

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis comparativo y evaluación técnica económica de
los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage
100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del
nivel 4336-Sociedad Minera El Brocal Colquijirca 2018**

Kenyi Andy Beraun Anco

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Jesús Fernando Martínez Ildfonso

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios, al trabajo y al esfuerzo de mis padres: Cesar Beraun Zuñiga y Viky Anco Guere por su apoyo moral y económico, por enseñarme a luchar por lo que uno quiere. A mi novia Shirley y a mis hermanos Denis, Peter y Jesús por confiar en mí y alentarme a culminar una etapa más en mi vida

DEDICATORIA

A mis padres, por el apoyo brindado todos los días de mi vida, a mis hermanos por el apoyo incondicional y a nuestro divino creador por iluminar mi camino.

.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| PORTADA..... | I |
| ASESOR | II |
| AGRADECIMIENTO | III |
| DEDICATORIA..... | IV |
| ÍNDICE | V |
| LISTA DE TABLAS | VII |
| LISTA DE FIGURAS..... | VIII |
| RESUMEN..... | IX |
| ABSTRACT..... | X |
| INTRODUCCIÓN..... | XI |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 12 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 12 |
| 1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 12 |
| 1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 13 |
| 1.2. OBJETIVOS | 13 |
| 1.2.1. OBJETIVO PRINCIPAL..... | 14 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA | 14 |
| 1.4. HIPÓTESIS | 15 |
| 1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL | 15 |
| 1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | 15 |
| 1.5. VARIABLES..... | 15 |
| 1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE | 15 |
| 1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE..... | 16 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 17 |
| 2.1.1. NACIONAL..... | 17 |
| 2.2. GENERALIDADES DE MINA BROCAL COLQUIJIRCA | 18 |
| 2.2.1. Ubicación | 18 |
| 2.2.2. Accesibilidad | 19 |
| 2.2.3. Condiciones del área del proyecto..... | 20 |
| 2.2.4. Reservas y recursos..... | 23 |
| 2.2.5. Energía eléctrica, fuente y consumo..... | 25 |
| 2.2.6. Fuerza Laboral..... | 27 |
| 2.3. GEOLOGÍA..... | 27 |
| 2.3.1. Aspectos Geológicos..... | 27 |
| 2.3.2. Caracterización de la masa rocosa..... | 37 |
| 2.3.3. Control de calidad en el tajo norte | 40 |
| 2.4. Operaciones Mina..... | 40 |
| 2.4.1. Minado actual..... | 40 |
| 2.4.2. Planeamiento de minado | 41 |
| 2.5. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | 45 |
| 2.6. BASE TEÓRICA | 45 |
| 2.6.1. Definición de Términos Básicos..... | 46 |
| CAPÍTULO III METODOLOGÍA | 48 |
| 3.1. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN | 48 |
| 3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 48 |
| 3.1.2. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN | 48 |
| 3.1.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN | 48 |
| 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 48 |
| 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA | 49 |
| 3.3.1. POBLACIÓN..... | 49 |
| 3.3.2. MUESTRA | 49 |
| 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PRESENTACION DE DATOS..... | 49 |

| | | |
|---|---|------------|
| 3.4.1. | Factores que tienen una influencia determinante en los resultados de una voladura de rocas | 49 |
| 3.4.2. | Variables en el proceso de fracturamiento de rocas..... | 49 |
| 3.4.3. | Emulsiones explosivas | 52 |
| 3.4.4. | ANFO pesado (Heavy ANFO)..... | 56 |
| 3.4.5. | Energía termoquímica de las emulsiones. | 59 |
| 3.4.6. | Emulsiones explosivas químicamente gasificadas. | 60 |
| 3.5. | Técnica trabajo de campo: casos-estudios monitoreados y evaluados usando emulsión gasificada | 61 |
| 3.5.1. | Propósitos en la voladura | 61 |
| 3.5.2. | Comparación en campo de emulsión gasificada y ANFO..... | 62 |
| 3.5.3. | Diseño de malla de perforación | 64 |
| 3.5.4. | Ábaco de diseño – iniciación electrónica..... | 79 |
| 3.6. | Reporte De Voladura Electrónica I-Kon Iii Proyectos P15 P16 P17, Banco 4336 Tortugas..... | 80 |
| 3.6.1. | Datos De La Voladura P15, P16; P17 Del Banco 4336 | 81 |
| 3.7. | Pruebas de campo del explosivo emulsión Fortis advantage 100 gasificada. | 87 |
| 3.7.1. | Componentes emulsión Fortis advantage 100 gasificada..... | 88 |
| 3.7.2. | Tipos de Fortis Advantage..... | 90 |
| 3.7.3. | Equipo De Carguío De Explosivo Camión Problast | 91 |
| 3.7.4. | Control De Calidad..... | 92 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS | | 101 |
| 4.1. | Análisis de entorno aplicativo para la aplicación del Emulsión Fortis Advantage 100 Gasificada Para El Tajo Norte Del Nivel 4336..... | 101 |
| 4.2. | Análisis de Disparos de Prueba..... | 102 |
| 4.3. | Análisis de Línea Base..... | 104 |
| 4.4. | Análisis de Precios..... | 105 |
| 4.5. | Análisis de Velocidades de Detonación – VOD..... | 105 |
| 4.5.1. | Análisis Comparativo En Relación A La Velocidad De Detonación Fortis Advantage Vs Fortis Mex..... | 106 |
| 4.6. | Análisis de Vibraciones | 108 |
| 4.7. | Análisis de Fragmentación con Powersieve..... | 109 |
| 4.8. | Análisis de Ahorros en función de costos | 111 |
| 4.9. | Análisis de Ahorros vs Fragmentación | 115 |
| CONCLUSIONES | | 116 |
| RECOMENDACIONES..... | | 117 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 118 |
| ANEXOS | | 119 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Mineralización de Zn, Pb y Ag | 24 |
| Tabla 2. Generación de Consumo de Energía | 25 |
| Tabla 3. Caracterización de la masa rocosa | 37 |
| Tabla 4. Características de calidad de la masa rocosa | 38 |
| Tabla 5. Parámetros de resistencia de la roca intacta..... | 39 |
| Tabla 6. Porcentajes de una emulsión explosiva. | 54 |
| Tabla 7. Evolución de los explosivos con el pasar del tiempo. | 55 |
| Tabla 8. Orden cronológico en el que aparecen la mezcla explosiva comercial y sus principales componentes | 55 |
| Tabla 9. Datos de disparo | 81 |
| Tabla 10. Propiedades del Fortis Advantage | 88 |
| Tabla 11. Tipos de fortis advantage al mezclarse con ANFO..... | 90 |
| Tabla 12. Propiedades del fortis advantage 100 | 90 |
| Tabla 13. Pruebas En Gabinete: Fortis Advantage (muestra 1)..... | 93 |
| Tabla 14. Pruebas en gabinete (muestra 2)..... | 94 |
| Tabla 15. Pruebas en gabinete (muestra 3)..... | 95 |
| Tabla 16. Pruebas en gabinete (muestra 4)..... | 96 |
| Tabla 17. Esponjamiento según al tiempo | 98 |
| Tabla 18. Disparos de prueba a sus parámetros de diseño..... | 103 |
| Tabla 19. Resultados de fragmentación con Heavy ANFO – emulsión fortis Mex..... | 104 |
| Tabla 20. Resultados de velocidad de detonación con Heavy ANFO – emulsión fortis Mex | 104 |
| Tabla 21. Análisis de Precios | 105 |
| Tabla 22. Mezclas de explosivo, densidad y velocidad de detonación | 106 |
| Tabla 23. Mezcla de densidades y velocidad de detonación | 107 |
| Tabla 24. Mezcla de densidades y la velocidad de detonación. | 107 |
| Tabla 25. Valores de velocidad pico partícula (VPP)..... | 108 |
| Tabla 26. Resumen de los resultados de fragmentación para la prueba de disparos..... | 110 |
| Tabla 27. Resumen de los cálculos de ahorro y mejoras en fragmentación para los disparos del fortis advantage | 112 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Ubicación de Mina Brocal Colquijirca..... | 19 |
| Figura 2: Accesibilidad a la mina Marcapunta norte..... | 20 |
| Figura 3: Flanco Principal..... | 30 |
| Figura 4: Mapa geológico sociedad minera el Brocal..... | 31 |
| Figura 5: Zona de minado Tajo norte..... | 41 |
| Figura 6: Diseño de Bancos y Rampas..... | 41 |
| Figura 7: Diseño de Bermas..... | 42 |
| Figura 8: Parámetros de diseño..... | 42 |
| Figura 9: Frente de Carguio..... | 45 |
| Figura 10: Primera fase en fracturamiento de rocas..... | 51 |
| Figura 11: Muestra de un banco en tajo abierto..... | 51 |
| Figura 12: Secuencia en fracturamiento..... | 52 |
| Figura 13: Diseño ejemplo de carga de taladros..... | 52 |
| Figura 14: Camión de carguío..... | 53 |
| Figura 15: Fase dispersa y fase continua..... | 54 |
| Figura 16: Fotografía microscópica de emulsión..... | 56 |
| Figura 17: Estructura ANFO pesado..... | 57 |
| Figura 18: Características de ANFO pesado..... | 58 |
| Figura 19: Potencia vs densidad de un ANFO pesado..... | 58 |
| Figura 20: Variación de la sensibilidad del ANFO pesado..... | 59 |
| Figura 21: Carguío de los taladros en Open pit..... | 61 |
| Figura 22: Abaco de diseño de diferentes configuraciones de carga..... | 79 |
| Figura 23: Diseño de malla de perforación P15 P16 P17, banco 4336..... | 82 |
| Figura 24: Levantamiento de malla de voladura P15 P16 P17, banco 4336..... | 82 |
| Figura 25: Recomendación de amarre por (asistencia técnica orica)..... | 83 |
| Figura 26: Secuencia de iniciación P15 P16 P17, banco 4336..... | 83 |
| Figura 27: Secuencia de amarre P15 P16 P17, banco 4336..... | 84 |
| Figura 28: Líneas de isotiempo P15 P16 P17, banco 4336..... | 84 |
| Figura 29: Líneas de movimiento de material P15 P16 P17, banco 4336..... | 85 |
| Figura 30: Reporte de Blaster 2400r P15 P16 P17, Banco 4336..... | 86 |
| Figura 31: Fortis Advantage 100..... | 87 |
| Figura 32: Muestra de explosivo Fortis Advantage (emulsión)..... | 88 |
| Figura 33: Secuencia de la solución de la emulsión fortis advantage 100 Gasificada..... | 89 |
| Figura 34: Camión problast..... | 91 |
| Figura 35: Capacidad de solución de nitrito de sodio: 275 litros..... | 91 |
| Figura 36: Módulo Electrónico para el ingreso de fórmulas..... | 92 |
| Figura 37: De curva de gasificación al 0.6%..... | 93 |
| Figura 38: De curva de gasificación al 0.7%..... | 94 |
| Figura 39: De curva de gasificación al 0.8%..... | 95 |
| Figura 40: De curva de gasificación al 0.9%..... | 96 |
| Figura 41: Variación de densidades variando la Inyección de la SNS..... | 97 |
| Figura 42: Análisis para medir el esponjamiento tubo de 6 pulg..... | 98 |
| Figura 43: A los 5 minutos y la altura respectiva..... | 99 |
| Figura 44: A los 30 minutos y la altura respectiva..... | 99 |
| Figura 45: VOD fortis advantage VS fortis Mex..... | 108 |
| Figura 46: Ahorro vs mejora en fragmentación..... | 115 |

RESUMEN

La presente tesis trata de un análisis comparativo y evaluación técnica-económica de los explosivos Heavy Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336 – sociedad minera El Brocal Colquijirca.

La investigación se inició con la siguiente interrogante ¿Cuál de los dos explosivos Heavy Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada es el más óptimo al fragmentar la roca en el tajo norte del nivel 4336 –sociedad minera El Brocal Colquijirca?, siendo nuestro primordial objetivo encontrar el explosivo más óptimo al fragmentar la roca, que los costos del explosivo sean menores e inclusive que mejoren factores de seguridad y medio ambiente.

Teniendo como hipótesis el análisis comparativo y la evaluación técnica económica de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada contribuye significativamente en la mejora de la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Colquijirca. En cuanto a la investigación se utiliza el método científico como método general y el método descriptivo como método específico y de diseño el descriptivo simple. La población de estudio estará constituida por los bancos de producción del tajo norte de sociedad minera el brocal. Para esta investigación se tomará como muestra el banco de producción del nivel 4336 del tajo norte de sociedad minera el brocal, ya que es el lugar en el cual se llevará a cabo toda la investigación.

En los 03 primeros disparos, enfocados en el ahorro de explosivos, se obtuvo un ahorro total de \$1,874, cargando un total de 387 taladros con 33323kg de Fortis Advantage, un ahorro promedio de \$4.64 por taladro. Se tienen ahorros del hasta de \$8.45 por taladro al reemplazar el HA45/55 y se pueden obtener ahorros de hasta \$10.93 por taladro al reemplazar el HA64 en taladros con agua.

En los 02 últimos disparos, enfocados en mejorar la fragmentación, se tiene una mejora promedio del 26% en el P80, a un costo mayor de \$4.94 por taladro, esto sugiere la ampliación de la malla de perforación del orden del 10% para generar ahorros en costos de perforación y voladura.

ABSTRACT

This thesis deals with a comparative analysis and technical-economic evaluation of the explosives HEAVY ANFO and Emulsion of Fortis Advantage 100 gasified for the fragmentation in the northern block of level 4336 - El Brocal Colquijirca mining company.

The investigation began with the following question: Which of the two explosives HEAVY ANFO and Emulsion of Fortis Advantage 100 gasified is the most optimal when fragmenting the rock in the northern pit of level 4336 - mining company El Brocal Colquijirca?, being our main objective to find the explosive more optimal when fragmenting the rock, that the costs of the explosive are lower and even that they improve safety and environmental factors.

Taking as a hypothesis the comparative analysis and the economic technical evaluation of the Heavy-Anfo and Emulsion of Fortis Advantage 100 gasified explosives contributes significantly in the improvement of the fragmentation of the northern pit mineral of level 4336 of the Colquijirca Brocal Mining Company. In terms of research, the scientific method is used as a general method, the descriptive method is used as a specific method, and the descriptive method is simple. The study population will be constituted by the production banks of the north pit of the brocal mining society. For this investigation, the production bank of level 4336 of the north pit of the mining company will be taken as a sample, since it is the place in which all the research will be carried out.

In the first 03 shots, focused on the saving of explosives, a total saving of \$ 1,874 was obtained, charging a total of 387 drills with 33323kg of Fortis Advantage, an average saving of \$ 4.64 per drill. Savings of up to \$ 8.45 per hole are available when replacing the HA45 and savings of up to \$ 10.93 per drill can be obtained by replacing the HA64 in drills with water.

In the last 02 shots, focused on improving fragmentation, there is an average improvement of 26% in the P80, at a cost higher than \$ 4.94 per drill, this suggests the expansion of the perforation mesh of the order of 10% to generate savings in Drilling and Blasting costs.

INTRODUCCIÓN

Una empresa minera, dedicada a la explotación de los minerales sea usando métodos de explotación a tajo abierto y/o métodos de explotación subterránea por el hecho de que vivimos en un mundo globalizado tiene que estar a la par del uso de tecnología y herramientas de nueva generación. En lo que respecta a la perforación y la voladura a diario se realizan trabajos de investigación a nivel mundial para poder mejorar la producción, la productividad, etc. Claro que también es necesario tener en cuenta las normas legales de nuestro país como la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo - Ley 29783 y su Reglamento D.S. 005-2012-TR, así como el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería - D.S. 024-2016- EM; es decir, trabajando con seguridad, protegiendo el medio ambiente y cuidando la salud del trabajador.

Consecuentemente siendo la perforación y la voladura actividades mineras continuas, la empresa Minera Brocal, en donde usan métodos de explotación de minería superficial (banqueo) y otros de gran producción, se planteó un problema principal para un trabajo de investigación que señalaba: ¿De qué manera influye el análisis comparativo y la evaluación técnica económica de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Colquijirca 2018?

Para cumplir con el fin establecido se hizo la revisión de los antecedentes de trabajos anteriores en unidades mineras tales como Toquepala, Cuajone Antamina, etc. Cuyas experiencias fueron importantes para poder demostrar la validez del trabajo de investigación

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La evolución económica actual sector minero se encuentra en una etapa de mejora según LME (Bolsa de los metales) los precios mejoraron en función a la última década, por ende, la modernización de cada uno de las minas está en desarrollo. Muchos de las empresas de nuestro rubro de la minería están trabajando por mejorar sus operaciones, prueba de ellos es que se ha hecho grandes inversiones tanto como en ampliaciones como en modernización de plantas concentradoras, asimismo en la implementación de equipos de última tecnología en la mayor parte de sus actividades, como el caso de cerro verde (ampliación de la planta) la impulsión de mina Justa y otros mega proyectos que se encuentra a punto de iniciar sus operaciones.

Debido a la cercanía de la población de Colquijirca a las operaciones de Tajo Abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A, se ha optado por introducir nuevos sistemas de voladura, con la finalidad de reducir las vibraciones y evitar al máximo el ruido que estas producen, especialmente cuando los disparos se realizan en los niveles superiores, ya que por resonancia el ruido se propaga en la población, ocasionando constantes reclamos.

Es así que se ha introducido el sistema de silencioso de voladura, que genera un menor ruido en las voladuras haciendo en muchas ocasiones que la población no lo perciba.

Por ende, las empresas especializadas en perforación y voladura, han ido mejorando sus productos como ENAEX que realizó sus pruebas con plasma en

febrero del 2014, Orica Mining Services Perú S.A que realizó sus pruebas con su emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada en el 2017, pero que tiene la buena pro de la venta de explosivos es ORICA con su Heavy Anfo,

Orica Mining Services Perú S.A En julio del 2008, deciden desarrollar un agente de voladura en base a emulsión que no utilice nitrato de amonio ni petróleo, que sea seguro para su transporte y que desarrolle ventajas técnicas y económicas, que responda a cualquier tipo de roca, en cualquier mina.

En la sociedad minera el brocal se realizaron pruebas comparativas en vista de los altos costos por los que generaba la explotación del banco en mención, evaluando la propuesta del uso de una emulsión llamada “Fortis Advantage 100 gasificada”, esta propuesta genera muchos beneficios, como mejor fragmentación, reducción de costos en perforación y explosivos. El planteamiento relacionado con nuestro trabajo de investigación se basa en mejorar la fragmentación y disminución de costos considerando una malla que mejorara los resultados en gran magnitud.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿La fragmentación del mineral actualmente realizada por el Heavy Anfo tendrá mejores resultados por el explosivo emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada en el tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018?

1.1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es el resultado de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018?

¿Cuál es el resultado de la comparación de costos de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar el resultado de la evaluación técnica económica de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada y determinar análisis comparativo en la fragmentación, costos, seguridad y medio ambiente del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar y evaluar los resultados de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018.
- Evaluar la comparación de costos, eficiencias, tiempos, generación de gases y humos de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Una de las fases de suma importancia es la elección apropiada del uso de explosivos implicados en el proceso productivo, el alto costo del consumo del explosivo heavy anfo y mala fragmentación del macizo rocoso casi frecuente en la unidad minera el Brocal, por este motivo se realizó la evaluación de un nuevo explosivo la emulsión “Fortis Advantage 100 gasificada” la cual ayuda a mejorar la fragmentación y en términos de costos se obtuvo una reducción a comparación del heavy anfo y se viene usando actualmente. .

Así, en la explotación del tajo norte del nv 4300 se utilizará el explosivo de acuerdo a la evaluación económica, la cual permitirá diagnosticar la mejor opción del empleo adecuado de la fragmentación del mineral.

En un ambiente competente y globalizado, la minería va de la mano con la coyuntura económica, esto hace que las empresas se vean forzadas a garantizar la ejecución de programas de inversión, y de igual forma encontrar la manera de disminuir costos de operación.

Para Orica Mining Services (7) Perú S.A, “en la fragmentación de minerales el explosivo heavy-anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada representan otro tipo de alternativas a utilizar”. Por ello, se considera que estos explosivos, según sus

características reducirán de alguna manera los costos de operación, el impacto ambiental y sobre todo demostrar una óptima reducción granulométrica en el tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Colquijilca 2018. Motivo de estudio de estos dos explosivos Gracias a las investigaciones de las empresas que fabrican explosivos, existen diversas alternativas de cómo evaluar y utilizar los explosivos para generar eficiencia en la fragmentación del material mineralizado.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Al realizar el análisis comparativo y la evaluación técnica económica de los explosivos, la emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada contribuye significativamente en la mejora de la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Colquijirca 2018.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Influye los resultados de los explosivos Heavy-Anfo y la emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Colquijirca 2018.

Influye la evaluación de la comparación de costos, medio ambiente de los explosivos Heavy-Anfo y la emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Colquijirca 2018.

1.5. VARIABLES

1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Evaluación técnico económica de los explosivos.

1.5.1.1. INDICADORES

- Evaluación de costos en explosivos.
- Mejoras en operaciones.
- Impactos ambientales.

- Hoja técnica de los dos explosivos.

1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Fragmentación del mineral

1.5.2.1. INDICADORES

- Reducción de granulometría óptima
- Cálculo de eficiencias y rendimientos de las actividades del ciclo de minado (mejoras).
- Estandarización isométrica

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. NACIONAL

Challa (5) para obtener el grado de Ingeniero de Minas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa con el trabajo de investigación alternativa de variación de heavy anfo a emulsión gasificada para mejorar los costos, parámetros técnicos y medio ambientales de voladura en MINA CUAJONE SOUTHERN PERU.

El objetivo del presente trabajo es definir una alternativa de variación de Heavy-ANFO a Emulsión Gasificada para mejorar los costos, parámetros técnicos y medio ambientales de la mina Cuajone, de manera tal que estas sean más eficientes y que no generen gases nocivos en la atmosfera

Italo (3) para obtener el grado de Ingeniero de Minas de la UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, trabajo de investigación Perforación y voladura en minería a cielo abierto

OBJETIVO Determinar el tipo de explosivo a utilizar en una operación en la cual la chancadora nos restringe a un tamaño máximo de fragmento de 60cm, la roca varía desde suave a muy dura.

