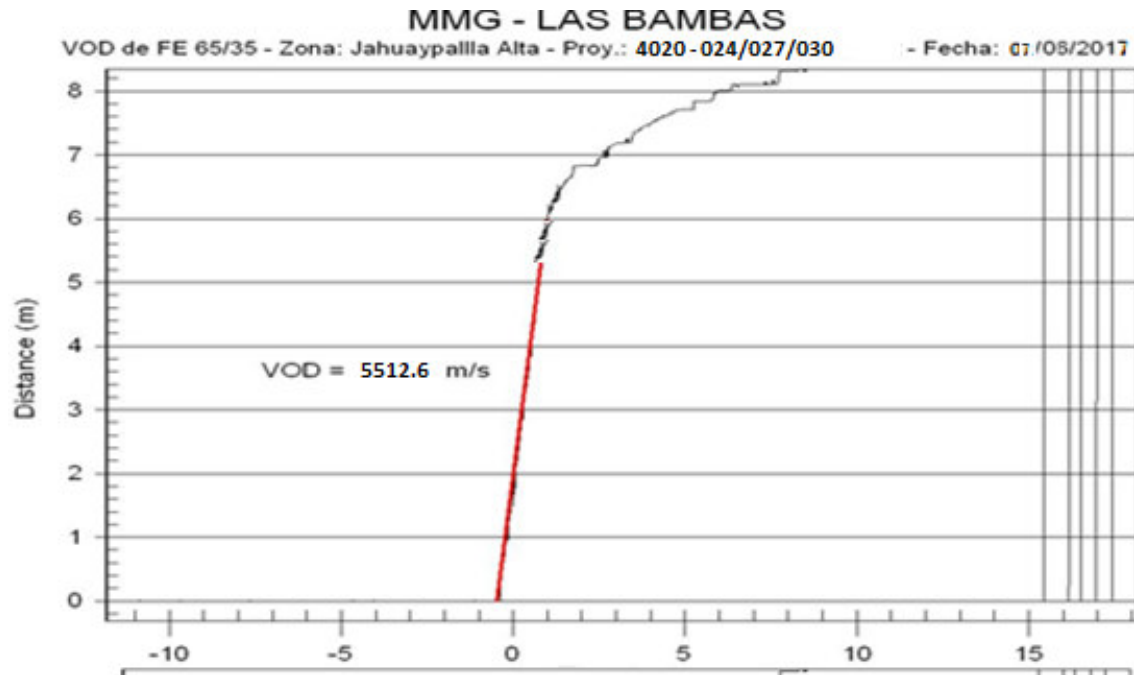


Figura 3-29: Medición de V.O.D. (Fortis Extra 65/35) proyecto 4020-024.
Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Como se muestra en los gráficos, las velocidades de detonación de las emulsiones gasificadas son mayores en comparación con las velocidades tomadas a las emulsiones matrices. Siguiendo la regla a mayor velocidad de detonación, mayor poder rompedor del explosivo. Por lo tanto, las emulsiones gasificadas tienen un mayor poder rompedor lo cual optimiza la voladura.

c) Fragmentación

Luego de realizar la voladura, se analizó la fragmentación utilizando la cámara Porta Metrics, el cual es un innovador sistema portátil con sensores tridimensionales, que permite medir el tamaño de rocas in-situ, dando información precisa y la medición de cada roca de manera independiente, en el gráfico 6, se muestra la comparación de las fragmentaciones obtenidas con emulsión matriz y los datos de fragmentación obtenidas con emulsiones gasificables.