MANZANEDA (1) para obtener el grado de Ingeniero de Minas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa con el trabajo de investigación Optimización de la flota de carguío y acarreo para el incremento de producción de material de desbroce de 400k a 1000k bcm - U.E.A. EL BROCALCONSORCIO PASCO STRACON GyM

Consiste en la selección de equipos para el carguío y acarreo de mineral teniendo en claro una buena fragmentación de voladura y disminuir costos en transporte y chancado.

2.2. GENERALIDADES DE MINA BROCAL COLQUIJIRCA

2.2.1. UBICACIÓN

La Mina Marcapunta Norte y la Mina Colquijirca (Tajo Norte) se ubican al norte del Yacimiento polimetálico de San Gregorio y Marcapunta Oeste; las coordenadas UTM que limitan el área son: 360,000 a 362,500 E; 8'807,000 a 8'810,200 N; se halla dentro de la hoja 22 k – Cerro de Pasco, de la Carta Geográfica Nacional.

Políticamente pertenece al distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco; las cotas varían entre 4,180 y 4,500 m.s.n.m.

Figura 1: Ubicación de Mina Brocal Colquijirca

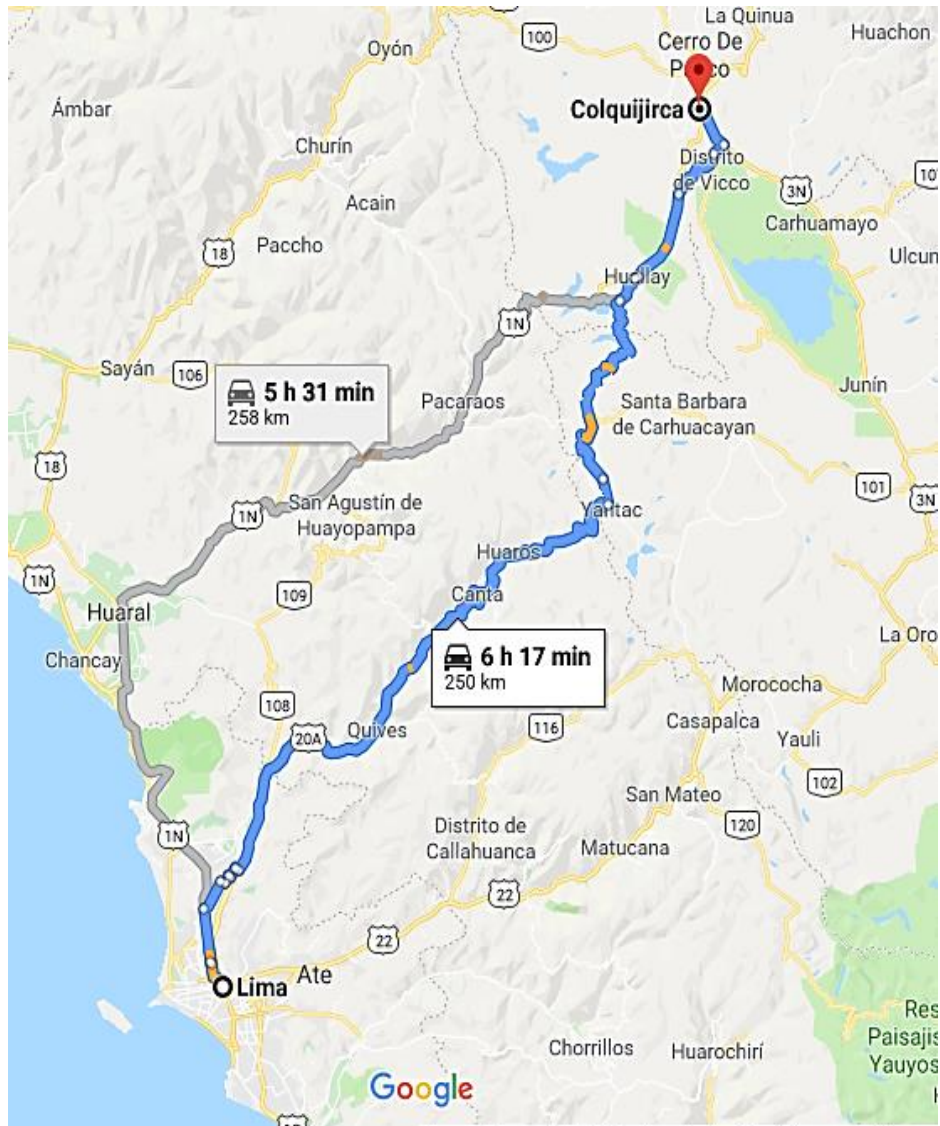


Fuente: Google Maps Satelital

2.2.2. ACCESIBILIDAD

Se accede por la carretera Lima – Canta – Colquijirca, con una distancia de 310 Km que se cubre en seis horas aproximadamente.

Figura 2: Accesibilidad a la mina Marcapunta norte.



Fuente Google Maps

2.2.3. CONDICIONES DEL ÁREA DEL PROYECTO

2.2.3.1. Fisiografía

El Yacimiento está ubicado en una elevada meseta conocida como La meseta del Bombón (más hacia el oeste se encuentra el nudo de Pasco), de relieve relativamente suave, en donde la diferencia de alturas entre las partes más altas y más bajas no es mayor de 300-400 m.

Hacia el norte, la meseta termina en una serie de cañones profundos de pendientes empinadas (topografía accidentada), que constituyen los valles interandinos. Los valles continúan erosionándose por la erosión

fluvial, de manera que en la actualidad representan valles tipo V o jóvenes.

Hacia el sur, las pendientes son suaves y concluyen en la extensa Pampa de Junín.

Geomorfológicamente el área presenta un paisaje compuesto, resultado de varios procesos geomórficos y tectónicos.

2.2.3.2. Suelo

Según el orden de suelos, el espacio donde se encuentra ubicado las operaciones mineras de sociedad minera El Brocal pertenecen a tierras aptas para la cosecha y cultivo a pesar de tener uno de los climas más adversos.

2.2.3.3. Sismicidad

El área de Colquijirca se halla comprendida en la zona 2, por ende, a la zona de media sismicidad.

2.2.3.4. Clima

Se caracteriza por un clima típico de serranía, con dos estaciones bien marcadas; una lluviosa entre los meses de noviembre y marzo; y otra seca con temperaturas menores a 0 °C entre los meses de abril y octubre.

2.2.3.5. Hidrología

En el nudo de Pasco nacen ríos importantes como: El Huallaga, el Mantaro (nace como Río San Juan) y el Chaupihuaranga (Nace como río Tingo).

A lo largo de la carretera asfaltada Cerro de Pasco – Oroya, tenemos discurriendo las aguas del río Mantaro, las cuales llegan a bañar toda la cuenca del Mantaro, pasando por La Oroya, Jauja, Concepción y Huancayo.

Así mismo, a lo largo de la carretera asfaltada Cerro de Pasco – Huánuco, tenemos discurriendo las aguas del río Huallaga (formadas de los ojos de agua de Pucayacu, de la Laguna Yanamate y otros), las cuales llegan a bañar toda la cuenca del Huallaga, pasando por Huánuco, San Martín hasta Loreto, donde junto con el río Ucayali forman el río Amazonas.

2.2.3.6. Calidad de aire y ruido

Se cuenta con tres puntos de monitoreo para poder identificar la calidad de aire y el ruido para evitar cualquier problema con la población de Colquijirca, los controles diarios muestran datos por debajo del margen de límites mínimos permisibles.

2.2.3.7. Flora

Respecto a la vegetación, por el mismo hecho de exhibir dicho clima, contiene un follaje poco desarrollado, donde escasea la presencia del árbol típico el quinual y en abundancia predomina, el ichu.

2.2.3.8. Fauna

Se encontró en total 44 tipos de aves, en su mayoría los passeriformes contando con 24 tipos., en el río San Juan no se encontró ningún tipo de peces. Mientras tanto con respecto a los anfibios solo se encontró a los sapos contando con un número considerable en las aglomeraciones de agua.

2.2.4. RESERVAS Y RECURSOS

2.2.4.1. Tajo Norte

La mineralización económica, sin considerar la mineralización de cobre del núcleo, se encuentra emplazada en rocas predominante dolomíticas que representan aproximadamente el 80% de la estructura mineralizada. Dichas dolomías de color beige, suelen presentar una moderada a intensa silicificación, lo cual le confiere una dureza alta y un aspecto masivo, sobre todo en el Tajo Mercedes norte. La mineralización ocurre como reemplazamientos masivos (roca sulfurosa), rellenando oquedades y fracturas; los cuales se hacen más notorios hacia el extremo norte de la estructura mineralizada.



Un 10% de la mineralización ocurre en niveles arcilíticos, limoarcilíticos y dolomías decarbonatizadas; es decir, dolomías alteradas por fluidos bastante ácidos que le confieren un aspecto arcilloso, razón por la cual se le considera en este grupo y ocurre principalmente en el Tajo principal. La mineralización ocurre en formas lamelares, diseminada y como venillas; siendo las dolomías decarbonatizadas las que albergan los mejores intervalos mineralizados (Tajo Principal).

El restante 10% de la mineralización se encuentra emplazada en niveles y nódulos de chert negro y blanco, principalmente rellenando fracturas y oquedades. El chert constituye una litología de dureza alta y se encuentra dentro de las unidades dolomitizadas.

La mineralización de Cu (enargita, bornita y calcopirita) se encuentran completamente emplazadas en calizas silicificadas y chert negro, ubicados siempre al centro de la mineralización de Zn, Pb y aj.

Tabla 1. Mineralización de Zn, Pb y Ag

| MINERALIZACIÓN DE Zn, Pb y Ag (Bordes de la mineralización epitermal) | | |
|--|----------|--|
| LITOLOGÍA | % | OCURRENCIA |
| Dolomías con moderada a intensa silicificación | 80% | Reemplazamientos masivos, diseminaciones, relleno de fracturas y oquedades |
| Arcillas, Limoarcillas y dolomías decarbonatizadas | 10% | Diseminaciones y venillas. |
| Chert | 10% | Relleno de fracturas y oquedades |
| MINERALIZACIÓN DE Cu (Núcleo de la mineralización epitermal) | | |
| LITOLOGÍA | % | OCURRENCIA |
| Chert y calizas silicificadas | 100% | Reemplazamientos masivos, relleno de fracturas y oquedades |

Se puede resumir que en el flanco principal se tiene aproximadamente un 20% de roca dura compuesta por chert y dolomías silicificadas (alta

dureza). Asimismo, como roca suave existe un 70% compuesto por dolomías decarbonatadas y limoarcillitas, correspondiendo el 10% restante a dolomías en estado natural.

En el flanco Mercedes se tiene aproximadamente un 85% de roca dura compuesta de por chert y dolomías silicificadas (alta dureza). Asimismo, como roca suave existe un 10% compuesto por dolomías decarbonatadas y limoarcillitas, correspondiendo el 05% restante a dolomías en estado natural.

En el flanco Chocayoc se tiene aproximadamente un 55% de roca dura compuesta de por chert y dolomías silicificadas (alta dureza). Asimismo, como roca suave existe un 40% compuesto por dolomías decarbonatadas y limoarcillitas, correspondiendo el 05% restante a dolomías en estado natural.

Durante el presente año se continuará con la extracción de mineral del Tajo principal hasta el mes de junio. Los meses siguientes solamente será extraído mineral de Mercedes norte. Para ello se realizará durante los meses de agosto y setiembre del presente año, nueve sondajes diamantinos que suman en total 850.00 m. en el sector que será minado durante el año 2002. Asimismo, se continuará con el mapeo de los taludes de bancos, levantamiento de las zonas económicamente explotadas y la campaña de Test Holes.

2.2.5. ENERGÍA ELÉCTRICA, FUENTE Y CONSUMO

Se trabaja con Electro Perú siendo el principal abastecedor de la energía eléctrica con un 73% y por generadores de la mina un 27%.

Tabla 2. Generación de Consumo de Energía

| Generación de consumo de energía | | | | |
|----------------------------------|--------|------------|------------|------------|
| indicador | unidad | 2018 | 2017 | 2016 |
| mineral tratado | TMS | 3,209.207 | 3,125,208 | 3,014,301 |
| generación propia | | | | |
| C.H. Jupayragra | kwh. | 12,863,403 | 13,127,098 | 13,647,032 |
| C.H. río Blanco | kwh. | 9,203,871 | 10,403,149 | 11,469,500 |
| Subtotal | kwh. | 22,067,274 | 23,530,247 | 25,116,532 |
| Compra de energía | | | | |

| | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Electrocentro S.A. | kwh. | 70,389,251 | 69,231,847 | 69,461,194 |
| Total general | kwh. | 92,456,525 | 92,762,094 | 94,577,726 |
| Factor de consumo general | | 48,98 | 47,56 | 54,03 |
| Factor de consumo planta | | 39,03 | 38,34 | 53,12 |

2.2.6. FUERZA LABORAL

Los colaboradores de compañía representan un total de 29% y el 71% a empresas contratistas, siendo en su mayoría de JRC ingeniería y construcción.

2.3. GEOLOGÍA

2.3.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.3.1.1. Geología Regional

La historia geológica en el distrito minero de Colquijirca se inicia en el triásico y revela una sucesión de eventos de mineralización, tectónicos y volcánicos controlados por una gran estructura de dirección norte-sur denominada falla longitudinal.

2.3.1.2. Estratigrafía

- **GRUPO MITU**

Descansa en leve discordancia angular o erosional sobre el grupo Excelsior; son areniscas, limos y conglomerados de color rojo que suprayacen en discordancia angular al grupo Excelsior, su potencia se estima en 400 m.

En el área de trabajo, constituye el substrato sobre el cual se emplazan en discordancia erosional los depósitos terciarios de la formación calera en un contexto de pliegues y/o altos estructurales.

- **GRUPO PUCARA**

En la región pueden distinguirse claramente dos conjuntos de facies pertenecientes al mismo grupo, separados por la falla longitudinal, denominados Pucará Occidental y Pucará Oriental, al oeste y este de la falla respectivamente. Su edad es triásico-líásico.

El Pucará Occidental, comienza con una leve discordancia angular sobre el grupo Mitu, por una brecha basal de color gris verdoso con clastos de filita y cuarzo que suprayacen a las areniscas del grupo Mitu; es seguido de dolomías con chert y niveles de cineritas, con figuras sedimentarias, fósiles, seudomorfos de evaporitas, etc., que

sugieren un ambiente muy somero, de baja energía en la parte interna de una plataforma carbonatada. Su espesor medido es de 360 m. aproximadamente. En el límite sur de Marcapunta, en el anticlinal Bohórquez y área de Yanque María, afloran abruptamente calizas y brechas calcáreas atribuidas al Pucará Occidental, descansando sobre areniscas del grupo Mitu; pero no todas éstas pertenecen necesariamente al Pucará, es así que los afloramientos de Yanque María son micro brechas algo calcáreas con granos de cuarzo fragmental, sugiriendo ello un origen más bien vulcanoclástico, acaso del calera inferior. Esta unidad es huésped de la mineralización en San Gregorio.

El Pucará Oriental o Formación Cambará, no tiene una base afloraste; se compone de más de 1,500 m de calizas con sílex e incluye masas estratiformes recristalizadas posteriormente; son depósitos de plataforma carbonatada externa.

No se ha encontrado unidades pertenecientes al cretáceo, por consiguiente, suprayaciendo al grupo Pucará, tenemos el terciario representado por la formación Pocobamba con sus miembros Cacuán y Shuco y la formación calera, que cubren en discordancia erosional a los grupos Mitu o Pucará.

- **FORMACIÓN CALERA**

Se caracteriza por una predominancia de depósitos vulcanoclásticos, conglomerados, margas, calizas, dolomías, chert con un mínimo de 250 m de espesor de ambiente lagunar. Una edad radiométrica de K/Ar sobre biotita en una toba ácida de la parte inferior dio entre 36 y 37 Ma (Noble et al, 1999). Esta unidad constituye la roca huésped para la mineralización en Colquijirca, así como en Marcapunta norte y oeste. Ángeles (1996, 1999), subdivide esta formación en tres unidades: Calera inferior, medio y superior.

- **COMPLEJO VOLCANICO DE MARCAPUNTA**

Su emplazamiento es controlado por la falla longitudinal al igual que el complejo de Cerro de Pasco. En este caso, se emplaza a manera de un conjunto de domos ácidos a intermedios de lava viscosa en forma de “hongos” o lacolitos sobre un paleorelieve calera, Mítu y tal vez Pucará. Se constituye principalmente por piroclastos a la base que es instruido por múltiples domos de composición dacítica con textura porfírica, riolitas brechadas; estas unidades son cortadas por una serie subordinada de tufisitas, pebbledikes, brechas freatomagmáticas y brechas hidrotermales.

Comparado con el complejo volcánico de Cerro de Pasco, la diatrema o cuello volcánico de Marcapunta es aparentemente más pequeño, tal vez de unos 600 m de diámetro, pero su sistema mineralizado es igual de grande; así, entre San Gregorio y Colquijirca hay aproximadamente 8 Km en eje norte–sur. Es de destacar que Marcapunta se encuentra preservado de la erosión, lo cual insinúa un gran potencial para mineralización en las rocas

Circundantes a la diatrema o cuello volcánico bajo el lacolito; mientras que Cerro de Pasco, es una diatrema más grande, de 2.5 Km de diámetro aproximadamente, que ha sufrido una erosión más profunda, tanto que expone la diatrema misma.

Entre estos dos complejos volcánicos se emplaza la diatrema de Yanamate, modestamente expuesta algo más al Este de la traza de la falla longitudinal; se constituye de coladas piroclásticas, domos y diques de un pórfido aparentemente dacítico.

La edad de Marcapunta fue fechada en 11.5 ± 0.4 Ma por K/Ar sobre biotita y la actividad hidrotermal en 10.8 ± 0.3 Ma por K/Ar en alunita (Vidal et al, 1984); recientemente, Bendezú & Fontboté (2002) aportan edades Ar/Ar de 12.9 a 12.4 ± 0.1 Ma sobre biotita para el complejo volcánico; 11.6 a 11.3 ± 0.1 Ma para la actividad hidrotermal asociada a los metales preciosos y 10.8 a 10.6 ± 0.1 Ma para los metales base. Estas edades K/Ar y Ar/Ar son más o menos consistentes entre sí.

2.3.1.3. Geología Económica

La mineralización del yacimiento de Colquijirca, presenta un núcleo central con mineralización de cobre, alrededor del cual se tiene la mineralización de Zn, Pb y Ag dicho zoneamiento se da vertical como horizontalmente y en dirección sur – norte, principalmente.

Flanco Principal

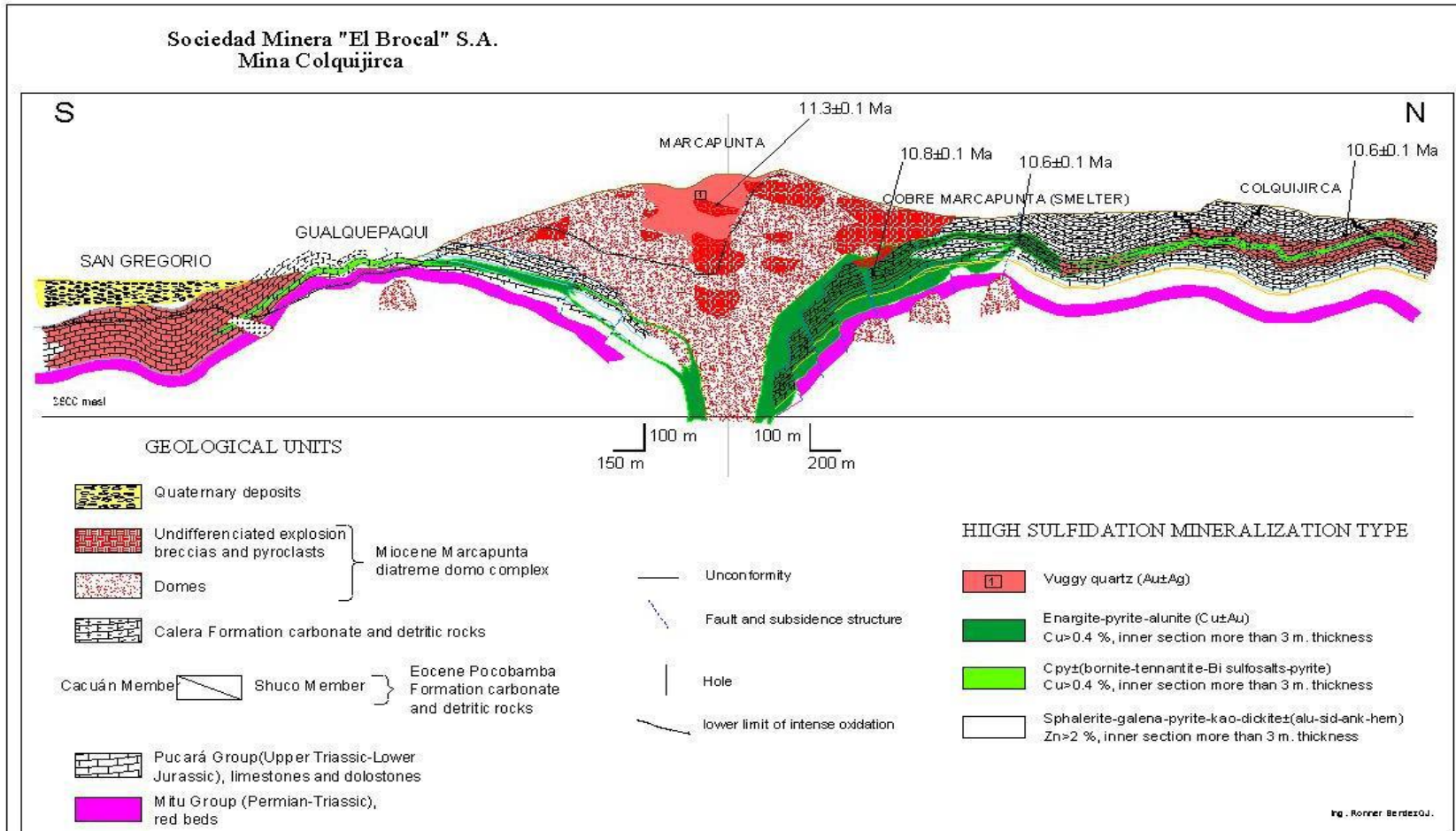
Es el flanco más occidental cuyo buzamiento principal es hacia el este, con ángulos que varían entre 25° -30 ° hacia 70° en las partes más altas del flanco, y en cual se pueden distinguir dos tipos de mineralización.

Figura 3: Flanco Principal



Fuente: propia

Figura 4: Mapa geológico sociedad minera el Brocal.



Fuente: Dpto de geología (2)

Mineralización de Cu:

Constituida por un el núcleo de la mineralización del yacimiento, conformado principalmente por minerales de cobre tales como: enargita, bornita, calcopirita y cobres grises, del centro hacia los extremos de este núcleo. Su ocurrencia se da como reemplazamientos masivos, venillas y relleno de oquedades. La alteración subordinada es típica de este núcleo y se manifiesta por el ensamble sílice-pirita-alunita-dickita; típico de un sistema epitermal de alta sulfuración cuyo foco principal sería el Centro Volcánico de Marcapunta. La presencia de plata nativa, calcocina, covelita y digenita, implica efectos de enriquecimiento secundario, aún a profundidades considerables del Tajo Principal.

En menor proporción se tiene arsenopirita, y sulfosales como estefanita, jamensonita, polibasita, stilboluzonita y tetraedrita; todas ellas identificadas mediante secciones pulidas.

Mineralización de Zn, Pb y Ag

La cual ocurre hacia los bordes del núcleo y está constituida por: esfalerita, galena, galena argentífera y cobres grises (freibergita); los que ocurren como agregados cristalinos dentro de oquedades, venillas, fracturas y como reemplazamientos masivos, conformando en muchos de estos casos las denominadas rocas sulfurosas. La esfalerita se asocia habitualmente con galena y pirita, en ensambles dobles o triples que generalmente pueden ser distinguidos con la lupa. La mineralización de ganga esté representada por: dolomita, siderita, ankerita, baritina, cuarzo, especularita, magnetita, dickita, alunita, caolinita.

La alteración supérgena está representada por la presencia de cerusita, hemimorfita, goslarita, anglesita, hematitas, limonitas, waad y psilomelano; sobre todo en las partes más altas.

También se aprecian ocasionales ocurrencias de óxidos primarios como magnetita, especularita y oligisto, pero no representan en conjunto más del 1%.

Horizonte Medio:

En este horizonte los minerales de cobre son más abundantes y se tiene enargita, bornita, covelita, calcopirita y cobres grises, asociadas con alunita, baritina, pirita, además de azurita y malaquita. Alrededor de estos minerales de cobre se tiene esfalerita, galena, pirita y galena argentífera. La ocurrencia de estos sulfuros comúnmente entre crecidos en ensambles dobles y triples se presentan en venillas, en cuerpos masivos, y como agregados cristalinos en geodas de dolomías y chert. La ocurrencia de magnetita en este horizonte no supera el 1%.

El chert ocurre como nódulos y como niveles hasta de 2 metros de espesor. Estos presentan un fuerte fracturamiento, sin embargo, su extensión lateral y su espesor no son constantes. Las dolomías y calizas silicificadas se hallan intercaladas con los niveles de chert.

Los minerales de alteración hipógena de asociación típica, son alunita, caolín, baritina, cuarzo, dolomita y calcita. En tanto que los minerales de alteración supérgena son cerusita, anglesita, smithsonita (detectada al microscopio) y siderita.

La presencia de sulfatos solubles se relaciona exclusivamente a labores de minado subterráneo antiguos, pudiéndose encontrar minerales como tales como: calcantita, melanterita, goslarita, anglesita, cerusita y limonitas. La abundancia de estos minerales no es alarmante, pudiendo representar en conjunto, proporciones menores al 1% del mineral de éste horizonte.

Horizonte Inferior:

La mineralización de este horizonte se caracteriza por sus valores de plomo y plata, contenidos esencialmente en galena argentífera. La esfalerita se halla siempre asociada a galena y pirita. Todos estos sulfuros se hallan contenidos esencialmente en rocas sulfurosas y dolomías decarbonatadas, tanto como sulfuros masivos como en venillas. Asimismo, en los niveles de chert y en las rocas silicificadas, los sulfuros ocurren a manera de venillas y como agregados cristalinos en cavidades y en las fracturas.

En la parte superior de este horizonte se tiene ocasionalmente minerales de cobre como enargita, bornita, covelita, calcopirita y cobres grises

asociado con alunita, baritina y pirita y se centraliza esencialmente al sur del Tajo principal.

Como minerales de alteración hipógena tenemos caolín, cuarzo, alunita, baritina, dolomita, siderita. Y como minerales de alteración supérgena: cerusita, anglesita, azurita, malaquita, estos dos últimos asociados a escasas ocurrencias de minerales de cobre.

Flanco Mercedes

Cuyo buzamiento es hacia el oeste con un ángulo aproximado de 35°, abarcando también los pliegues secundarios que se ubican hacia el seno del sinclinal principal – Mercedes.

La mineralogía de este flanco está constituida por ocurrencias de entrecrecimientos dobles, triples y cuádruples de: galena-esfalerita, galena-pirita, calcopirita-pirita, galena-cobres grises, calcopirita-cobres grises, galena-esfalerita-pirita, galena-calcopirita-pirita-esfalerita, bornita y digenita. La presencia de bismuto ha sido detectada mediante ensayos geoquímicos y químicos. Todos estos minerales se presentan mayormente como agregados cristalinos en cavidades de lixiviación de las dolomías, mientras que en el chert la mineralización se ha emplazado en cavidades y especialmente en las fracturas. También se presentan a manera de venillas, diseminaciones y como reemplazamientos masivos que conforman las rocas sulfurizadas.

Los minerales de alteración hipógena principalmente asociados son ankerita, dolomita, calcita, caolín, siderita, baritina y cuarzo. Los minerales de alteración supérgena asociados son siderita, smithsonita, cerusita, azurita, malaquita, anglesita, goslarita, hematitas, limonitas, waad y psilomelanos.

La mayoría de estos minerales de alteración se manifiestan en las zonas altas del yacimiento, en donde la franja mineralizada ha sido expuesta a superficie. Pero también estos minerales de alteración están presentes en las paredes de las labores antiguas. En estas labores la oxidación ha afectado aproximadamente de 1 a 2 metros como radio de influencia.

Flanco Chocayoc:

Presenta un buzamiento aproximado de 70° al este y que conjuntamente con el flanco Mercedes conforman el anticlinal Mercedes- Chocayoc.

La mineralogía de este flanco es poco variada, reconociéndose en general: galena argentífera, galena, esfalerita, todos ellos asociadas a pirita y calcopirita en ensambles dobles y triples. Las variedades de esfalerita reportadas son: blenda rubia, rubizinc y marmatita, siendo ésta última muy escasa. Todos estos minerales ocurren mayormente como agregados cristalinos en cavidades de lixiviación de las dolomías y en las fracturas del chert. También a manera de venillas, reemplazamiento masivo y disseminaciones.

El mineral de cobre que se ha reportado es calcopirita muy ocasional.

Los minerales de alteración hipógena principalmente asociados son dolomita, siderita, calcita, dolomita, caolín, óxidos primarios como especularita y oligisto siendo menos común la baritina.

Los minerales de alteración supérgena son: cerusita, anglesita, hematitas y limonitas; probablemente como producto de la circulación de aguas meteóricas.

Litología Tajo norte

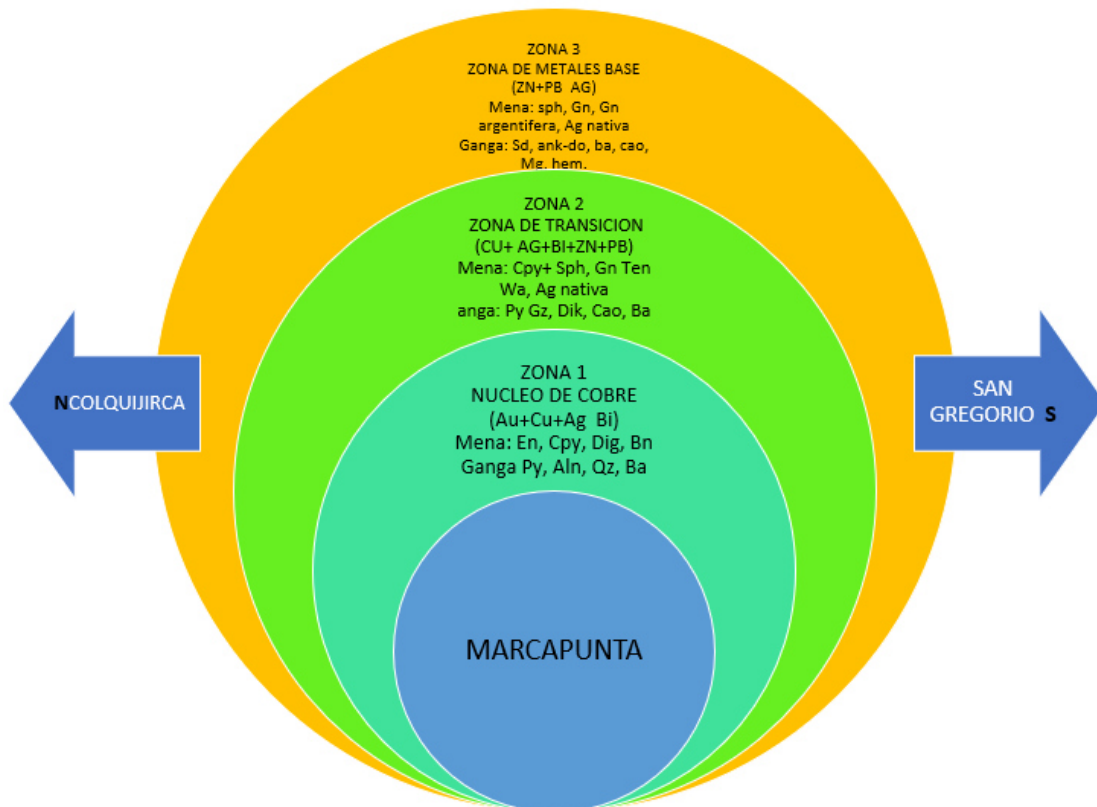
La mineralización económica, sin considerar la mineralización de cobre del núcleo, se encuentra emplazada en rocas predominante dolomíticas que representan aproximadamente el 80% de la estructura mineralizada. Dichas dolomías de color beige, suelen presentar una moderada a intensa silicificación, lo cual le confiere una dureza alta y un aspecto masivo, sobre todo en la el Tajo Mercedes norte. La mineralización ocurre como reemplazamientos masivos (roca sulfurosa), rellenando oquedades y fracturas; los cuales se hacen más notorios hacia el extremo norte de la estructura mineralizada.

Un 10% de la mineralización ocurre en niveles arcilíticos, limoarcilíticos y dolomías decarbonatizadas; es decir, dolomías alteradas por fluidos bastante ácidos que le confieren un aspecto arcilloso, razón por la cual se le considera en este grupo y ocurre principalmente en el Tajo principal. La mineralización ocurre en formas lamelares, disseminada y como venillas; siendo las dolomías decarbonatizadas las que albergan los mejores intervalos mineralizados (Tajo Principal).

El restante 10% de la mineralización se encuentra emplazada en niveles y nódulos de chert negro y blanco, principalmente rellenando fracturas y

oquedades. El chert constituye una litología de dureza alta y se encuentra dentro de las unidades dolomitizadas.

La mineralización de Cu (enargita, bornita y calcopirita) se encuentran completamente emplazadas en calizas silicificadas y chert negro, ubicados siempre al centro de la mineralización de Zn, Pb y Ag.



TIPOS DE MINERAL EN EL TAJO COLQUIJRCA

Existe una clasificación particular que se tiene establecida en el Tajo Colquijirca para los diferentes tipos de mineral que se producen ya sea por Zn, Pb, Cu o Ag, esto de acuerdo al rango de leyes que se tengan de las mismas, ya que al encontrarse combinadas perjudican su proceso metalúrgico. Es así que se clasifica de la siguiente manera:

- Mineral Tipo I (Cu) : Cu>0.8 %; Zn<0.5 %; Pb<0.5 %
- Mineral Tipo II (Ag-Cu) : Ag>3.0 Oz
- Mineral Tipo III (Zn-Pb-Ag) : Zn>1.0 %; Cu <0.5 %

2.3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA

Se clasifica la masa rocosa según el siguiente cuadro:

Tabla 3. Caracterización de la masa rocosa

| TIPO DE ROCA | RANGO DE RMR | RANGO Q | CALIDAD, SEGÚN RMR |
|--------------|--------------|-------------|--------------------|
| II | > 60 | > 5.92 | Buena |
| IIIA | 51-60 | 2.18 - 5.92 | Regular A |
| IIIB | 41-50 | 0.72 - 1.95 | Regular B |
| IVA | 31-40 | 0.24 - 0.64 | Mala A |
| IVB | 21-30 | 0.08 - 0.21 | Mala B |
| V | < 21 | < 0.08 | Muy Mala |

Fuente: Dpto. de geo mecánica sociedad minera el brocal (2)

Se realiza la interpretación geomecánica por bloques en el cuadro a continuación:

Tabla 4. Características de calidad de la masa rocosa

Parámetros de resistencia de la roca intacta y de la masa rocosa
 Área Tajo Norte

| Sección | Altura Talud (m) | Tipo de roca y calidad | RMR Prom. | " σ_c " Prom. (MPa) | Densidad (Ton/m ³) | Constante "m _i " | Cohesión Prom. (KPa) | Angulo Fricción Prom. (°) | Parám. "m _b " | Parám. "s" |
|----------|------------------|------------------------|-----------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|------------|
| TN-NW(2) | 200 | Dolomía IVB | 25 | 30 | 25 | 9.69 | 238 | 14.52 | 0.092 | 0.00000891 |
| | | Caliza IIIA | 55 | 90 | 25 | 12.43 | 1119 | 38.47 | 0.760 | 0.0009 |
| | | Vulcanoc. IVA | 38 | 35 | 24 | 10.63 | 417 | 22.12 | 0.226 | 0.0001 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |
| TN-W(4) | 270 | Dolomía IVA | 37 | 40 | 25 | 9.69 | 501 | 19.72 | 0.194 | 0.0001 |
| | | Caliza IIIB | 42 | 50 | 25 | 12.43 | 709 | 25.31 | 0.339 | 0.0001 |
| | | Marga IVA | 34 | 20 | 23 | 8.00 | 294 | 14.05 | 0.133 | 0.000036 |
| | | Vulcanoc. IVA | 38 | 35 | 24 | 10.63 | 496 | 20.24 | 0.226 | 0.0001 |
| TN-S(6) | 130 | Dolomía IIIB | 43 | 53 | 25 | 9.69 | 449 | 29.46 | 0.281 | 0.0001 |
| | | Caliza IVA | 40 | 63 | 25 | 12.43 | 478 | 31.16 | 0.299 | 0.0001 |
| | | Marga IVA | 34 | 20 | 23 | 8.00 | 195 | 17.85 | 0.133 | 0.000036 |
| | | Vulcanoc. IVA | 38 | 35 | 24 | 10.63 | 325 | 24.96 | 0.226 | 0.0001 |
| TN-SE(7) | 200 | Caliza sup. IVA | 38 | 63 | 25 | 12.43 | 579 | 26.98 | 0.264 | 0.0001 |
| | | Dolomía IVA | 34 | 36 | 25 | 9.69 | 365 | 19.52 | 0.161 | 0.000036 |
| | | Caliza inf. IVA | 35 | 35 | 25 | 12.43 | 412 | 21.54 | 0.219 | 0.000042 |
| | | Vulcanoc. IVA | 38 | 35 | 24 | 10.63 | 417 | 22.12 | 0.226 | 0.0001 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |

Fuente Dpto. Geología (4)

Tabla 5. Parámetros de resistencia de la roca intacta

Parámetros de resistencia de la roca intacta y de la masa rocosa
Area La Llave

| Sección | Altura Talud (m) | Tipo de roca y calidad | RMR Prom. | " σ_c " Prom. (MPa) | Densidad (Ton/m ³) | Constante " m_1 " | Cohesión Prom. (KPa) | Angulo Fricción Prom. (°) | Parám. " m_2 " | Parám. " s " |
|-----------|------------------|------------------------|-----------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|------------------|----------------|
| TLL-W(2) | 60 | Dolomia IVA | 40 | 44 | 25 | 9.69 | 242 | 32.15 | 0.235 | 0.0001 |
| | | Caliza IIB | 45 | 48 | 25 | 12.43 | 317 | 37.63 | 0.403 | 0.0002 |
| | | Marga IVA | 35 | 33 | 23 | 8.00 | 162 | 26.36 | 0.141 | 0.000042 |
| | | Vulcanoc. IIB | 50 | 53 | 24 | 10.63 | 368 | 39.95 | 0.476 | 0.0004 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |
| TLL-SW(3) | 90 | Caliza IIB | 42 | 40 | 25 | 12.43 | 339 | 31.60 | 0.359 | 0.0001 |
| | | Marga IVA | 35 | 33 | 23 | 8.00 | 204 | 23.63 | 0.141 | 0.000042 |
| | | Ciza marg. IVA | 38 | 33 | 24 | 10.00 | 250 | 26.62 | 0.213 | 0.0001 |
| | | Vulcanoc. IVA | 40 | 35 | 24 | 10.63 | 279 | 28.58 | 0.256 | 0.0001 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |
| TLL-SW(4) | 120 | Caliza IIB | 48 | 55 | 25 | 12.43 | 547 | 35.01 | 0.492 | 0.0003 |
| | | Dolomia IVA | 34 | 38 | 25 | 9.69 | 278 | 23.04 | 0.161 | 0.000036 |
| | | Vulcanoc. IIB | 45 | 50 | 24 | 10.63 | 447 | 31.72 | 0.349 | 0.0002 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |
| TLL-S(5) | 185 | Caliza sup. IVA | 35 | 40 | 25 | 12.43 | 417 | 22.89 | 0.219 | 0.000042 |
| | | Dolomia IVB | 28 | 30 | 25 | 9.69 | 258 | 16.22 | 0.111 | 0.0000142 |
| | | Dol. varv. IVB | 24 | 10 | 25 | 9.69 | 134 | 9.94 | 0.086 | 0.00000763 |
| | | Caliza inf. IVA | 35 | 30 | 25 | 12.43 | 370 | 21.06 | 0.219 | 0.000042 |
| | | Toba mas. IVB | 21 | 10 | 24 | 10.63 | 100 | 6.53 | 0.059 | 0.00000479 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |
| TLL-SE(6) | 185 | Caliza IIB | 42 | 50 | 25 | 12.43 | 562 | 27.97 | 0.359 | 0.0001 |
| | | Dolomia IVB | 30 | 32 | 25 | 9.69 | 287 | 17.47 | 0.125 | 0.0000194 |
| | | Dol. varv. IVB | 24 | 10 | 25 | 9.69 | 134 | 9.94 | 0.086 | 0.00000763 |
| | | Ciza marg. IVA | 38 | 33 | 24 | 10.00 | 390 | 21.8 | 0.213 | 0.0001 |
| | | Vulcanoc. IVA | 40 | 35 | 24 | 10.63 | 425 | 23.58 | 0.256 | 0.0001 |
| | | Marga IVA | 35 | 33 | 23 | 8.00 | 204 | 23.63 | 0.141 | 0.000042 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |
| TLL-E(7) | 240 | Caliza IVA | 31 | 32 | 25 | 12.43 | 364 | 18.06 | 0.171 | 0.0000226 |
| | | Dolomia IIB | 42 | 45 | 25 | 9.69 | 577 | 23.53 | 0.264 | 0.0001 |
| | | Dol varv. IVB | 30 | 25 | 25 | 9.69 | 299 | 14.83 | 0.125 | 0.0000194 |
| | | Ciza marg. IVA | 35 | 40 | 24 | 10.00 | 434 | 19.98 | 0.176 | 0.000042 |
| | | Vulcanoc. IIIA | 51 | 35 | 24 | 10.63 | 681 | 27.09 | 0.507 | 0.0005 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |
| TLL-N(8) | 220 | Caliza IIB | 50 | 78 | 25 | 12.43 | 954 | 34.11 | 0.557 | 0.0004 |
| | | Dolomia IVA | 33 | 51 | 25 | 9.69 | 432 | 20.57 | 0.151 | 0.0000303 |
| | | Ciza marg. IVA | 34 | 32 | 24 | 10.00 | 363 | 18.75 | 0.166 | 0.000036 |
| | | Vulcanoc. IIB | 45 | 50 | 24 | 10.63 | 654 | 27.31 | 0.349 | 0.0002 |
| | | Material débil | - | - | 20 | - | 30 | 18 | - | - |

Fuente: Departamento de geo mecánica sociedad minera el brocal (2)

2.3.3. CONTROL DE CALIDAD EN EL TAJO NORTE

El control de calidad en el tajo se realiza de igual manera que en mina subterránea, de manera diaria y continua, pero con la diferencia que este control se hace con la ayuda del muestreo de blast hole o de taladros que es indispensable para la clasificación del mineral.

El geólogo en campo tiene que delimitar de manera visual el área donde predomina el mineral para su muestreo, esto también con ayuda del modelo geológico el cual se toma de referencia, ya que todo lo que se va a perforar y disparar no es mineral

El control de calidad va a depender de las leyes reportadas por laboratorio para la clasificación del mineral en sus diferentes tipos (Tipo I, Tipo II, Tipo III), y además de acuerdo a las leyes obtenidas por elemento clasificarlas en diferentes canchas de acuerdo al rango de ley en la que se encuentre.