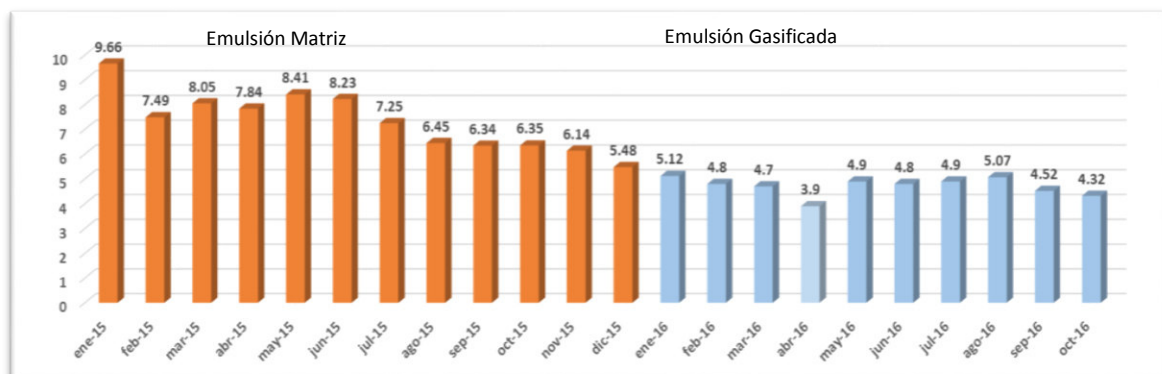


Gráfico 4-9: Tamaño de Fragmentación (pulgadas) “Tajo Ferrobamba”.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2. Evaluación Económica

Tras realizar el análisis operativo de costos y comparar las dos diferentes mezclas, a continuación, se presenta el cuadro, que muestra las ventajas económicas que brinda la emulsión gasificada a la operación. Este análisis se realizó en base a los costos de las materias primas, dimensiones del taladro y nivel de esponjamiento de la mezcla, determinando el costo por metro lineal, costo por taladro, costo por tonelada volada y factor por carga por cada explosivo. Se realizó este análisis en los diversos niveles del “Tajo Ferrobamba”, donde se comparan las diferentes mezclas Fortis Advantage 100, Fortis Advantage 65/35 (Emulsión Matriz) versus Fortis Extra 100, Fortis Extra 65/35 (Emulsión Gasificada).

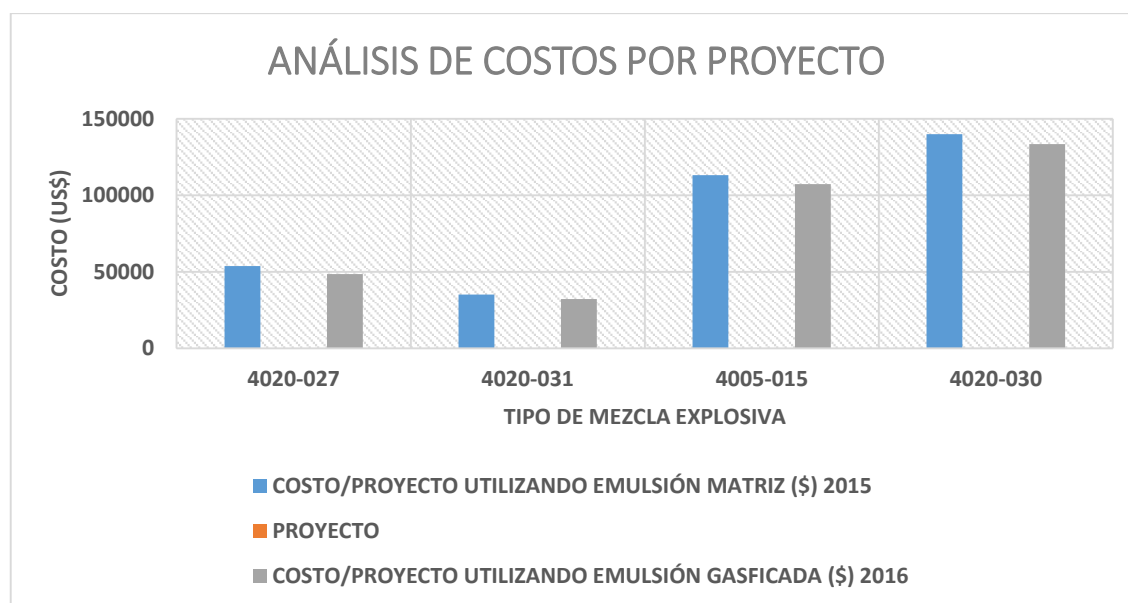


Gráfico 4-10: Análisis de costos según tipo de explosivo.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3. Evaluación Ambiental

La mayoría de explosivos son deficientes en oxígeno, pues no tienen suficiente para poder convertir cada átomo de carbono e hidrógeno presente en la mezcla explosiva en dióxido de carbono y agua, por lo tanto, no tener el porcentaje de combustible necesario puede generar óxidos nitrosos en el momento de la voladura. Los óxidos de nitrógeno son en general muy reactivos y al inhalarse afectan al sistema respiratorio. Las emulsiones gasificadas son emulsiones que han sido sensibilizada mediante la generación de burbujas muy pequeñas dentro de su matriz. La Emulsión (Fortis Extra) es una emulsión Gasificada químicamente mediante de un aditivo (Nitrito de Sodio), el cual al estar en contacto con la emulsión genera burbujas de Nitrógeno (N_2) evitándose los humos anaranjados. En “Las Bambas” de un total de 60 disparos mensuales se tenía en promedio 30% voladuras con presencia de gases nitrosos.