Al obtener las leyes del muestreo, estos datos se procesarán con ayuda del AUTOCAD y delimitaremos los polígonos de acuerdo al tipo de mineral al que pertenezca. En el campo ubicaremos los vértices de los polígonos obtenidos con ayuda de planos, banderines y GPS.

Los planos de clasificación de mineral que generamos se les deberán proporcionar a los jefes de guardia para su orientación y cumplimiento.

2.4. OPERACIONES MINA

2.4.1. MINADO ACTUAL

Se viene realizando una operación de minado a tajo abierto o cielo abierto, extrayendo en su mayoría sulfuros de Ag, Pb, Zn siendo la galena el de mayor porcentaje y en menor porcentaje galena argentífera, y enargita; y la ganga está formada por pirita, baritina, hematina y siderita.

Figura 5: Zona de minado Tajo norte



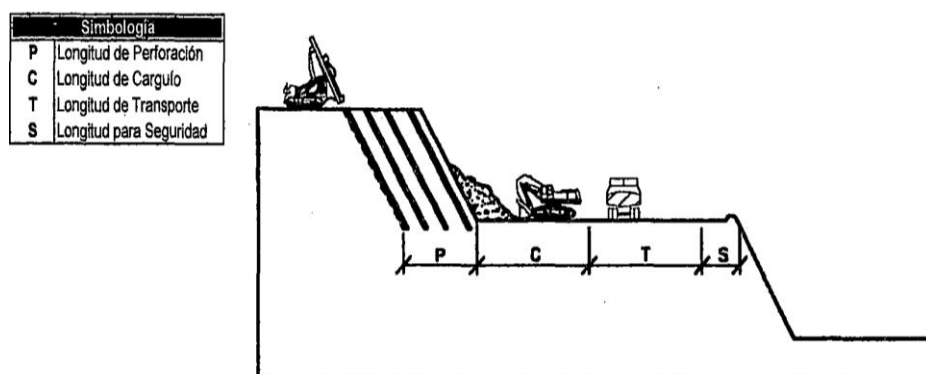
Fuente: propia

2.4.2. PLANEAMIENTO DE MINADO

2.4.2.1. Diseño Operativo – Tajo Abierto

a. Diseño de Bancos y Rampas

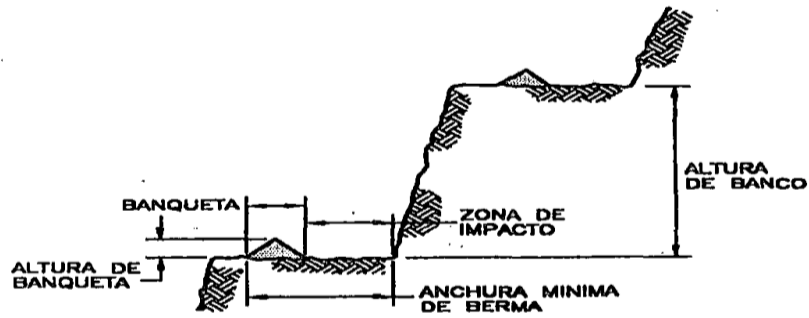
Figura 6: Diseño de Bancos y Rampas



Fuente CHALLA (5) 2014

b. Diseño de Bermas

Figura 7: Diseño de Bermas

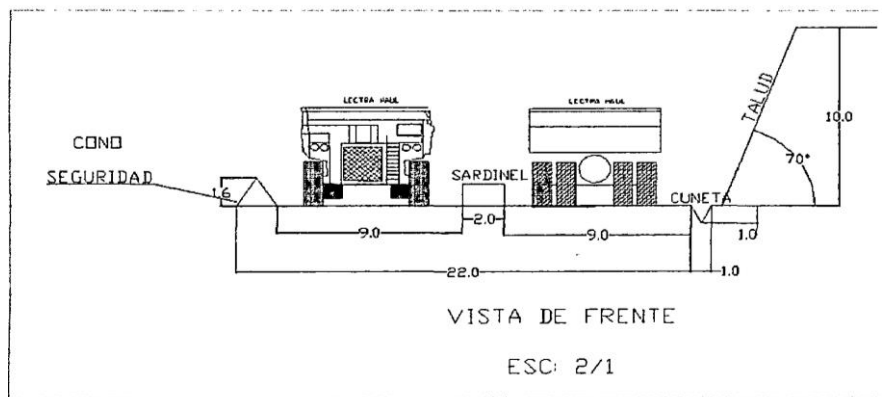


Fuente: Challa (5) 2014

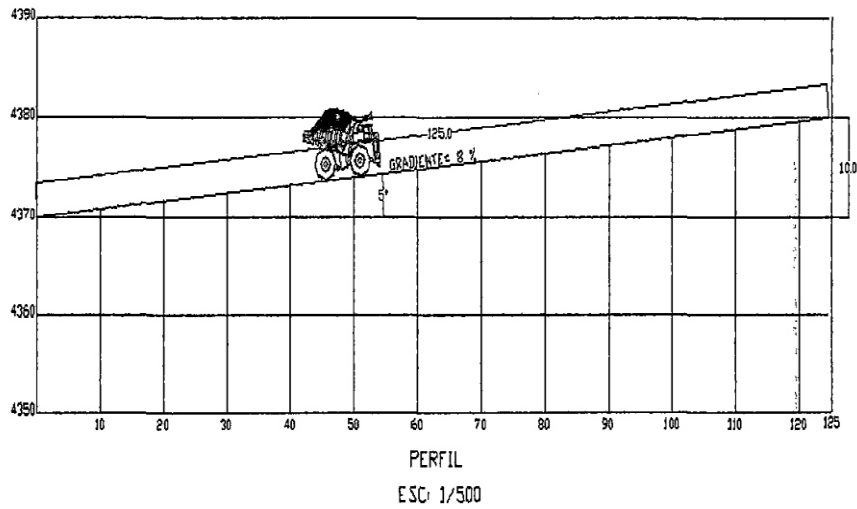
| <i>Parámetros de Diseño</i> | |
|-----------------------------|-----------|
| Ancho Mínimo de Berma (m) | 6 |
| Altura de Banqueta (m) | 1-1.8 |
| Ancho de Banqueta (m) | 2.2 - 4.2 |

c. Parámetros de diseño

Figura 8: Parámetros de diseño.

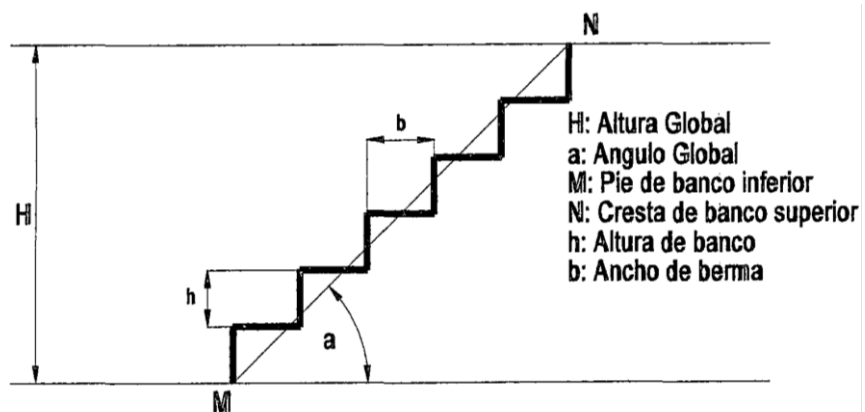


| Parámetros de Diseño | |
|-----------------------------|-------|
| Ancho de Rampa (m) | 14 |
| Gradiente de Rampa (%) | 10 |
| Ancho de Berma (m) | 6-8 |
| Altura de Banco | 6 y 8 |



Fuente: Challa (5) 2014

d. Parámetros de diseño



| Talud final de Banco | | |
|-----------------------------|-----------|---------------------|
| Zonas | Grados | Altura de Banco (m) |
| Talud Oeste | 26° | 6 |
| Talud Este | 44° y 35° | 8 |
| Talud Sur | 32° y 38° | 6 |
| Talud Norte | 31° y 40° | 6 |

| | | |
|------------------------|----------------------------------|-----------|
| Máx. Dist. Horizontal: | Eje mayor | Eje menor |
| Orientación: | N-S | E-W |
| Dimensión: | 1500 m | 1120m |
| Altura Banco: | 12 m | 6 m |
| Rampas: | gradiente máx. 10%, A 25m, L 5km | |

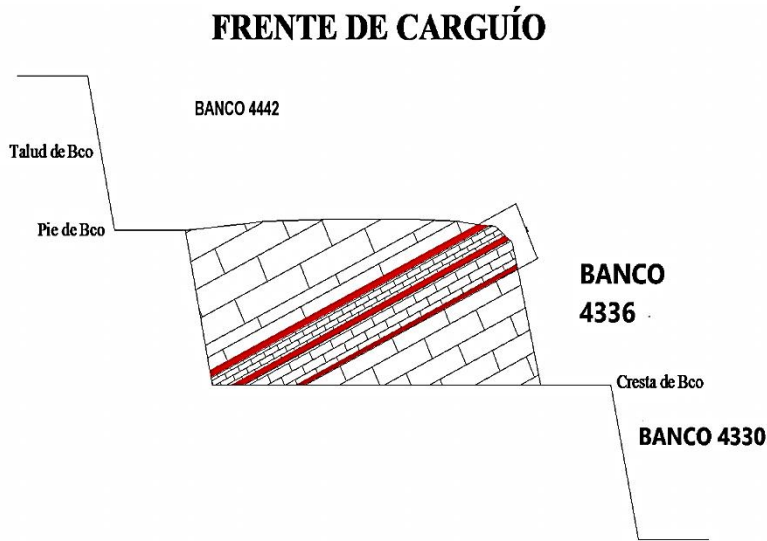
Fuente: Challa (5) 2014

e. Nomenclatura de los Bancos:

Para el muestreo de los bancos es necesario conocer y seguir una secuencia de las nomenclaturas de los bancos.

Los bancos están denominados de acuerdo a la cota que van a alcanzar al ser minados, y como el banqueo es de 6 m de profundidad de taladro, entonces la denominación sería: Banco 4358, Banco 4336, Banco 4300, etc.

Figura 9: Frente de Carguío



Fuente propia

2.5. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

- a. MEDIO AMBIENTE: los gases generados en la detonación de la emulsión Fortis Advantage 100 gasificada son menores, debido a que la combustión incompleta del heavy Anfo como también y la menor presión de aire generan mayor volumen de gas y humos.
- b. Respecto a la Seguridad: se observa menor proyección de partículas, bajándose el riesgo de afectar a personas, instalaciones y equipos. hacia las debido al cambio de explosivo utilizado (emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada).
- c. Se reduce el factor de riesgos de las personas como también de los equipos al tener una menor proyección de partículas.

2.6. BASE TEÓRICA

(Konya & Albarrán, 1998) (8) El parámetro crítico en los explosivos es la densidad, debido a que de éste dependen muchas importantes características como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras. Además, mencionan que “los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base a su peso”. Por tal motivo, la cantidad de explosivos que se diseña para cada taladro está basada en la densidad y por ende sus características para las cuales se diseñó dependiendo de la calidad del carguío. También

menciona que “Hoy en día, teniendo un balance de oxígeno correcto, el ANFO es la fuente de mayor energía explosiva más barata del mercado”.

López Jimeno² (2003), (15) menciona que “Las propiedades explosivas del ANFO están ligadas a su densidad. A medida que ésta aumenta, también aumenta su velocidad de detonación”. Sin embargo, este aumento de densidad dificulta su iniciación, volviéndose inerte a una densidad por encima de 1.20 gr/cc, no pudiendo detonar o solamente en el área inmediata al iniciador la calidad para los agentes de voladura es un factor crítico debido a que, si la densidad es muy baja, la columna explosiva se vuelve muy sensible y puede ser iniciada por el cordón detonante, antes de que el booster inicie la detonación desde el fondo del taladro. Por otro lado, si la densidad es muy alta, el agente de voladura pierde la sensibilidad al booster y no inicia.

(Orica Mining Services Perú S.A) (7) sostuvo que, explosivos tienen la iniciativa de probar otra alternativa, emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada. Antes de cargar en los taladros se sensibiliza mediante una solución de Nitrito de Sodio, generando burbujas de nitrógeno dentro la masa de la emulsión y produciendo una mezcla explosiva de menor densidad y mayor velocidad que los explosivos tradicionales. Es un producto resistente al agua y muy energético.

2.6.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Anfo:** es un explosivo de alta potencia. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo.
- **Emulsión Fortis Advantage (ANE):** es una emulsión gasificante formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante
- **Banco o cara:** Es la parte de toda mina a tajo abierto o subterránea en la cual se realizan labores de minado.
- **BCM:** Un metro cúbico como se encuentra en estado natural.
- **BFA:** De las siglas en inglés Bank Face Angle, significa ángulo de la cara del banco.
- **Botaderos:** “Conocidos también como canchas de depósito de mineral de baja ley o ganga. Usualmente se localizan en el entorno de la mina y fuera de la zona mineralizada” (Decreto Supremo N° 025-2016-EM, 2016).(18)

- **Capacidad:** “Se refiere al volumen de material que una unidad de carguío o transporte puede contener en un momento dado (por ejemplo, el volumen del balde de una pala o de la tolva de un camión)” (Aguirre Barahoma, J., 2013 (16))

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrollará en esta tesis utiliza el método científico como método general y el método descriptivo como método específico.

3.1.2. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta tesis tendrá como tipo de investigación la aplicada.

3.1.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Se tiene como nivel de investigación el descriptivo simple.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene como diseño el descriptivo simple.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

Para el caso de la presente investigación, la población estará constituida por los bancos de producción del tajo norte de sociedad minera el brocal.

3.3.2. MUESTRA

Para la presente investigación se tendrá como muestra el banco de producción del nivel 4336 del tajo norte de sociedad minera el brocal, ya que es el lugar en el cual se llevará a cabo toda la investigación.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PRESENTACION DE DATOS

El Perú desde sus comienzos en la época pre-incaica fue un país minero y a la actualidad sigue siendo un país minero lo demuestra los porcentajes del PBI por lo cual no puede dejarse la investigación en nuevos métodos de minado nuevas formas de procesar el mineral.

3.4.1. FACTORES QUE TIENEN UNA INFLUENCIA DETERMINANTE EN LOS RESULTADOS DE UNA VOLADURA DE ROCAS

Los factores de la referencia son los siguientes:

- El explosivo.
- El macizo rocoso.
- La geometría del disparo.
- Malla de perforación

3.4.2. VARIABLES EN EL PROCESO DE FRACTURAMIENTO DE ROCAS.

Las investigaciones con respecto al fracturamiento de rocas lo dividen en varias partes.

Donde la mayoría de investigadores concuerda la importancia del disparo primario es determinante para toda la voladura:

Por ende, hablaremos de la geometría de disparo que se divide en variables no controlables y variables controlables.

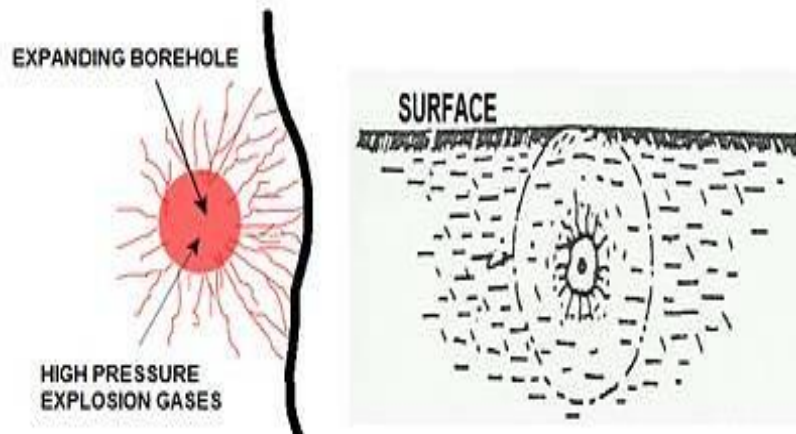
3.4.2.1. Variables no controlables

- Resistencia a la comprensión (S_c).
- Resistencia tensional (S_t).
- Presencia de agua.
- Condiciones geológicas.
- Las discontinuidades y las propiedades geo mecánicas de las rocas.

3.4.2.2. Variables controlables

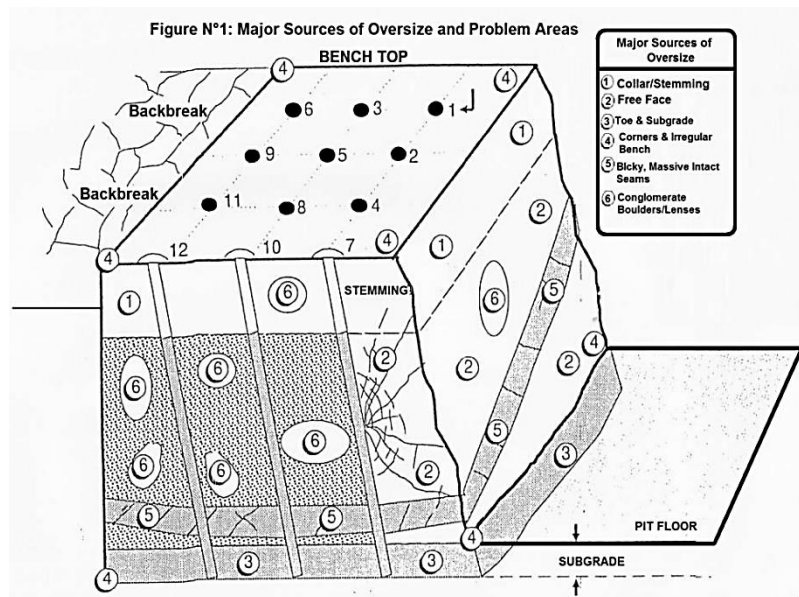
- a. Variables geométricas: las principales son burden (B), diámetro del orificio (BHF), espaciado (S), longitud de carga (BBL), taco (ST), altura del banco (BH), etc
- b. Variables físico-químicas: clase de explosivo, peso específico o densidad del explosivo (ρ_1), variables o parámetros del tipo de explosivo:
- c. Explosión o detonación: VOD, P2, T2, etc. variables de explosión: Q3, P3, T3,
- d. Variables de tiempo: explosivos electrónicos, retardos y micro-retardos
- e. Variables operativas: mallas de fracturamiento de rocas P80

Figura 10: Primera fase en fracturamiento de rocas



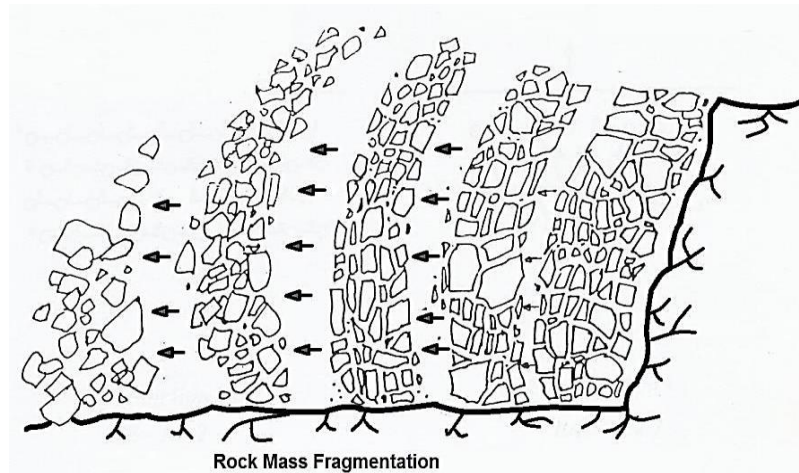
Fuente: Challa (5) 2014

Figura 11: Muestra de un banco en tajo abierto



Fuente: Challa (5) 2014

Figura 12: Secuencia en fracturamiento



Fuente: Challa (5) 2014

Figura 13: Diseño ejemplo de carga de taladros



Fuente: propia

3.4.3. EMULSIONES EXPLOSIVAS

Las emulsiones son la última generación en explosivos debido a que fueron diseñadas para fragmentar la roca más dura y a condiciones muy adversas como por ejemplo la presencia de agua, en el caso de tajo abierto para el carguío se viene usando camiones de carguío con la mezcla ya preparada y lista para el proceso.

Figura 14: Camión de carguío.

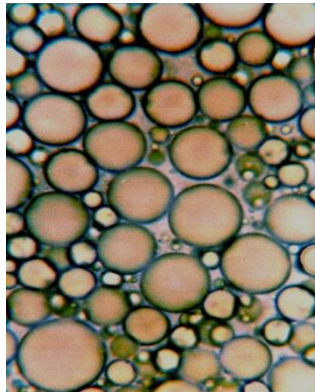


Fuente: Challan (5) 2014

3.4.3.1. Características de la emulsión explosiva

La emulsión está compuesta de dos líquidos que no se pueden disolver entre ellos.

Fase dispersa

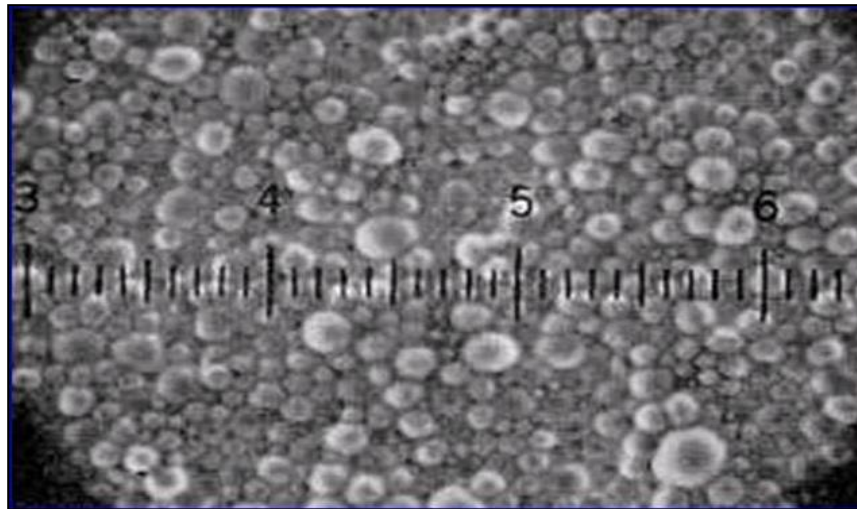


La emulsión se define en dos fases fase interna y fase externa
figura: Sistema de una emulsión gasificada

| Aceite en agua | Agua en aceite |
|----------------|----------------------|
| Aerosol , CFC | Aceites hidráulicos. |

Emulsiones comunes en el mundo.

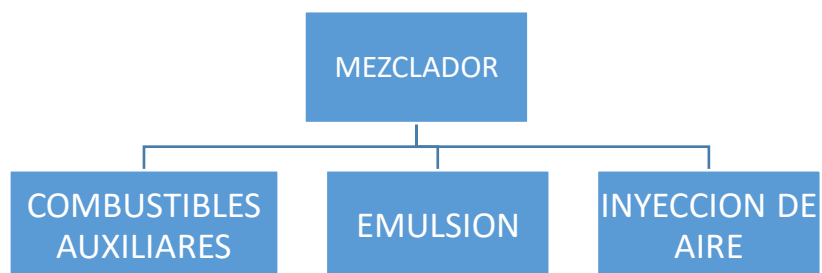
Figura 15: Fase dispersa y fase continua



Fuente: Challan (5) 2014

Tabla 6. Porcentajes de una emulsión explosiva.

| Fase discontinua | Porcentaje (%) |
|-------------------------|-----------------------|
| H2O | 9 – 21 |
| NaCl inorganicas | 64 – 84 |
| Vacíos | 1 - 2 |
| Fase continua | Porcentaje (%) |
| Petróleo | 3.4 – 9 |
| Emulsificante | 0,8 – 1,2 |



Para desarrollar las emulsiones se fue avanzando en el proceso de reducir las partículas para obtener mejores resultados con respecto a los cálculos en la densidad de las emulsiones y así poder clasificar las más adecuadas en el carguío incluso manejando la densidad de las rocas para obtener mejores resultados en la voladura.

Tabla 7. Evolución de los explosivos con el pasar del tiempo.

| Explosivo | Oxidante | Combustible | Sensibilizante |
|------------------|--|---|--|
| DINAMITAS | SOLIDO Nitratos | SOLIDO Materiales absorbentes (sensibilizantes) | LIQUIDO Nitroglicerina Gasificantes |
| ANFOS | SOLIDO Nitratos | LIQUIDO Aceites | Poros |
| HIDROGELES | SOLIDO/LIQUIDO Nitratos Soluciones salinas | SOLIDO/LIQUIDO Alumino Sensibilizante | SOLIDO/LIQUIDO O THT Aluminio en polvo Gasificantes |
| EMULSIONES | LIQUIDO Soluciones salinas | LIQUIDO Aceites / parafinas | Gasificantes |

Dimensiones de los oxidantes en los explosivos (Bampffield y Morrey, 1984) (19)

Tabla 8. Orden cronológico en el que aparecen la mezcla explosiva comercial y sus principales componentes

| EXPLOSIVO | TIAMANO (mm) | ESTADO | VELOCIDAD DE DETONACION (km/s) |
|------------------|-------------------------|----------------|---|
| ANFO | 2 | Sólido | 3,2 |
| DINAMITA | 0,2 | Sólido | 4,0 |
| HIDROGEL | 0,2 | Sólido/Líquido | 3,3 |
| EMULSION | 0,001 | Líquido | 5,0 – 6,0 |

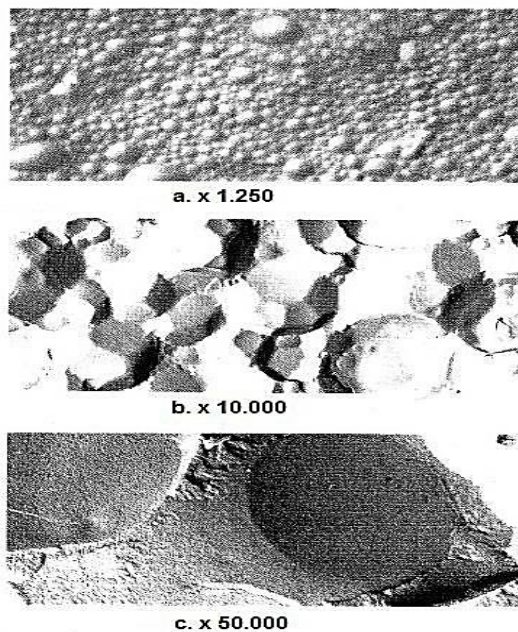
Para poder observar las estructuras de las emulsiones se tiene que tomar fotografías a un nivel microscópico y de alta velocidad donde se puede apreciar las fases de la emulsión

3.4.4. ANFO PESADO (HEAVY ANFO).

Actualmente el ANFO es considerado el explosivo base para poder realizar nuevos explosivos de mayor potencia explosiva mejorando su composición con otros elementos convirtiéndolo en un ANFO pesado el cual puede adaptarse a condiciones más extremas que el ANFO.

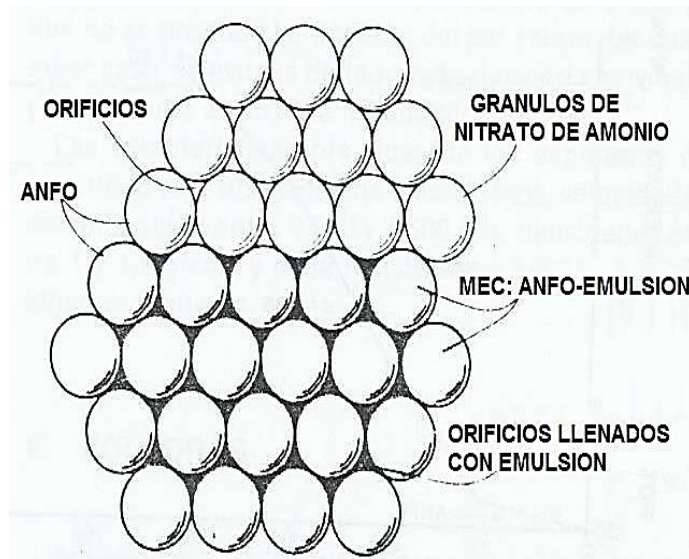
El ANFO tiene espacios u orificios entre partículas entre los gránulos de nitrato de amonio los cuales pueden ser llenados con emulsión y mejorar al ANFO y convertirlo en un ANFO PESADO.

Figura 16: Fotografía microscópica de emulsión



Fuente: Bampfield y Morrey, 1984 (19)

Figura 17: Estructura ANFO pesado

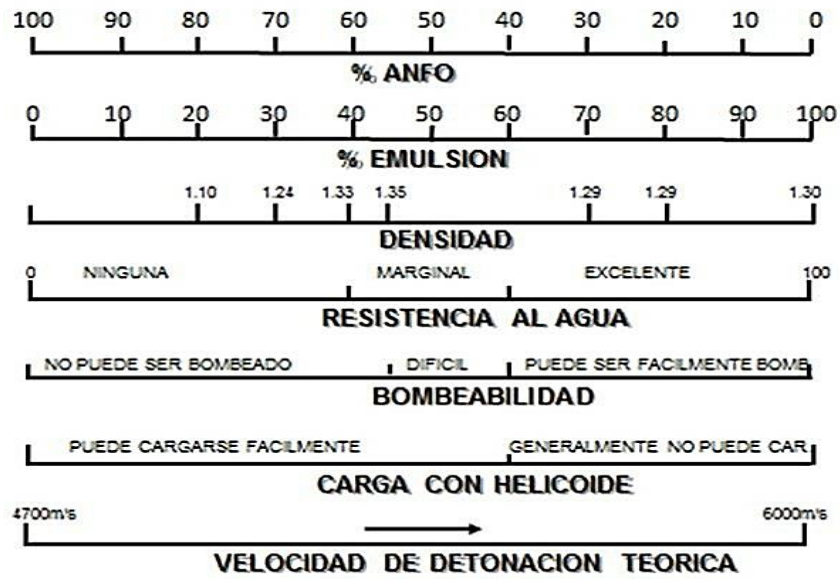


Fuente: Bampfield y Morrey, 1984. (19)

Al modificar el ANFO se puede obtener una mejora en propiedades como mayor resistencia al agua, aumentar la sensibilidad del explosivo y mejorar su brisance o poder rompedor.

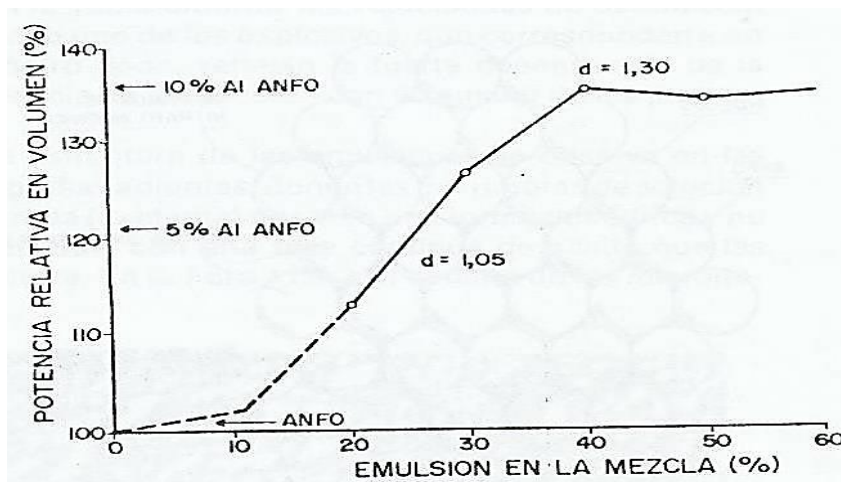
Se puede variar mucho en la fabricación de ANFO pesado debido a que es fácil realizar la mezcla entre en ANFO y la emulsión incluso se puede realizar en el mismo camión de carguío e ir modificando de acuerdo a la condición del taladro, algunos taladros tendrán más agua o mayor desviación en la perforación lo cual nos lleva a utilizar mayor fuerza rompedora en ese taladro para corregir la desviación y no malograr la malla de perforación.

Figura 18: Características de ANFO pesado



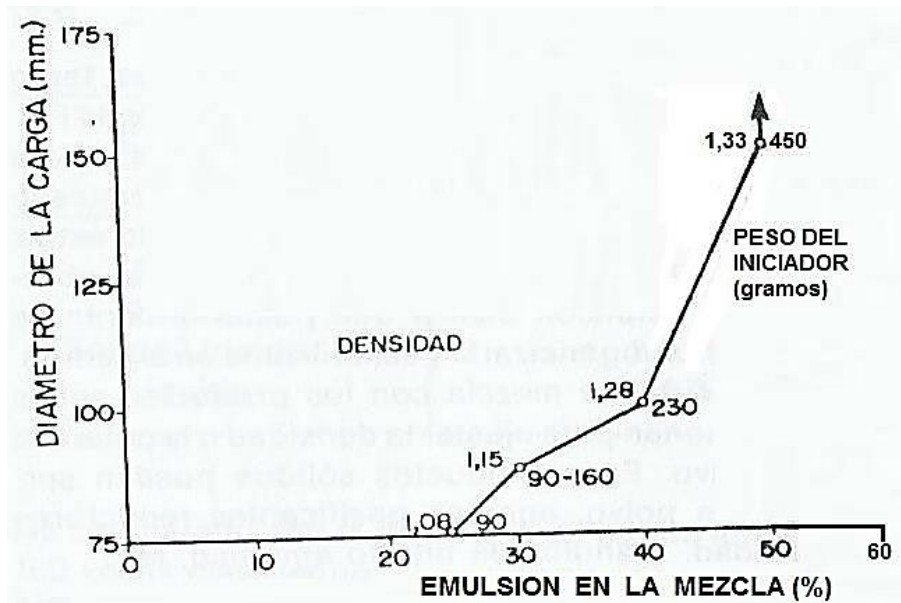
(Fuente: Du Pont, 1986).(20)

Figura 19: Potencia vs densidad de un ANFO pesado



Fuente Bampfield y Morrey, 1984 (19)

Figura 20: Variación de la sensibilidad del ANFO pesado



Fuente: Bampfield y Morrey, 1984 (19)

3.4.5. ENERGÍA TERMOQUÍMICA DE LAS EMULSIONES.

Las emulsiones vistas desde un punto termoquímico son muy eficientes caso contrario con el ANFO que al no haber mayor tamaño en sus partículas la vuelve inestable.

3.4.5.1. Velocidad de detonación (VOD)

La velocidad de detonación influye mucho en la voladura de rocas y entre la emulsión y el ANFO existe una diferencia por el tamaño de partículas en la emulsión son más finas por lo cual la velocidad de detonación es mejor en la emulsión.

3.4.5.2. Ventajas

- Ventajas más resaltantes de la emulsión vs el ANFO:
- Su transporte, manipuleo, carguío es más sencillo
- La seguridad es mayor debido al fácil manipuleo.
- Abarca en todo el mundo su aplicación.

- La densidad se puede controlar y variar de manera sencilla.
- Al detonar no libera gases tan tóxicos como el ANFO pesado
- Buena resistencia a la humedad (agua).
- Cumple con el acoplamiento al 95%
- Alta VOD.

3.4.6. EMULSIONES EXPLOSIVAS QUÍMICAMENTE GASIFICADAS.

Las emulsiones químicamente gasificadas mejoran a las emulsiones comunes en muchas de sus propiedades, anteriormente se gasificaba a las emulsiones con trozos de vidrio.

Actualmente la manera de gasificar las emulsiones ha cambiado ahora se realiza mediante reactivos químicos los cuales modifican a la emulsión generando una emulsión gasificada la cual por lo general se realizó las pruebas en laboratorio y pruebas en campo hasta encontrar la cantidad adecuada para encontrar la correcta emulsión gasificada que cumpla con la voladura, la correcta fracturación de la roca.

Las pruebas en campo son muy útiles y hasta la fecha es la única manera para poder saber la correcta cantidad de reactivo químico a utilizar para poder gasificar a la emulsión.

Cabe resaltar que la geomecánica de la roca es muy variable por ende no se puede tener un estándar con respecto a la emulsión gasificada por el contrario sigue siendo muy variable su composición y aplicación debido al tipo de roca.

Figura 21: Carguío de los taladros en Open pit.



Fuente: Propia

Las burbujas en la emulsión gasificada se aglomeran en la parte superior del taladro y al fondo del taladro debido a la presión se encuentra la mayor densidad.

Por lo cual no existe una densidad uniforme en toda la mezcla debido a la variación de densidades en el taladro.

3.5. TÉCNICA TRABAJO DE CAMPO: CASOS-ESTUDIOS MONITOREADOS Y EVALUADOS USANDO EMULSIÓN GASIFICADA

Al realizar la voladura de rocas en Tajo norte sociedad minera El Brocal; se desea obtener una buena fragmentación de rocas que cumpla con las mallas y la granulometría deseada.

Se realizará unas pruebas entre la emulsión gasificada y el ANFO pesado (HA-28, HA-37, HA-45/55 y HA-64)

3.5.1. PROPÓSITOS EN LA VOLADURA

- Fragmentación.
- Analizar quien libera mayor cantidad de gases naranja
- Resultado final de la voladura.
- Comparación de costos US\$/Tm. entre emulsión gasificada vs ANFO pesado,

- Eficiencia de voladura.

3.5.2. COMPARACIÓN EN CAMPO DE EMULSIÓN GASIFICADA Y ANFO

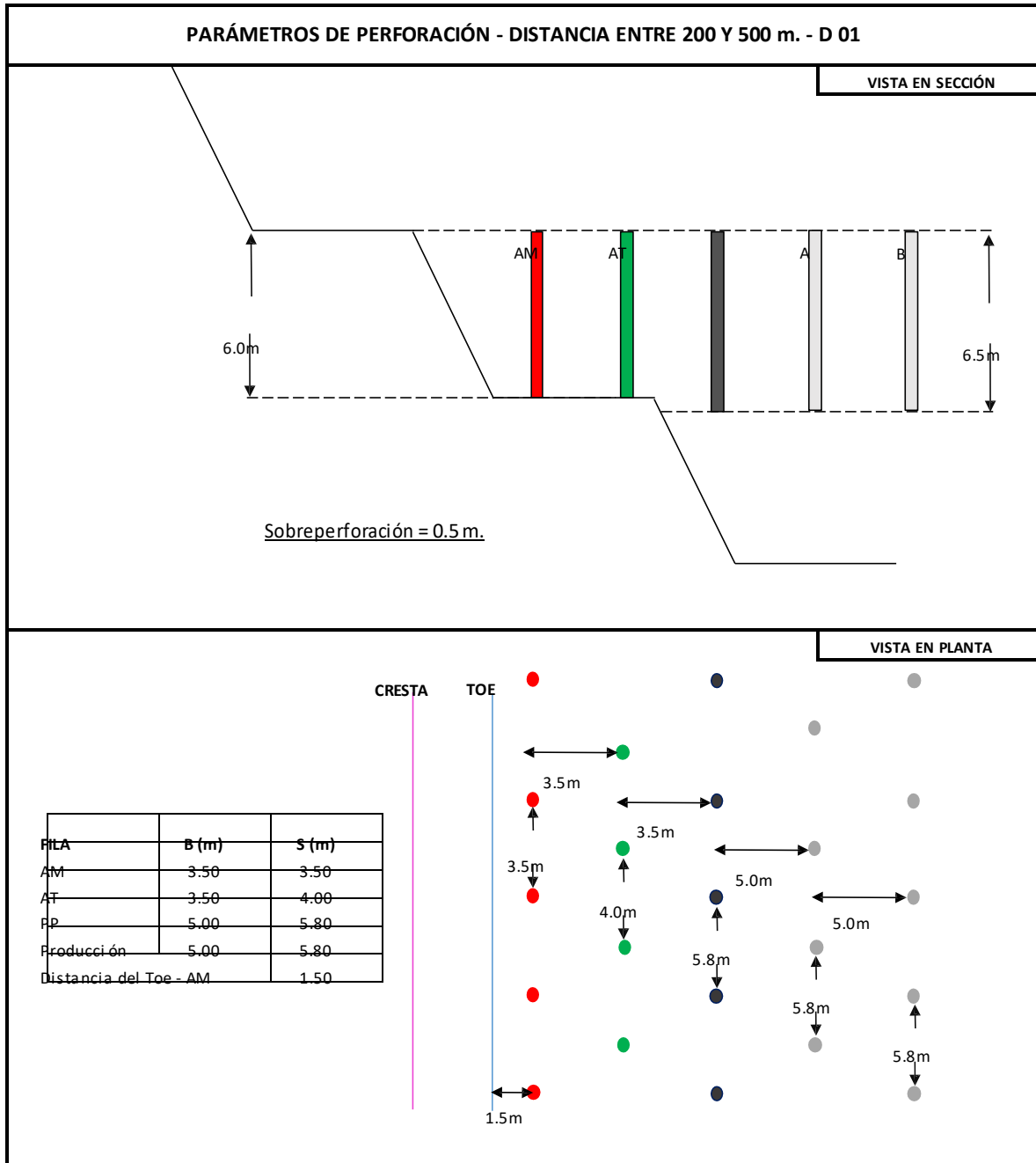
Se realizó una evaluación técnico-económico; se realizaron voladuras primarias, con las mismas mallas de perforación y en igualdad de condiciones para la emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada y el Anfo pesado, también pudiendo apreciar menos generación de gases nitrosos con el uso de emulsión gasificada.