Ver fotografías 4-29, Se muestra la comparación de emisión de gases producidos luego de las voladuras con los diferentes tipos de muestras explosivas: A la izquierda voladuras con emulsión matriz y a la derecha voladuras con emulsión gasificada “Fortis Extra”.



Fotografía 4-29: Emisión de gases producidos post voladuras “Tajo Ferrobamba”.

Fuente: Asistencia Técnica (ORICA) “Las Bambas”.

Las fotografías del lado izquierdo muestran los gases nitrosos emitidos luego de las voladuras con emulsión matriz Fortis Advantage 100 y 65/35, evidenciándose el impacto ambiental que provocan este tipo de gases, los cuales generaban demoras operativas y significaban un riesgo para los trabajadores, por otro lado en la parte derecha se muestran las fotografías luego de las voladuras con emulsión gasificada Fortis Extra 100 y 65/35, reduciendo significativamente la generación de gases nitrosos.

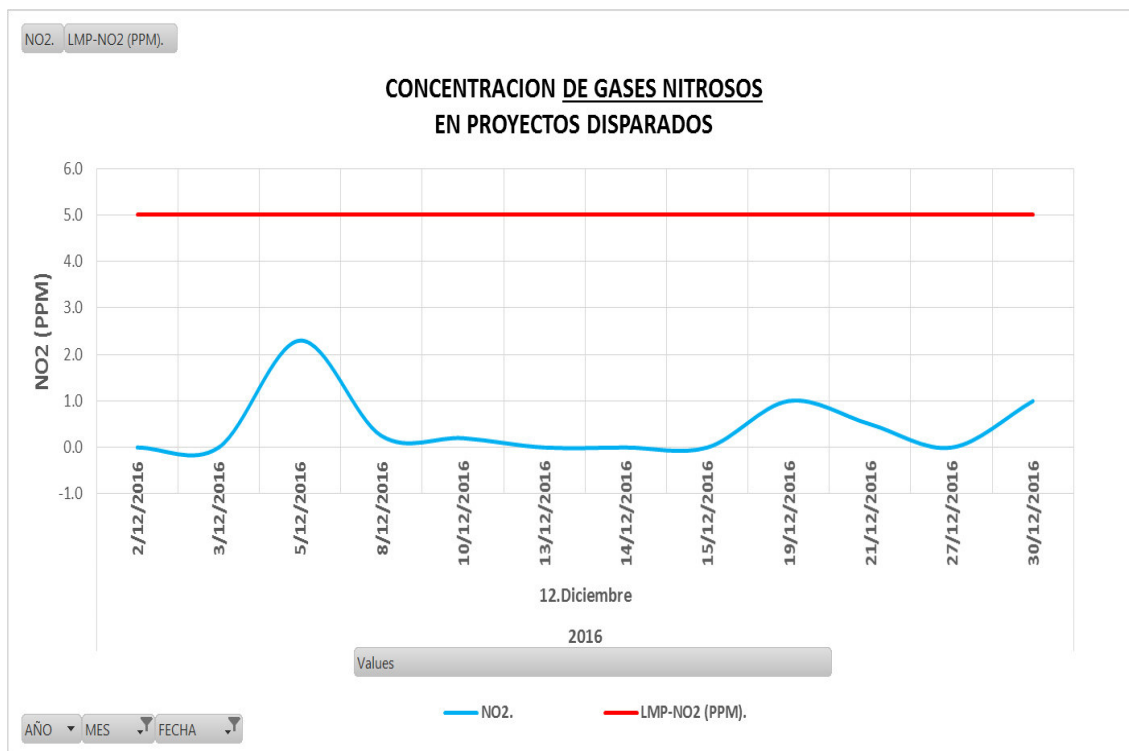


Gráfico 4-11: Monitoreo de Gases Nitrosos “Tajo Ferrobamba”.
Fuente: Elaboración Propia.