En el siguiente cuadro se muestra el comparativo de la dureza de rocas para la mina brocal.

| CUADRO COMPARATIVO DE DUREZAS PARA MINA EL BROCAL | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-------|---|-------------------|--|-----------|-----------|---------|------------|------------|------------|
| LITOLOGÍA | DUREZA | COLOR | *DESCRIPCIÓN | GEOTECNIA | ** GEOTECNIA - VOLADURA (Heavy - Anfo) | | | | CHANCADORA | | |
| | | | | | PRODUC. | BUFER | TRIM | FILAS | Kw - h/ tc | Kw - h/ tc | Kw - h/ tm |
| | | | | | Kg. | Kg. | Kg. | PRODUC. | | | |
| LIMO Y MARG ALT | 0 | | Rayadura por la uña | RO (0.25-1 MPa) | ≤ 100 | No cargar | No cargar | ≥ 4 | - | - | - |
| DOL, MAR (-)ALT | 1 | | Desmoronamiento con un golpe de martillo o rayadura de cuchilla | R1 (1 - 5 MPa) | ≤140 | No cargar | No cargar | = 4 | 9.3 | 7.2 | 6.9 |
| CONG, VULCN Y MARG ROJA | 2 | | Rayado con dificultad por la cuchilla y al golpe con la punta del martillo hace una hendidura | R2 (5 - 25 MPa) | = 180 | ≤ 80 | No cargar | = 2 | 10.2 | 7.5 | 8.7 |
| | | | | | = 180 | ≤ 80 | No cargar | = 3 | | | |
| | | | | | = 180 | ≤ 80 | ≤ 80 | = 4 | | | |
| CALZ Y DOL | 3 | | No puede ser rayado por la cuchilla y requiere un golpe del martillo para fracturarlo | R3 (25 - 50 MPa) | = 200 | ≤ 120 | ≤ 80 | = 2 | 10.9 | 10.2 | 10.0 |
| | | | | | = 220 | ≤ 120 | ≤ 80 | = 3 | | | |
| | | | | | = 220 | ≤ 120 | ≤ 80 | = 4 | | | |
| CALZ, DOL (FRESCA) | 4 | | Requiere más de dos golpes del martillo para fracturarlo | R4 (50 - 100 MPa) | = 260 | ≤ 160 | ≤ 100 | = 2 | 13.6 | 16.4 | 11.6 |
| | | | | | = 260 | ≤ 160 | ≤ 100 | = 3 | | | |
| | | | | | = 280 | ≤ 160 | ≤ 100 | = 4 | | | |
| INTR | 5 | | Requiere muchos golpes del martillo para fracturarlo | R5 (> 100 MPa) | = 300 | ≤ 200 | ≤ 120 | = 2 | 16.8 | 17.8 | 13.2 |
| | | | | | = 300 | ≤ 240 | ≤ 120 | = 3 | | | |
| | | | | | = 320 | ≤ 240 | ≤ 120 | = 4 | | | |
| * Biewnaski after 1976 | | | | | | | | | | | |
| *: Procedimiento: Perforación y voladura en zonas inestables del tajo | | | | | | | | | | | |
| Fuente: SOCIEDAD MINERA El Brocal Dpto de Geomecánica (2) | | | | | | | | | | | |

3.5.3. DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN

3.5.3.1. DUREZA D01: 0.25 – 5.0 MPa

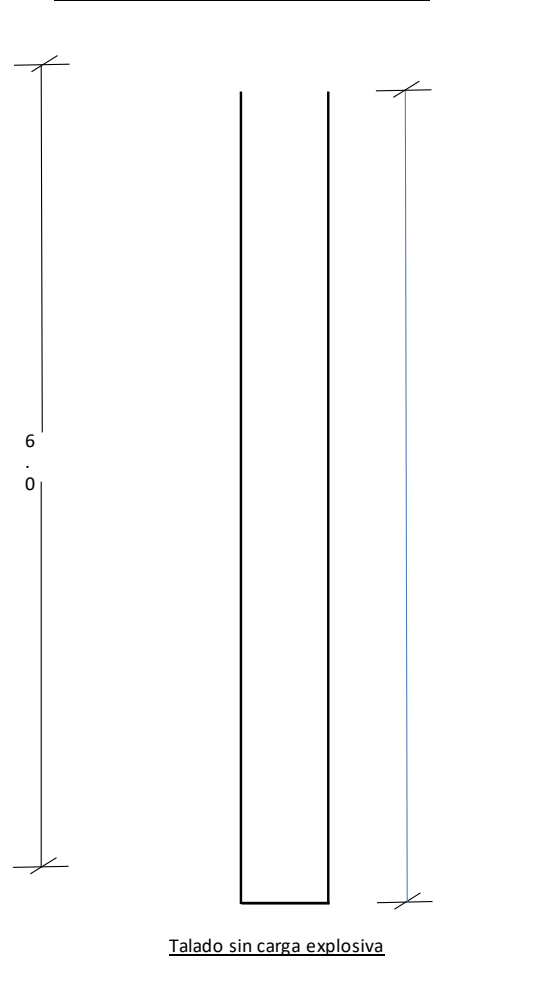


DISEÑO DE CARGA

Taladros amortiguados (AM)

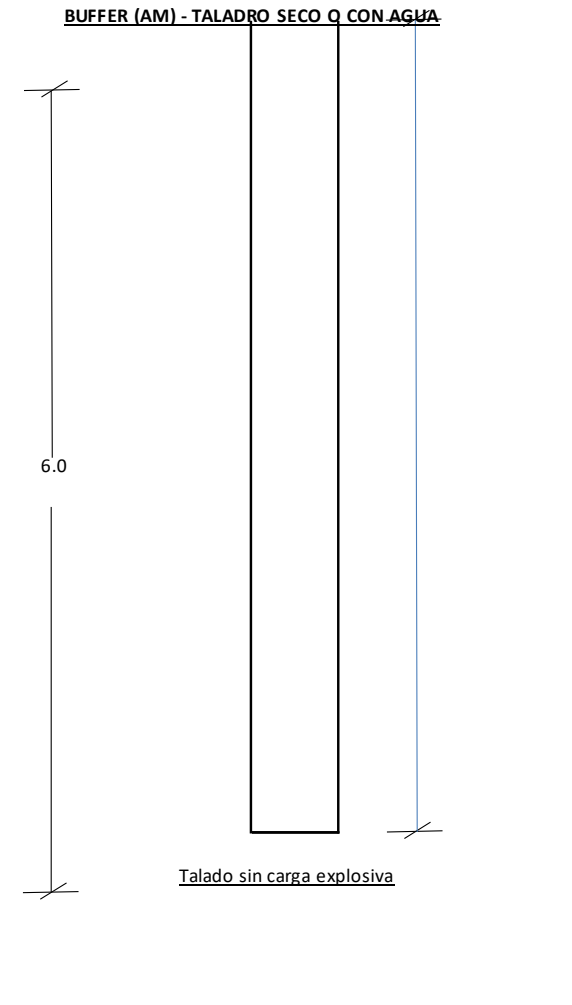
| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 3.50 | m. |
| Espaciamiento | 3.50 | m. |
| Sobreperforación | 0.00 | m. |
| Taco final | 6.5 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 0.0 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 180 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 74 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 0 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | | 0.00 Pza. |
| Factor de potencia | | 0.00 Kg/TM |
| Factor de Carga | | 0.00 Kg/M3 |

BUFFER (AM) - TALADRO SECO O CON AGUA



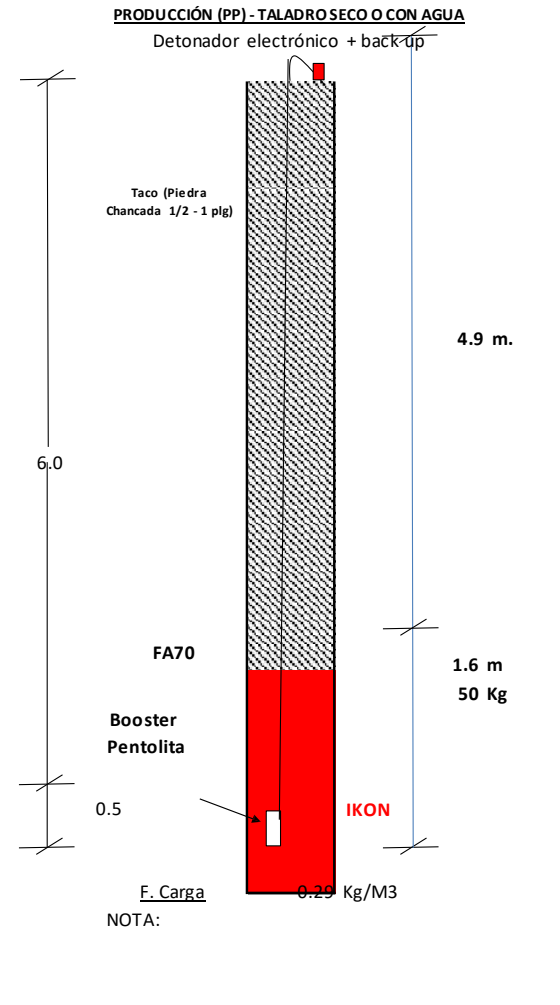
Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran el diseño de malla de perforación como los parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga para el diseño de carga explosiva.

| PARÁMETROS | | Und | | |
|----------------------------|--------|---------|------|-------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. | | |
| Altura de banco | 6.00 | m. | | |
| Burden | 3.50 | m. | | |
| Espaciamiento | 4.00 | m. | | |
| Sobreperforación | 0.00 | m. | | |
| Taco final | 6.5 | m. | | |
| Taco intermedio | 0.00 | m. | | |
| Altura carga de fondo | 0.0 | m | | |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. | | |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 | | |
| Toneladas por taladro | 206 | tn | | |
| Metros cúbicos por taladro | 84 | m3 | | |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 | | |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml | | |
| MEZCLA AP | | Kg | | |
| FA | 100 | COLUMNA | 0.00 | Kg |
| FA | 100 | FONDO | 0 | Kg |
| MEZCLA FONDO | | | | |
| Heavy Anfo | Kilos | | 0.00 | Kg |
| 0 | Metros | | 0.00 | m |
| Booster Pentolita | | | 0.00 | Pza. |
| Factor de potencia | | | 0.00 | Kg/TM |
| Factor de Carga | | | 0.00 | Kg/M3 |



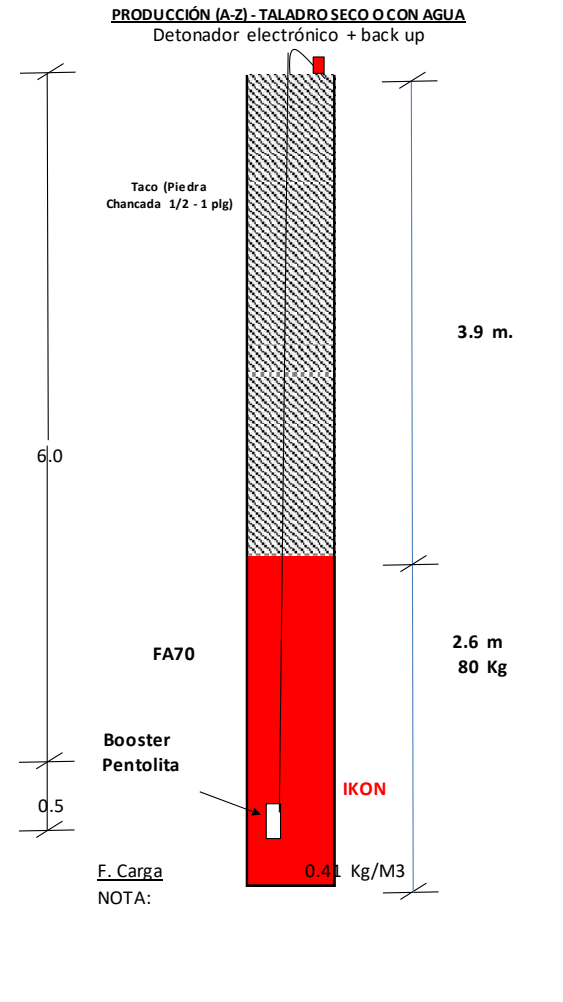
Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga mezcla AP.

| PARÁMETROS | | Und | | |
|----------------------------|--------|---------|------|-------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. | | |
| Altura de banco | 6.00 | m. | | |
| Burden | 5.00 | m. | | |
| Espaciamiento | 5.80 | m. | | |
| Sobreperforación | 0.50 | m. | | |
| Taco final | 4.9 | m. | | |
| Taco intermedio | 0.00 | m. | | |
| Altura carga de fondo | 1.6 | m | | |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. | | |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 | | |
| Toneladas por taladro | 426 | tn | | |
| Metros cúbicos por taladro | 174 | m3 | | |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 | | |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml | | |
| MEZCLA AP | | Kg | | |
| FA | 100 | COLUMNA | 0.00 | Kg |
| FA | 100 | FONDO | 50 | Kg |
| MEZCLA FONDO | | | | |
| Heavy Anfo | Kilos | | 0.00 | Kg |
| 0 | Metros | | 0.00 | m |
| Booster Pentolita | | | 1.00 | Pza. |
| Factor de potencia | | | 0.12 | Kg/TM |
| Factor de Carga | | | 0.29 | Kg/M3 |



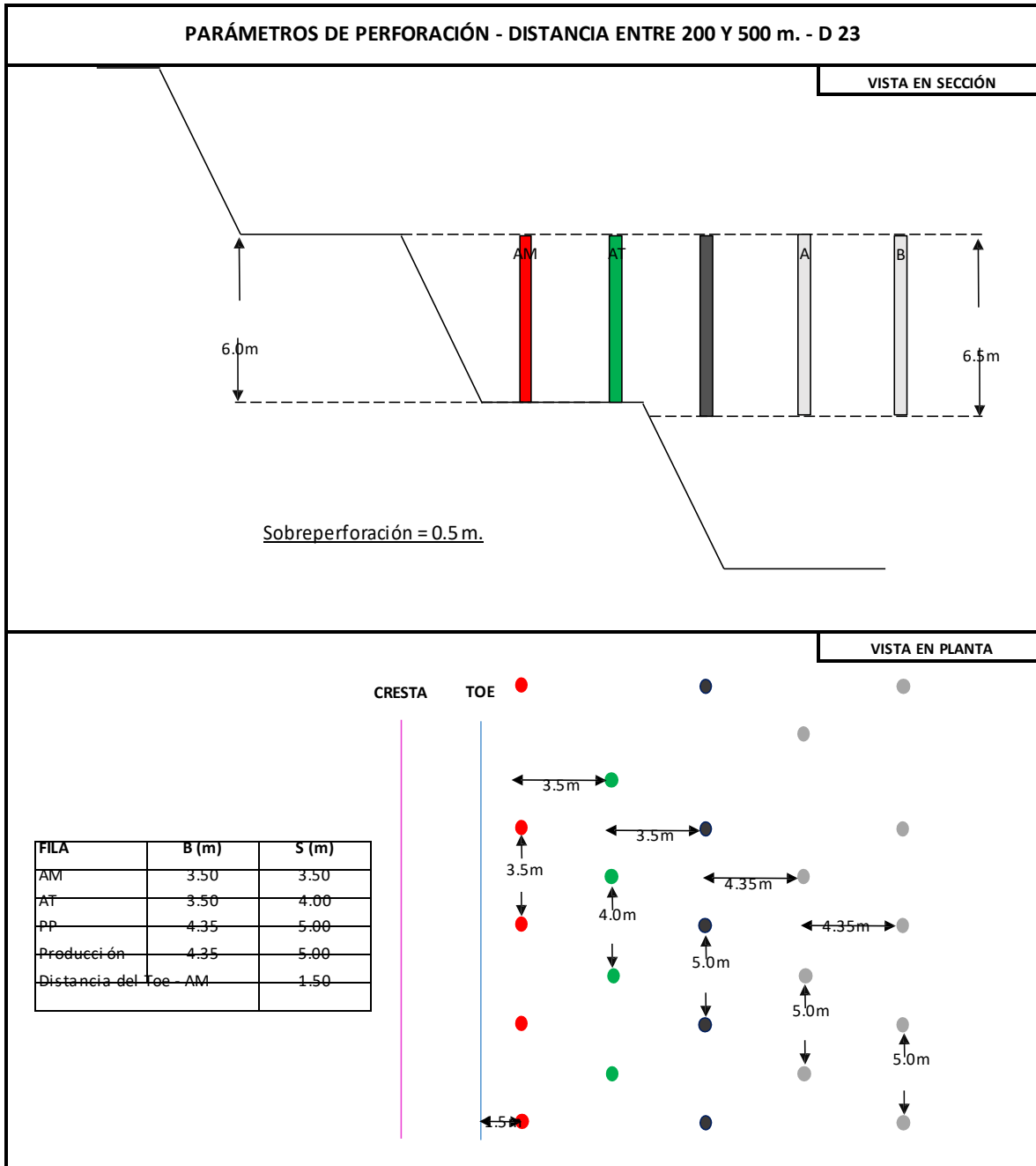
Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.29 kg/m3 con 1.6 metros con 50 kilogramos de mezcla AP.

| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 5.30 | m. |
| Espaciamiento | 6.10 | m. |
| Sobreperforación | 0.50 | m. |
| Taco final | 3.9 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 2.6 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 475 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 194 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 80 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | 1.00 | Pza. |
| Factor de potencia | 0.17 | Kg/TM |
| Factor de Carga | 0.41 | Kg/M3 |



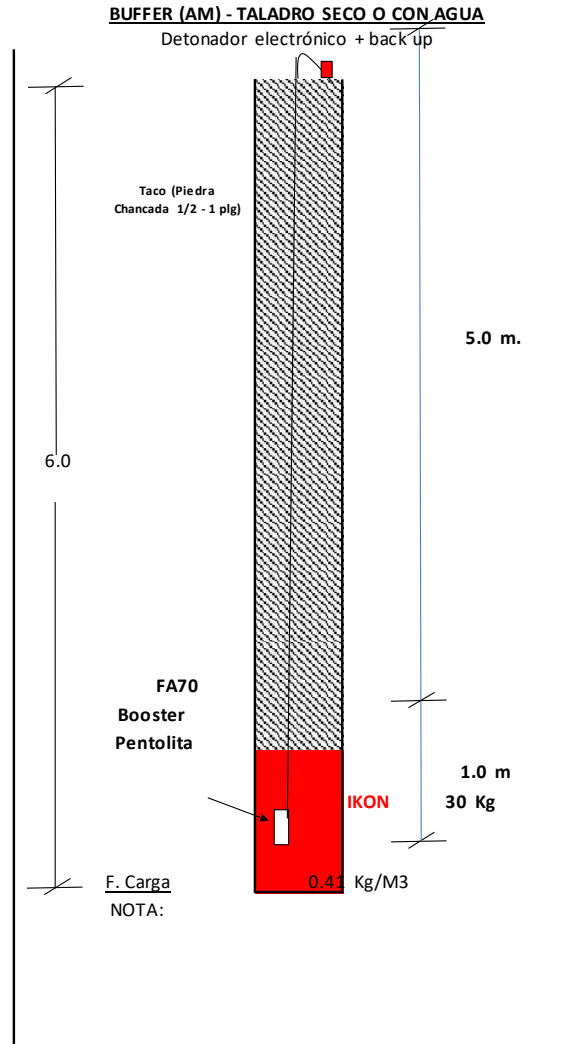
Interpretación: De los cuadros anterior se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.41 kg/m3 con 2.6 metros con 80 kilogramos de mezcla AP.

3.5.3.2. DUREZA D23: 5.0 – 50.0 MPa



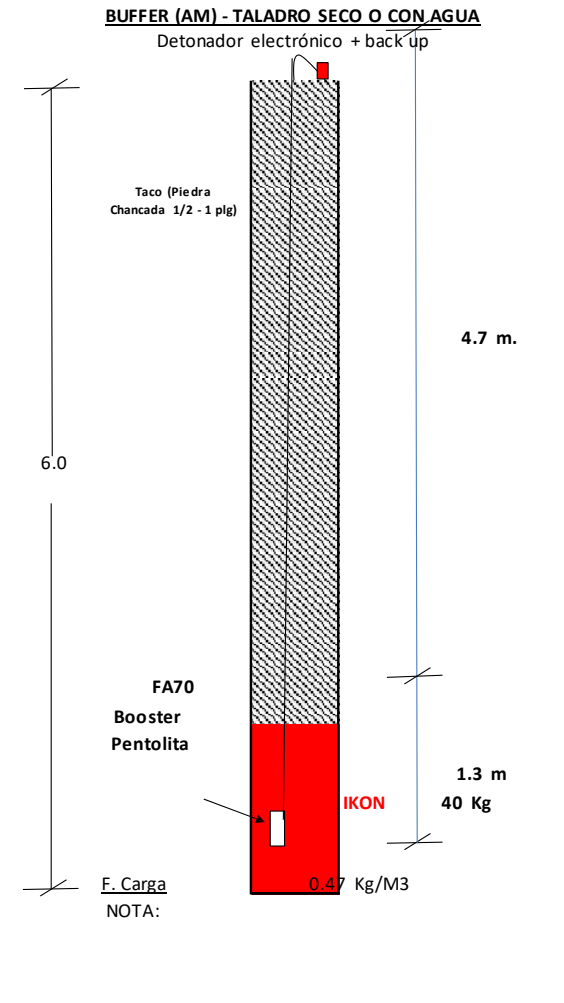
Taladros amortiguados (AM)

| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 3.50 | m. |
| Espaciamiento | 3.50 | m. |
| Sobreperforación | 0.00 | m. |
| Taco final | 5.0 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 1.0 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 180 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 74 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 30 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | 1.00 | Pza. |
| Factor de potencia | 0.17 | Kg/TM |
| Factor de Carga | 0.41 | Kg/M3 |



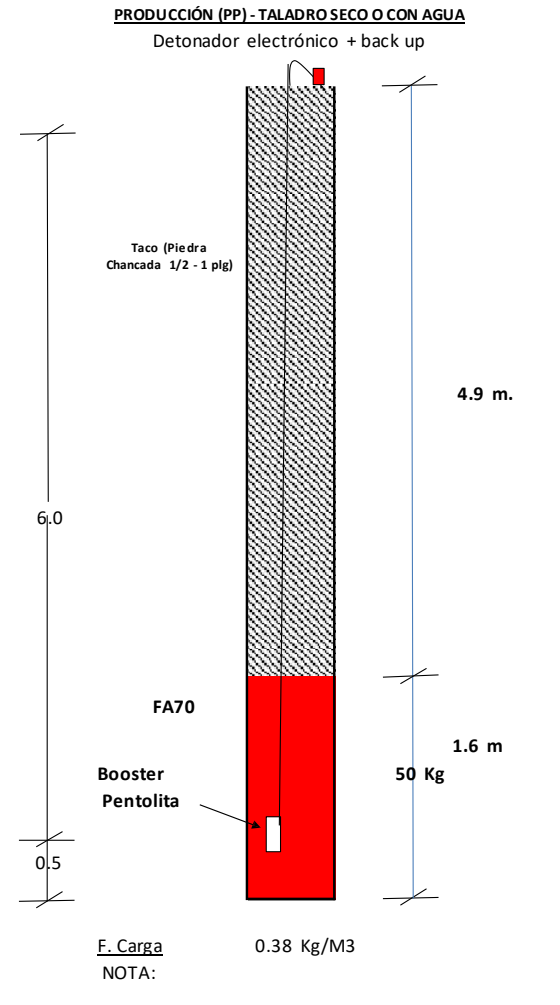
Interpretación: De los cuadros anteriores se detalla el diseño de malla de perforación parámetros de perforación - distancia entre 200 y 500 M. - D 23, también se muestran parámetros de perforación también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.41 kg/m3 con 1 metros con 30 kilogramos de mezcla AP.

| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 3.50 | m. |
| Espaciamento | 4.00 | m. |
| Sobreperforación | 0.00 | m. |
| Taco final | 4.7 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 1.3 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 206 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 84 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 40 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | | 1.00 Pza. |
| Factor de potencia | | 0.19 Kg/TM |
| Factor de Carga | | 0.47 Kg/M3 |