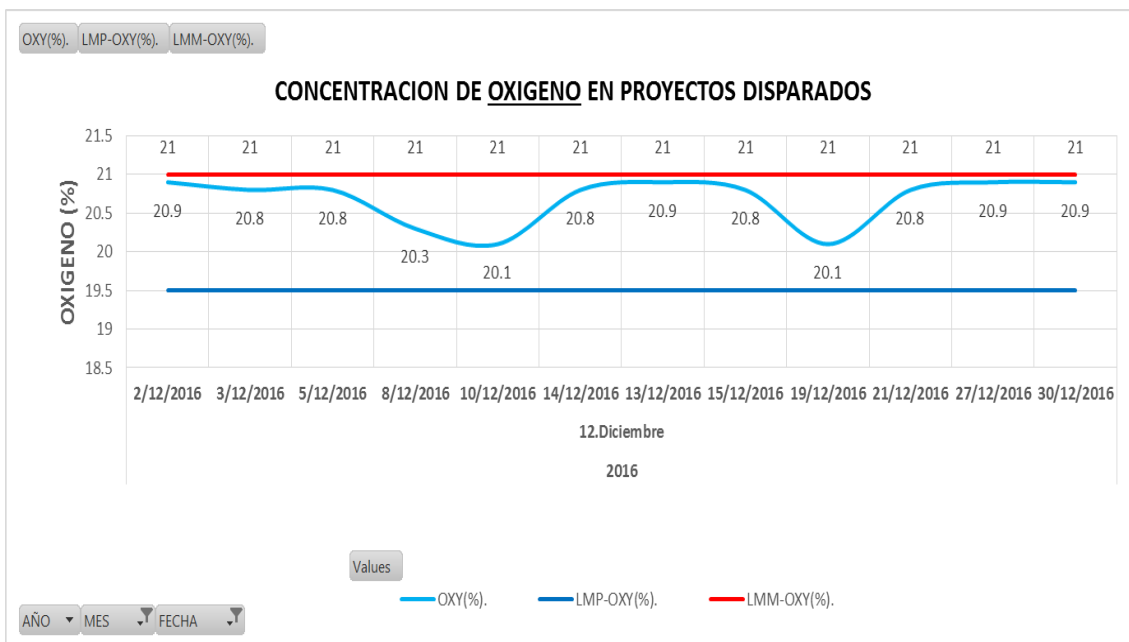


Gráfico 4-12: Monitoreo de Oxígeno “Tajo Ferrobamba”.
Fuente: Elaboración Propia.

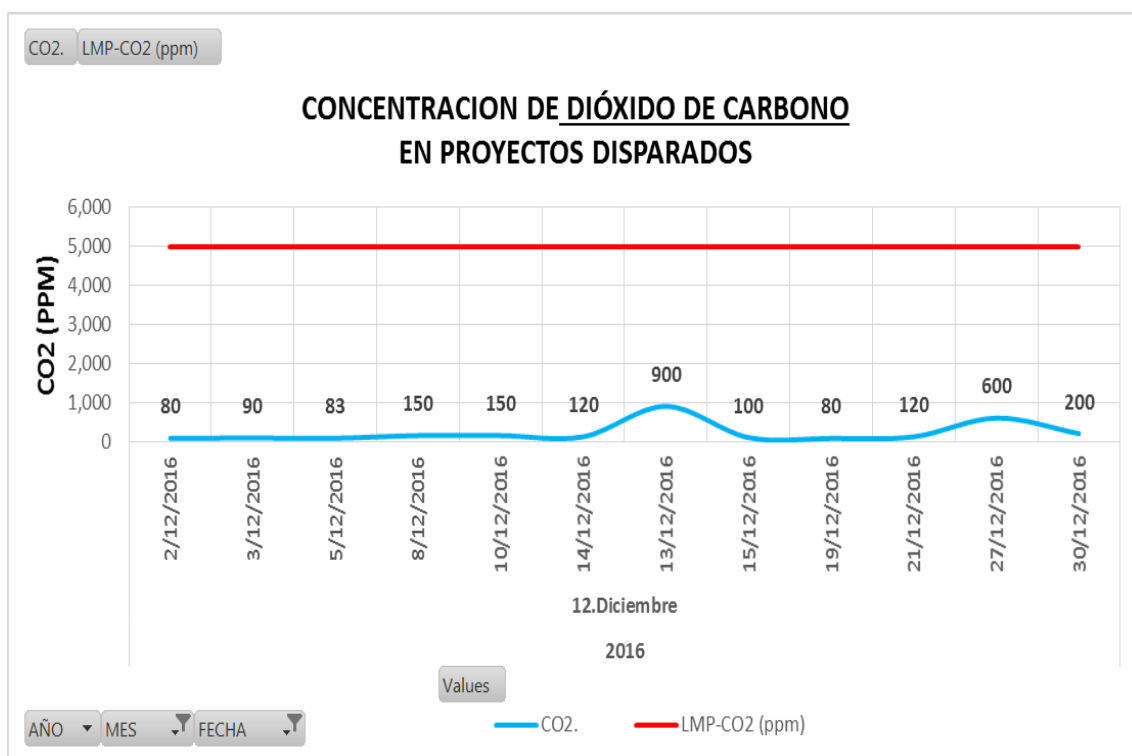


Gráfico 4-13: Monitoreo de Dióxido de Carbono “Tajo Ferrobamba”.
Fuente: Elaboración Propia.

En los 3 gráficos anteriores se muestran las mediciones de gases realizadas post voladuras en el “Tajo Ferrobamba” con el monitor de gases MSA ALTAIR 5X con los que se evidencia que usando emulsión gasificada los resultados de las mediciones están por debajo de los límites máximos permisibles.

4.2. Discusión de resultados

- ❖ Analizando el rendimiento técnico-operativo, las densidades calculadas en la emulsión matriz son constantes mientras que en la emulsión gasificada se tiene diferentes densidades lo que nos facilita su uso para diferentes tipos de rocas. Por otro lado, con respecto al VOD, de acuerdo a su medición se obtuvo que en las emulsiones gasificadas se obtuvo un valor de 5 653.1 m/s. En cambio, para las mezclas de emulsión matriz; se obtuvo un VOD de 5 349.8 m/s. Esto nos indica que la emulsión gasificada tiene mayor VOD por lo tanto mayor poder rompedor. En fragmentación el porcentaje de finos es más alta con utilización de emulsión gasificada. Y finalmente con respecto al factor de carga es menor con emulsión gasificada lo que nos indica que se utilizará menor explosivo.
- ❖ En el caso del rendimiento económico, se obtuvo diferentes costos por proyecto con utilización de emulsión gasificada y con utilización de emulsión matriz; en el caso específico del proyecto 4020 - 027 se obtuvo para emulsión matriz un costo de \$53 695 y con emulsión gasificada un costo de \$48 494, lo cual nos indica un ahorro significativo de \$ 5 201 en el proyecto. Pero siempre hay que tener en cuenta que esto es muy variable, ya que los costos de los explosivos y todo aquello que incluye, varía en los precios, en los mercados en las cuales se obtiene.

- ❖ En lo ambiental, a partir de las fotografías y filmaciones se observa que con la utilización de emulsión gasificada se tiene menor cantidad de gases nitrosos donde casi no observa gases con coloración anaranjada, debido a que tiene un balance de oxígeno óptimo.
- ❖ La Emulsión gasificable, en la mayoría de las pruebas demuestra ser eficiente operativamente, reduce los costos por proyecto y genera un menor impacto al ambiente. No obstante, pueden existir casos excepcionales.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron después de realizar el presente trabajo de investigación son las siguientes:

- A. Con respecto al rendimiento técnico operativo, al utilizar la emulsión gasificada se tiene gamma de densidades con las cuales los camiones fábrica nos dan la proporción exacta del explosivo a utilizar de acuerdo al tipo de roca a diferencia de la emulsión matriz que nos proporciona solo una densidad constante.
- B. La velocidad de detonación de la emulsión gasificada es mayor a la velocidad de la emulsión matriz, exactamente en un 5.7%. Este dato es importante debido a que a mayor VOD se tendrá un mayor poder explosivo lo cual optimiza el rendimiento técnico operativo.
- C. Empleando las mezclas explosivas de emulsión gasificada “Fortis Extra 65/35 y Fortis Extra 100” de ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A. en los proyectos de voladura del Tajo Ferrobamba, se logró optimizar la fragmentación en la zona de mineral. El P80 mensual estuvo en el rango de [2.09” - 6.18”], con un promedio mensual de 3.89”, el P80 disminuyó en un 21% comparado con los resultados de análisis realizados en proyectos de línea base con emulsión matriz. Obteniendo una mayor eficiencia en las siguientes operaciones unitarias.
- D. En los proyectos de voladura utilizando la emulsión gasificada el factor de carga (FC) para mineral disminuyó en un 4.7% y para estéril disminuyó en 5.9% en comparación con la emulsión matriz. Es así que se obtiene un mejor rendimiento operativo debido a que se utiliza menor explosivo y además se reducen costos.
- E. Con el uso de la emulsión gasificada en el proyecto estudiado del “Tajo Ferrobamba” se logró un ahorro de \$ 5 200 lo que indica en una proyección mensual se ahorraría \$ 104 000. Optimizándose así el rendimiento económico.
- F. En el aspecto ambiental, se redujo significativamente la generación de gases nitrosos en la zona de “Jahuapaylla Alta” con la utilización de emulsión gasificada, las generaciones de estos gases significaban demoras operativas y riesgos para los trabajadores de las áreas de “Perforación & Voladura”. Esto se evidencia en las fotografías y filmaciones de los proyectos que sirvieron a esta investigación.