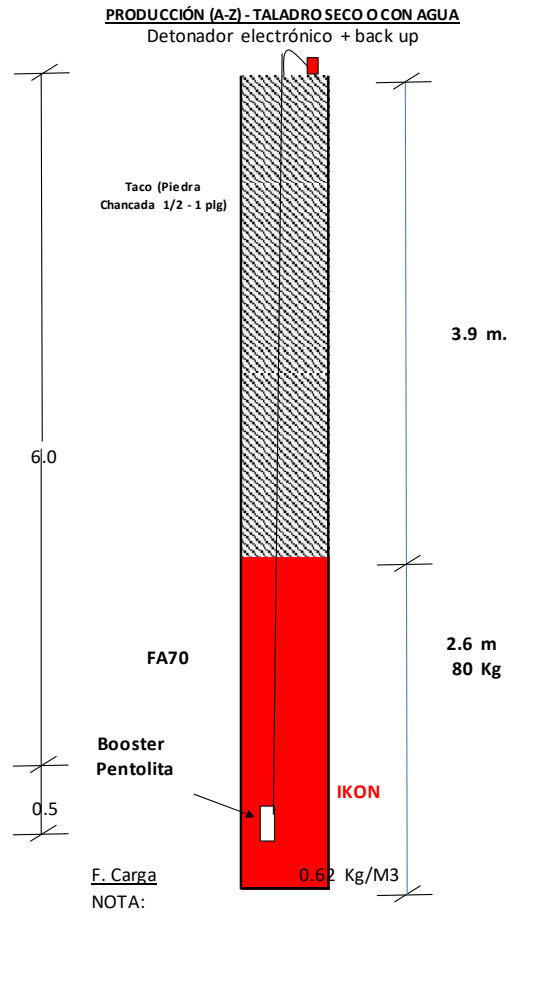
Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.47 kg/m³ con 1.3 metros con 40 kilogramos de mezcla AP.

| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 4.35 | m. |
| Espaciamento | 5.00 | m. |
| Sobreperforación | 0.50 | m. |
| Taco final | 4.9 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 1.6 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 319 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 131 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 50 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | | 1.00 Pza. |
| Factor de potencia | | 0.16 Kg/TM |
| Factor de Carga | | 0.38 Kg/M3 |



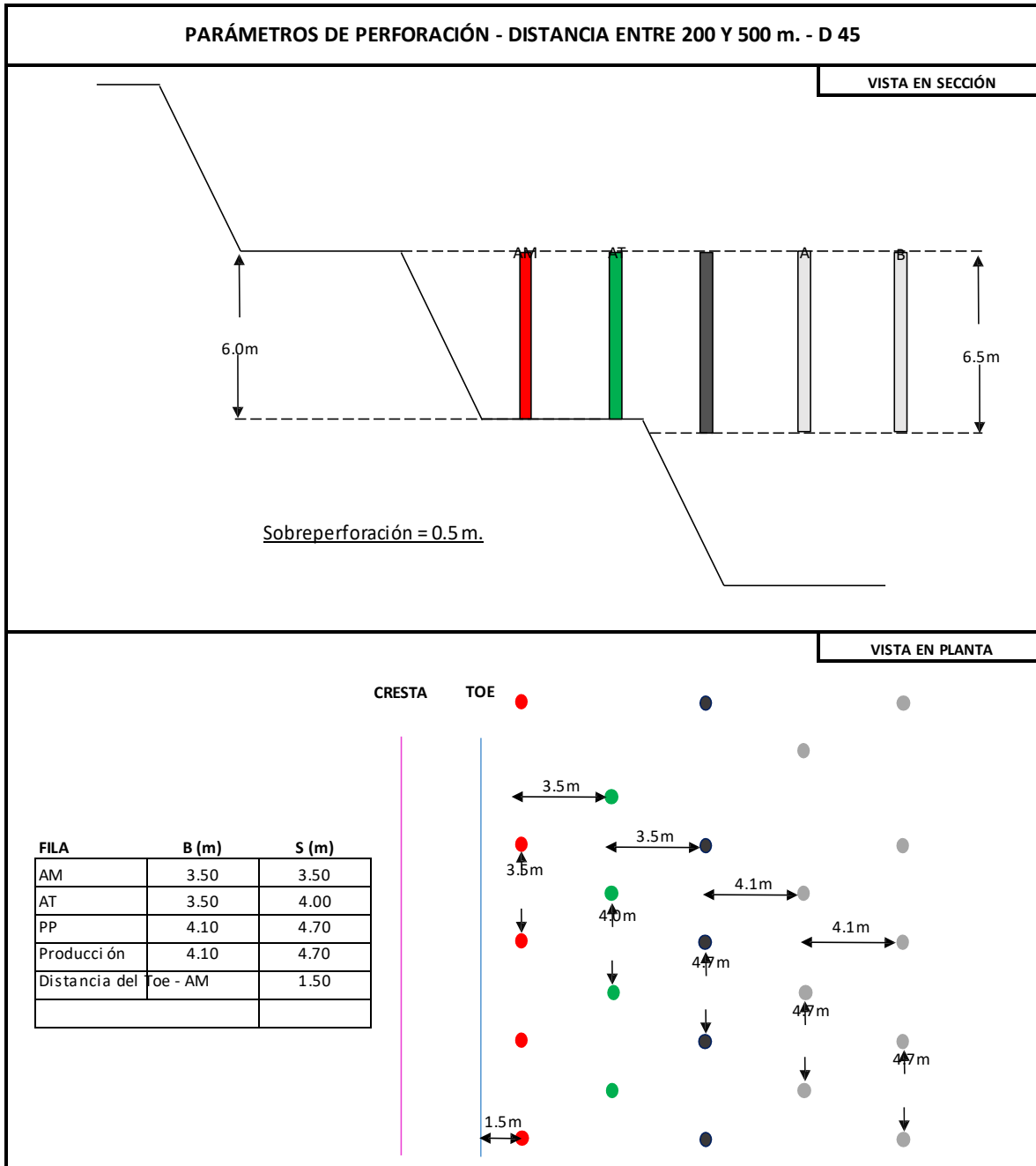
Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.38 kg/m3 con 1.6 metros con 50 kilogramos de mezcla AP.

| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 4.35 | m. |
| Espaciamento | 5.00 | m. |
| Sobreperforación | 0.50 | m. |
| Taco final | 3.9 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 2.6 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 319 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 131 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 80 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | | 1.00 Pza. |
| Factor de potencia | | 0.25 Kg/TM |
| Factor de Carga | | 0.62 Kg/M3 |



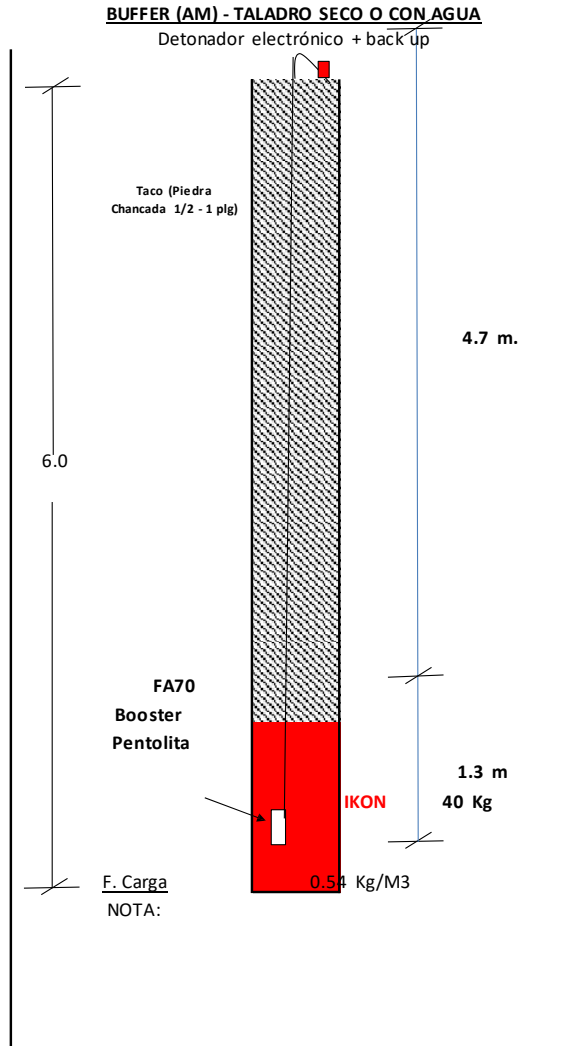
Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.62 kg/m3 con 2.6 metros con 80 kilogramos de mezcla AP.

3.5.3.3. DUREZA D45: 50 – 100 MPa



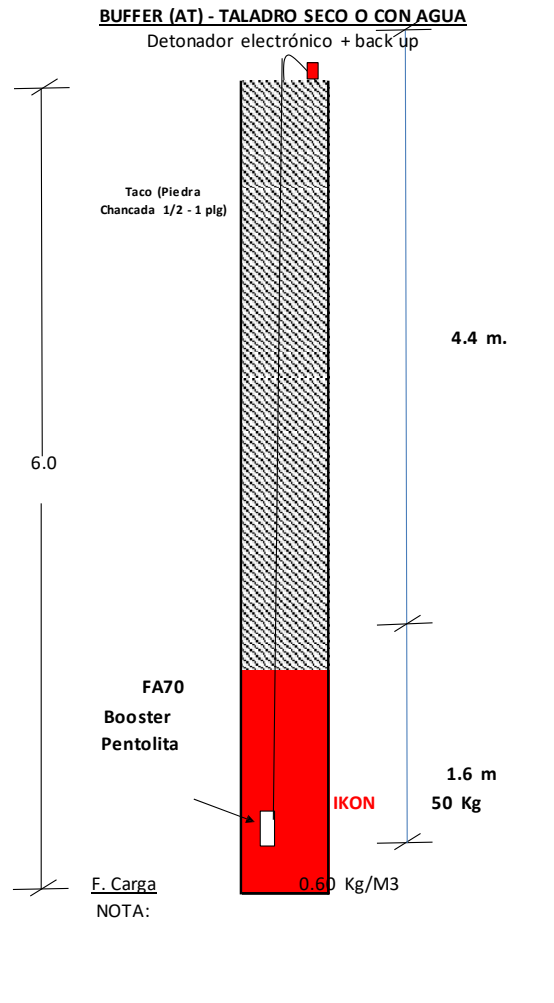
Taladros amortiguados (AM)

| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 3.50 | m. |
| Espaciamiento | 3.50 | m. |
| Sobreperforación | 0.00 | m. |
| Taco final | 4.7 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 1.3 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 180 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 74 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 40 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | 1.00 | Pza. |
| Factor de potencia | 0.22 | Kg/TM |
| Factor de Carga | 0.54 | Kg/M3 |



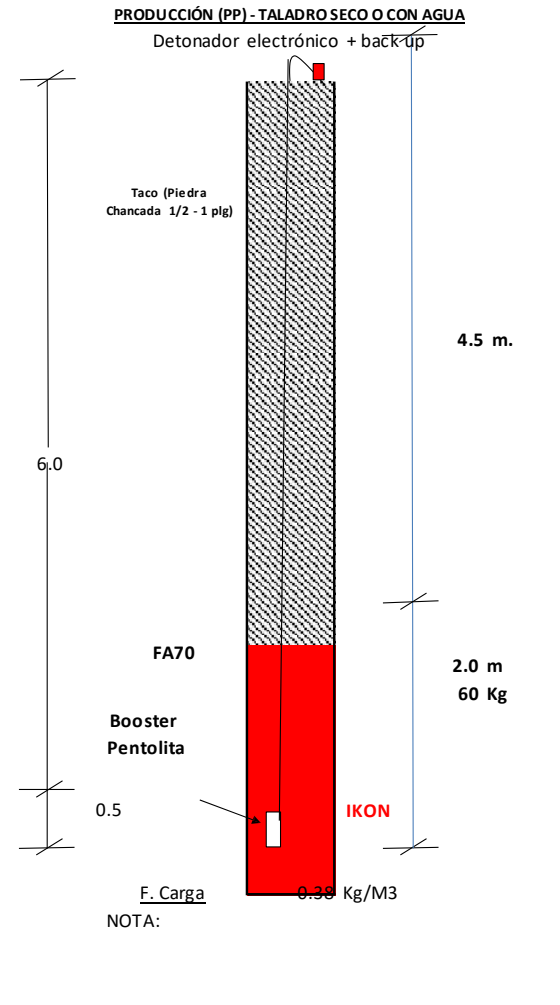
Interpretación: De los cuadros anteriores se detalla el diseño de malla de perforación para las distancias de 200 Y 500 metros. - D 45, también se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.54 kg/m3 con 1.3 metros con 40 kilogramos de mezcla AP.

| PARÁMETROS | | | Und |
|----------------------------|--------|---------|------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. | |
| Altura de banco | 6.00 | m. | |
| Burden | 3.50 | m. | |
| Espaciamento | 4.00 | m. | |
| Sobreperforación | 0.00 | m. | |
| Taco final | 4.4 | m. | |
| Taco intermedio | 0.00 | m. | |
| Altura carga de fondo | 1.6 | m | |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. | |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 | |
| Toneladas por taladro | 206 | tn | |
| Metros cúbicos por taladro | 84 | m3 | |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 | |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml | |
| MEZCLA AP | | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA | 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO | 50 Kg |
| MEZCLA FONDO | | | |
| Heavy Anfo | Kilos | | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | | 0.00 m |
| Booster Pentolita | | | 1.00 Pza. |
| Factor de potencia | | | 0.24 Kg/TM |
| Factor de Carga | | | 0.60 Kg/M3 |



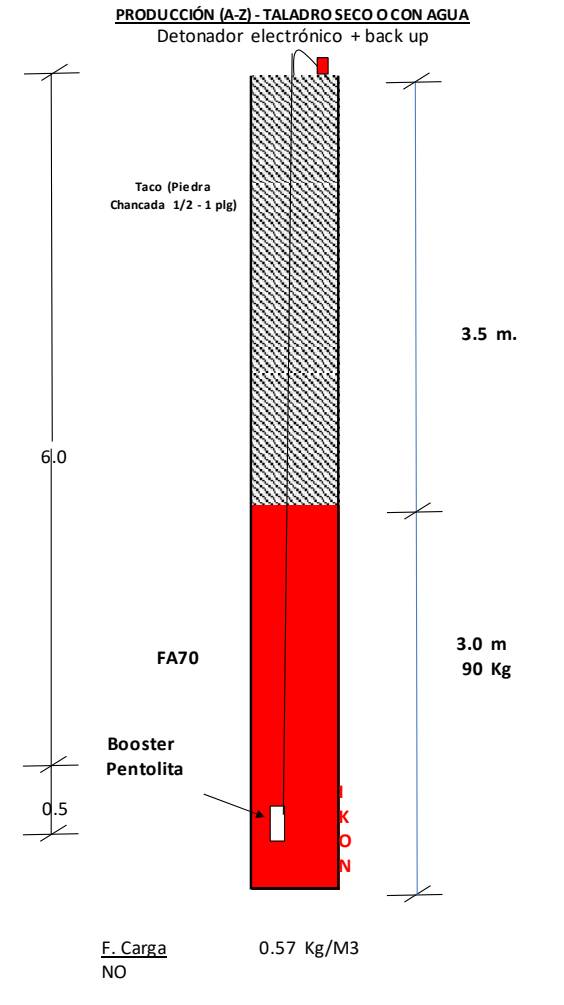
Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.60 kg/m3 con 1.6 metros con 50 kilogramos de mezcla AP.

| PARÁMETROS | | | Und |
|----------------------------|--------|---------|------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. | |
| Altura de banco | 6.00 | m. | |
| Burden | 4.80 | m. | |
| Espaciamento | 5.50 | m. | |
| Sobreperforación | 0.50 | m. | |
| Taco final | 4.5 | m. | |
| Taco intermedio | 0.00 | m. | |
| Altura carga de fondo | 2.0 | m | |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. | |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 | |
| Toneladas por taladro | 388 | tn | |
| Metros cúbicos por taladro | 158 | m3 | |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 | |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml | |
| MEZCLA AP | | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA | 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO | 60 Kg |
| MEZCLA FONDO | | | |
| Heavy Anfo | Kilos | | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | | 0.00 m |
| Booster Pentolita | | | 1.00 Pza. |
| Factor de potencia | | | 0.15 Kg/TM |
| Factor de Carga | | | 0.38 Kg/M3 |



Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.38 kg/m3 con 2 metros con 60 kilogramos de mezcla AP.

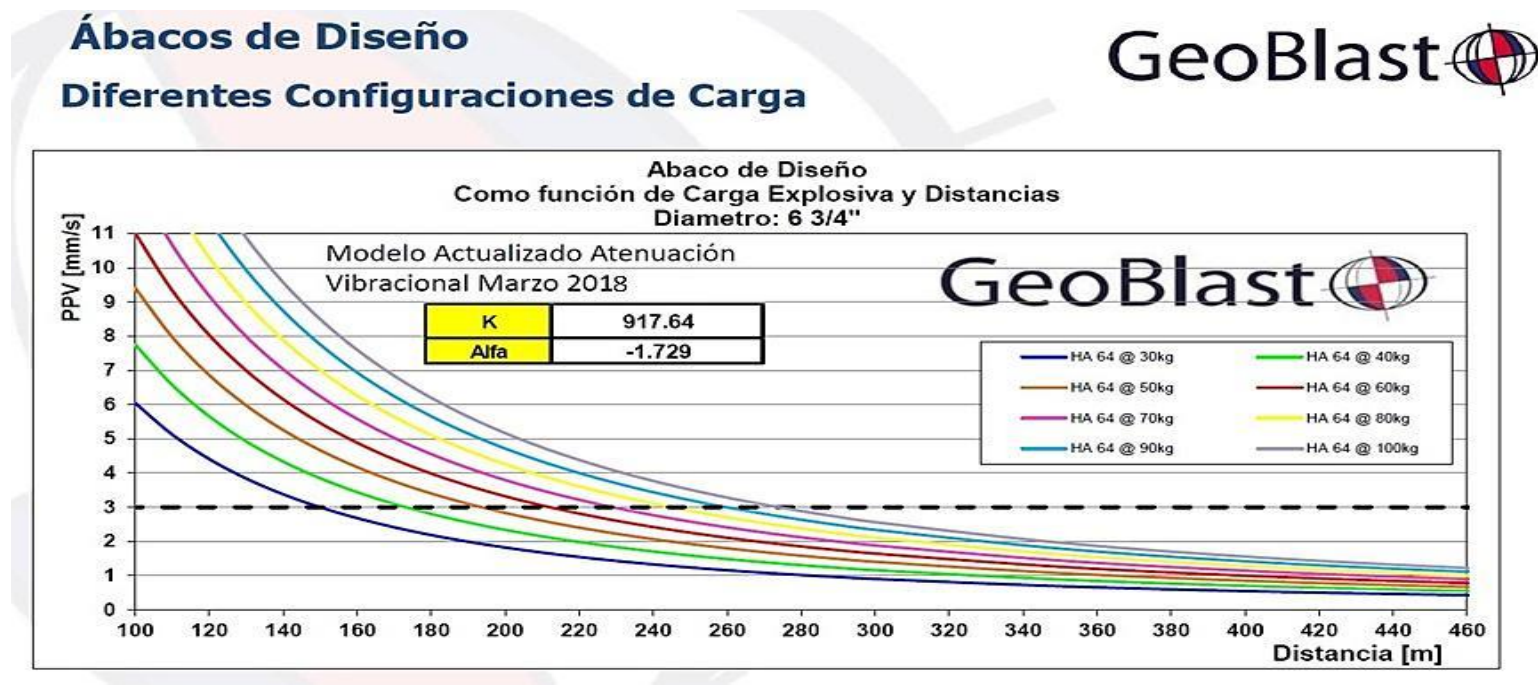
| PARÁMETROS | | Und |
|----------------------------|--------|-----------------|
| Diámetro de perforación | 6.75 | Pulg. |
| Altura de banco | 6.00 | m. |
| Burden | 4.80 | m. |
| Espaciamiento | 5.50 | m. |
| Sobreperforación | 0.50 | m. |
| Taco final | 3.5 | m. |
| Taco intermedio | 0.00 | m. |
| Altura carga de fondo | 3.0 | m |
| Altura carga de columna | 0.00 | m. |
| Densidad del material | 2.45 | tn/m3 |
| Toneladas por taladro | 388 | tn |
| Metros cúbicos por taladro | 158 | m3 |
| Densidad de Mezcla | 1.32 | tn/m3 |
| Carga Lineal mezcla | 30.49 | kg/ml |
| MEZCLA AP | | Kg |
| FA | 100 | COLUMNA 0.00 Kg |
| FA | 100 | FONDO 90 Kg |
| MEZCLA FONDO | | |
| Heavy Anfo | Kilos | 0.00 Kg |
| 0 | Metros | 0.00 m |
| Booster Pentolita | | 1.00 Pza. |
| Factor de potencia | | 0.23 Kg/TM |
| Factor de Carga | | 0.57 Kg/M3 |



Interpretación: De los cuadros anteriores se muestran parámetros de perforación, también figuras de los diseños de los taladros con factor de carga de 0.57 kg/m3 con 3 metros con 90 kilogramos de mezcla AP.

3.5.4. ÁBACO DE DISEÑO – INICIACIÓN ELECTRÓNICA

Figura 22: Abaco de diseño de diferentes configuraciones de carga



Interpretación:

A una distancia a la comunidad entre 200 y 500 metros, se tiene que emplear detonadores electrónicos, debido a que esto contribuye a reducir la carga operante. Geotecnia es el área responsable de indicar en qué zonas no se va a realizar el carguío de taladros y, asimismo, el número de filas (paralelo al talud) que no se van a cargar.

Según el tipo de roca, presencia de fallas, buzamiento a favor del talud, etc. (recomendaciones de geotecnia), el área perforación y voladura va evaluar la aplicación de una o dos filas de taladros buffer.

3.6. REPORTE DE VOLADURA ELECTRÓNICA I-KON III PROYECTOS P15 P16 P17, BANCO 4336 TORTUGAS

La empresa Orica Mining Services Perú S.A es la encargada de realizar los estudios de voladura en la empresa, el carguío de las voladuras electrónicas con el sistema i-kon III.

SMEB propone a través de Asistencia Técnica Orica el diseño de voladura con las siguientes características:

- Tiempo en taladros de producción 57 ms.
- Tiempo al último taladro de producción 57 ms.
- Tiempo en la primera fila de taladros amortiguados (AM) 57 ms.
- Hubo taladros cercanos con ID(AM01-AM02), (G05-H03), (G06-H04), (G09-H07).
- Se colocó mismo tiempo entre taladros en coordinación con el Blaster de SMEB.