RECOMENDACIONES

- ❖ Se debe continuar empleando las mezclas explosivas de emulsión gasificada “Fortis Extra 65/35 y Fortis Extra 70/30” ya que mejoró los resultados de las voladuras en el Tajo Ferrobamba (optimizando la fragmentación). En rocas con resistencia a la compresión alta está dando buenos resultados.
- ❖ Realizar control permanente a las densidades y gasificación de las distintas mezclas explosivas usadas, dándose de este modo cumplimiento a todos los controles de calidad requeridos en las distintas mezclas explosivas. Trabajándose con una densidad media de 1.14 gr/cm³.
- ❖ Establecer mecanismos de control y supervisión post implementación para lograr resultados exitosos, tener una mejora continua en cuanto a resultados de fragmentación, seguridad y medio ambiente. Uno de estos controles es establecer calibraciones periódicas de Camiones Fábrica.
- ❖ Existen puntos críticos en el uso de emulsión gasificada, los cuales requieren constante monitoreo (control de densidades, tiempo de esponjamiento, inyección de nitrito de sodio). Es importante contar con operadores altamente capacitados.



BIBLIOGRAFÍA

- Alcazar, P. S. (2017). *Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro*. Tacna-Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Bambas, L. (2010). *Informe Anual Geología las Bambas*. Apurímac: Las Bambas.
- Bernaola, J. A. (2013). *Perforación y voladura de rocas en Minería*. Madrid- España: Departamento de Explotación de Recursos Minerales y obras Subterráneas.
- Xstrata. (2010). *Informe de Geología Anual 2010, Las Bambas*. Apurímac: Las Bambas.
- Famesa. (15 de Junio de 2016). *Emulsion matriz, Tecnovoladuras*. Recuperado el Viernes de Octubre de 2018, de Emulsion matriz, Tecnovoladuras: <http://www.tecnovoladuras.com/producto/san-g-emulsion-matriz>
- Huangal, C. A. (2014). *Evaluación técnica económica del uso del SAN-G en mina La Arena*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Llacma, O. M. J. (2017). *Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura Mina Cuajone*. Arequipa-Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- López, C. J. (1987). *Manual de Perforación de Voladura de Rocas*. Madrid: Instituto Geológico y Minería de España.
- Medina, R. O. (2014). *Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone-Southern Perú*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Salcedo, E. E. (2015). *Evaluación técnica económica de la emulsión gasificada en minera Yanacocha SRL*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tévez, A. R. (2015). *Evaluación técnica de la Emulsión gasificada en la Minería Yanacocha SRL*. Lima- Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Vilca, J. L. (2013). *Uso de Emulsiones gasificadas (SAN-G) para el mayor rendimiento de la columna explosiva en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (Comarsa)*. Trujillo-Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.



ANEXOS

Imágenes fotográficas trabajos en Campo.



Fotografía A-30: Carguío de taladros con M.M.U. (Bombeable).
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía A-31: Pala eléctrica P&H “3” (P.M.).
Fuente: Propia.



Fotografía A-32: Vista panorámica de área de investigación.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía A-33: Utilización de Portametrics- Trabajos en Campo.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía A-34: Cálculo de densidad (FORTIS EXTRA 65/35)
Fuente: Elaboración propia



Fotografía A-35: Resultados Fragmentación de rocas con emulsión gasificada.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta 6 planos de radio de influencia de voladuras realizadas en el “Tajo Ferrobamba”.