El personal EBS de Orica, realizó el proceso de secuenciamiento, amarre y programación del sistema electrónico i-kon III.

- Se realizó una voladura de 316 detonadores i-kon III.
- Se realizó una voladura de 316 taladros en los Proyectos P15, P16 y P17, Banco 4336:
- Cantidad de taladros de producción: 309.
- Cantidad de taladros en primera fila de amortiguados (AM): 3.
- Cantidad de taladros en segunda fila de amortiguados (AT): 4.
- No hubo Back Up.

La iniciación de la voladura fue a la 1:31 pm, estando dentro del horario de voladura.

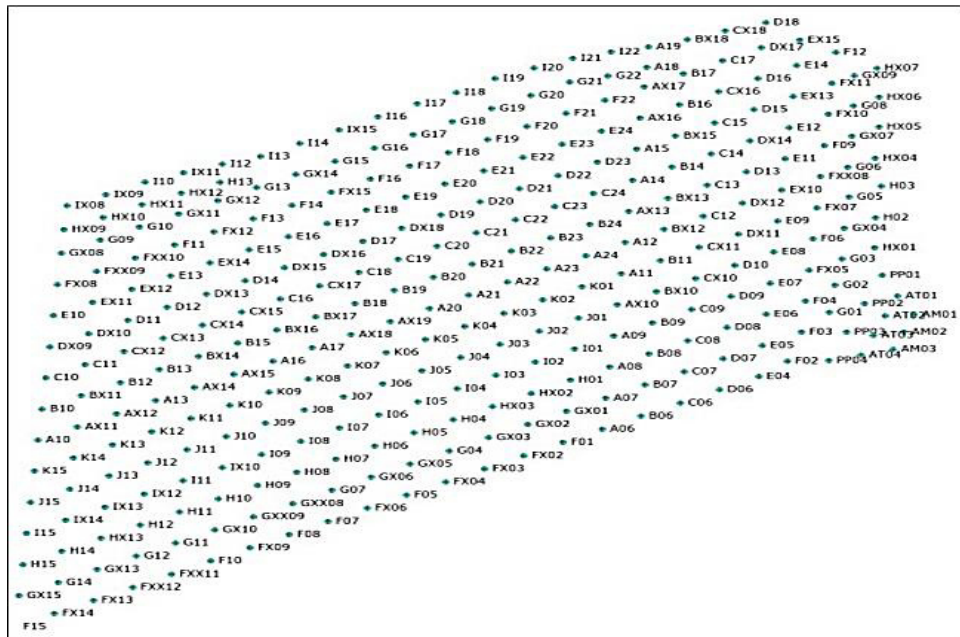
3.6.1. DATOS DE LA VOLADURA P15, P16; P17 DEL BANCO 4336

Tabla 9. Datos de disparo

| Datos de Disparo | |
|--|---|
| Disparo | P15 P16 P17 / Banco 4336 |
| Diámetro (pulg.) | 6 3/4" |
| Longitud de taladro (m) | 6.5 |
| Malla | Producción |
| Burden (m) | 3.5 - 5.02 m |
| Espaciamiento(m) | 3.50 – 4.00 - 5.80 m |
| Cantidad de taladros Primera fila Amortiguados (AM) | 3 |
| Cantidad de taladros Segunda fila Amortiguados (AT) | 4 |
| Cantidad de taladros de Producción | 309 |
| Cantidad Total de taladros | 316 |
| I-KON III disparados en malla | 316 |
| Cantidad de Back Up | 00 |
| Consumo de i-kon III | 316 |
| Tiempo de retardo (ms) | 57 ms Entre taladros |
| Observaciones | Hubo taladros cercanos con ID(AM01-AM02), (G05- H03), (G06-H04), (G09-H07). Se coloco mismo tiempo entre taladros en coordinación con el Blaster de |

Diseño de malla de perforación P15 P16 P17, banco 4336.

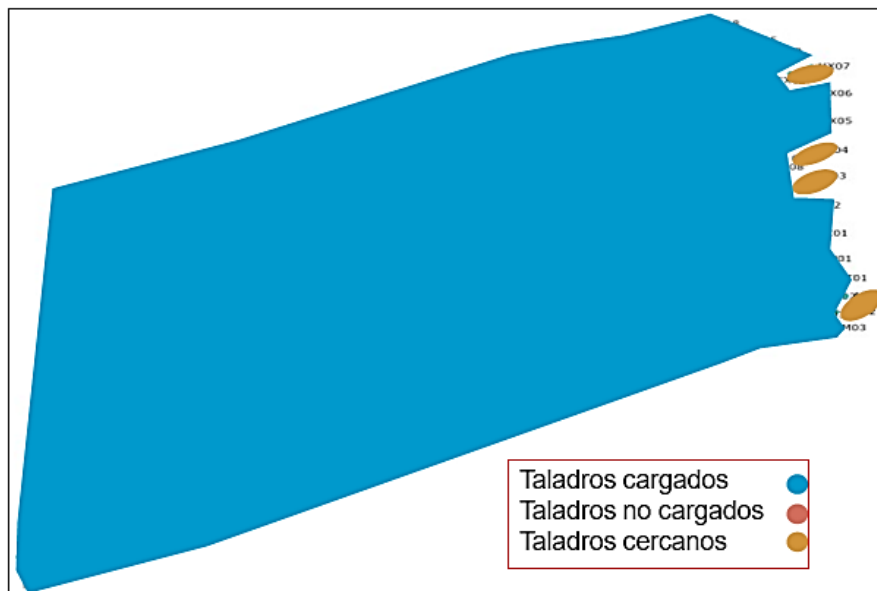
Figura 23: Diseño de malla de perforación P15 P16 P17, banco 4336.



Fuente Orca Mining Services Perú S.A (7)

Levantamiento de malla de voladura P15 P16 P17, banco 4336.

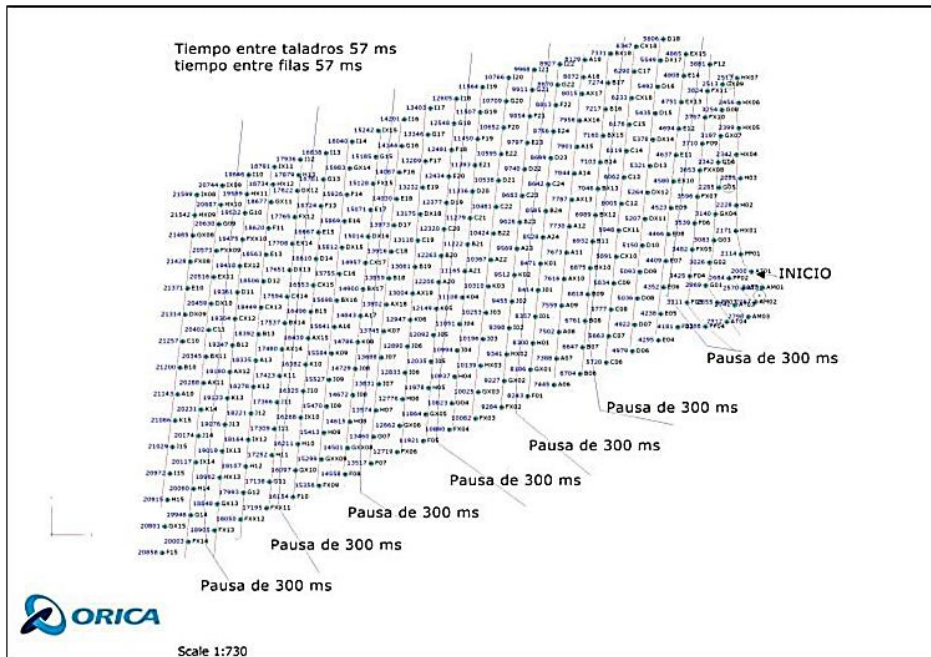
Figura 24: Levantamiento de malla de voladura P15 P16 P17, banco 4336.



Fuente Orca Mining Services Perú S.A.(7)

Recomendación de amarre por (Asistencia Técnica Orca)

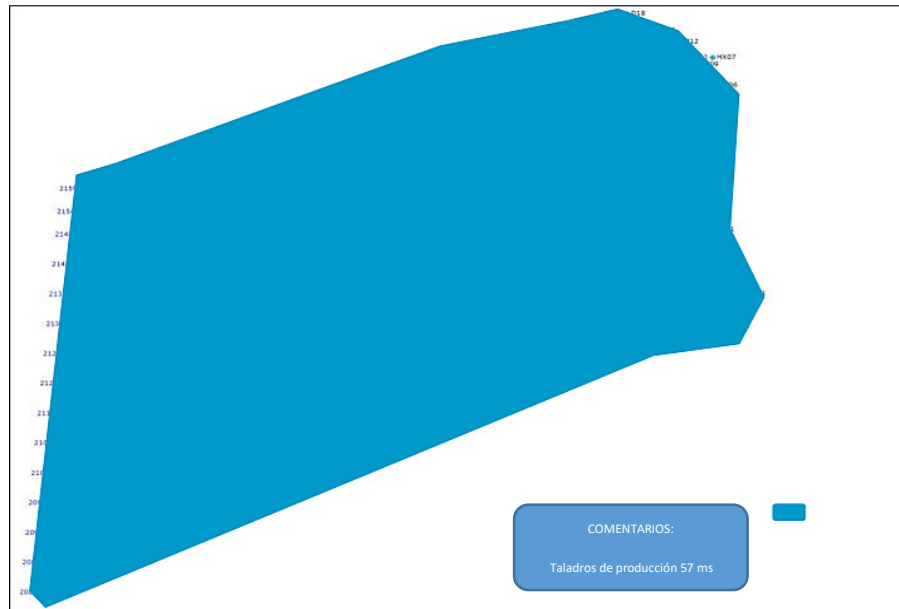
Figura 25: Recomendación de amarre por (asistencia técnica orica)



Fuente Orca Mining Services Perú S.A.(7)

Secuencia de iniciación P15 P16 P17, banco 4336.

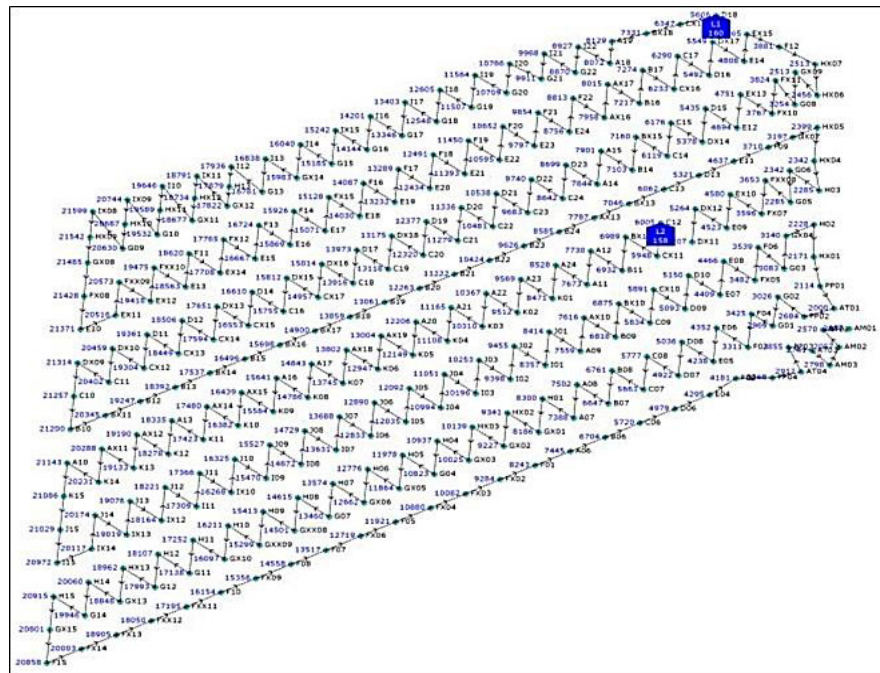
Figura 26: Secuencia de iniciación P15 P16 P17, banco 4336.



Fuente Orca Mining Services Perú S.A.(7)

Secuencia de amarre P15 P16 P17, banco 4336.

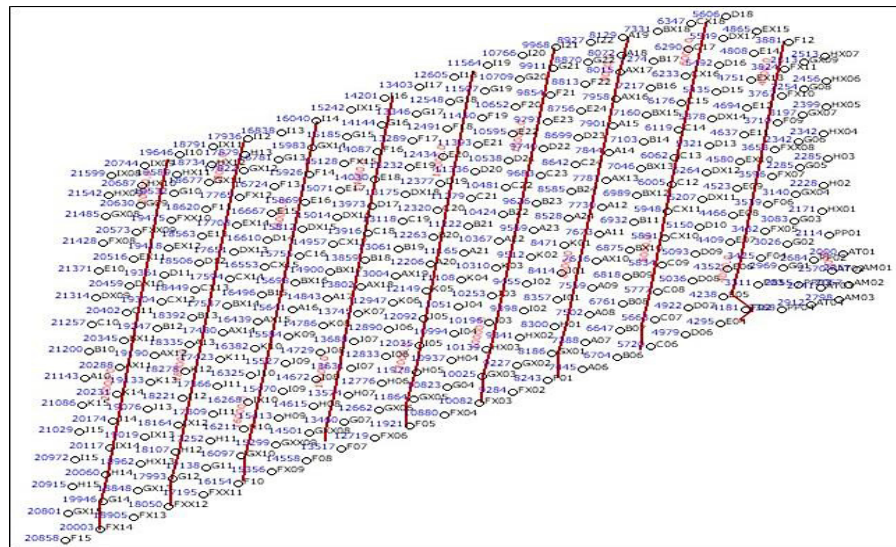
Figura 27: Secuencia de amarre P15 P16 P17, banco 4336.



Fuente Orica Mining Services Perú S.A.(7)

Líneas de isotiempo P15 P16 P17, banco 4336.

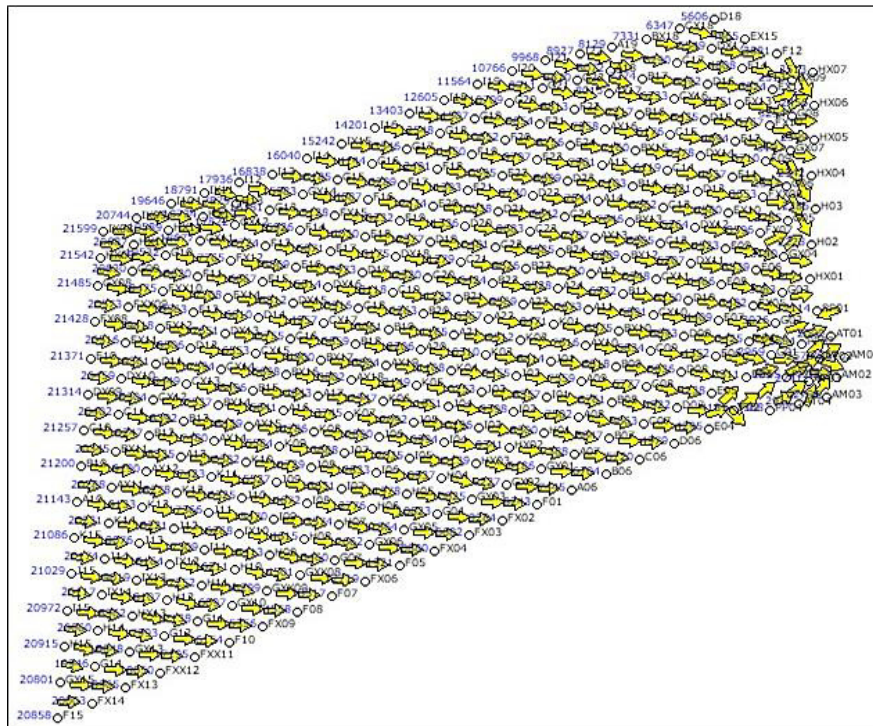
Figura 28: Líneas de isotiempo P15 P16 P17, banco 4336.



Fuente Orica Mining Services Perú S.A.(7)

Líneas de movimiento de material P15 P16 P17, banco 4336.


Figura 29: Líneas de movimiento de material P15 P16 P17, banco 4336.



Fuente Orica Mining Services Perú S.A.(7)

Reporte de blaster 2400r P15 P16 P17, banco 4336.

Figura 30: Reporte de Blaster 2400r P15 P16 P17, Banco 4336.

|  | | Printer Summary | |
|---|---------------------------------|-------------------|-----------|
| Mine Site | SMEB | Blast Date | 1/07/2019 |
| Blast Location | Tortugas Banco 4336 P15 P16 P17 | Blast Time | 14:38 |
| SHOTPlus file reference Tortugas Banco 4336.spf (Rev. 84) SHOTPlus title Started upload Blast Report i-konIII BLASTER 2400R SN: 00087 Version: 5.03a Radio communication Operation Frequency: 468.50000 MHz Power: 1000 mWatt RX/TX: 100 % Abort always Fired: 01.Jul.19 pm 2:38:59 Loggers: 2 Total dets: 316 <div style="border: 2px solid red; padding: 2px;"> LOGGER ID: 1 DETS: 159 ERRORS: 0 Current: 1.0 mA SN: 003739 Version: 05.22k LOGGER ID: 2 DETS: 157 ERRORS: 0 Current: 1.2 mA SN: 000701 Version: 05.22k </div> by ORICA Finished upload | | | |

Fuente Orica Mining Services Perú S.A.

Interpretación: De las figuras mostradas anteriormente se tiene la siguiente interpretación:

- La voladura de los Proyectos P15 P16 y P17, Banco 4336. Se realizó con las siguientes características:
- Se tuvo 100% de comunicación de los equipos inalámbricos i-kon III.(iniciación electrónico)
- 316 detonadores i-kon III en la malla de voladura.
- No se presentó Back Up y se eliminan tiros cortados y quemados.
- Se disparó un total de 316 Taladros.
- Cantidad de taladros de producción: 309
- Cantidad de taladros en primera fila de amortiguados (AM): 3.
- Cantidad de taladros en segunda fila de amortiguados (AT): 4.
- Se cumplió con los estándares y procedimientos de SMEB y Orica.

El diseño de secuenciamiento fue realizado por Asistencia Técnica Orica con los siguientes tiempos:

- Tiempo en taladros de producción 57 ms.
- Tiempo al último taladro de producción 57 ms.
- Tiempo en la primera fila de taladros amortiguados (AM) 57 ms.

Hubo taladros cercanos con ID(AM01-AM02), (G05-H03), (G06-H04), (G09-H07). Se colocó mismo tiempo entre taladros en coordinación con el Blaster de SMEB.

La voladura se realizó aproximadamente a las 1:31 pm.

3.7. PRUEBAS DE CAMPO DEL EXPLOSIVO EMULSIÓN FORTIS ADVANTAGE 100 GASIFICADA.

Es una emulsión gasificable, que se transporta y almacena como producto no explosivo.

Antes de cargar en los taladros se sensibiliza mediante una solución de Nitrito de Sodio, generando burbujas de nitrógeno dentro la masa de la emulsión y produciendo una mezcla explosiva de menor densidad y mayor velocidad que los explosivos tradicionales.

Es un producto resistente al agua y muy energético.

Figura 31: Fortis Advantage 100



Interpretación: en la figura se muestra la toma de muestra del fortis advange 100 sensibilizada mediante una solución de Nitrito de Sodio.

3.7.1. COMPONENTES EMULSIÓN FORTIS ADVANTAGE 100 GASIFICADA

a. Emulsion Fortis advantage 100 gasificada

Tabla 10. Propiedades del Fortis Advantage

| Descripción | Estándar | Resultado |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------|
| Estado físico | Fluido viscoso | OK |
| apariencia | Masa fluida color beige claro | OK |
| Naturaleza química | Agua en aceite | OK |
| Resistencia al agua | Excelente | OK |
| Densidad (g/cm3) | 1.30 – 1.35 | 1.33 |
| Viscosidad sp 7 a 20 rpm (cP) | 23000 – 43000 | 33000 |
| Temperatura (°c) | 25 a 55 maximo | 33.2 |
| Ph | 3 - 7 | 5 |

En la tabla se muestra las propiedades del fortis advantage 100 gasificada

Figura 32: Muestra de explosivo Fortis Advantage (emulsión)



b. Solución de Nitrito de Sodio

La solución de Nitrito de Sodio (SNS), se prepara disolviendo el Nitrito de Sodio en agua.

La SNS es el sensibilizador, en contacto con la emulsión fortis advantage, se producirá una reacción química formando burbujas de nitrógeno sensibilizando al fortis advantage.

Figura 33: Secuencia de la solución de la emulsión fortis advantage 100 Gasificada.



En la figura se muestra la secuencia de la solución de la emulsion fortis advantage 100 gasificada


3.7.2. TIPOS DE FORTIS ADVANTAGE

Tabla 11. Tipos de fortis advantage al mezclarse con ANFO.

| Tipos de Explosivos | Energía Efectiva en Peso |
|----------------------|--------------------------|
| Fortan Advantage 20 | 104 - 111 |
| Fortan Advantage 30 | 108 - 115 |
| Fortan Advantage 40 | 111 - 118 |
| Fortan Advantage 50 | 113 - 120 |
| Fortis Advantage 65 | 109 - 114 |
| Fortis Advantage 70 | 107 - 111 |
| Fortis Advantage 100 | 97 - 100 |

De la tabla La emulsión utilizada es la fortis advantage 100 pura gasificada

Tabla 12. Propiedades del fortis advantage 100

| | | | |
|--------------------------------------|----------------------|---------|---|
| Densidad Fortis Advantage | [1.32 - 1.35] | gr/cc |  |
| Densidad Fortis Advantage 100 | [0.90 - 1.20] | gr/cc | |
| Viscosidad sp 7 a 20 rpm | 23000 - 43000 | cp | |
| Resistente al Agua | Excelente | | |
| Energía Efectiva en Peso | 97 - 100 | % | |
| Energía | 774 | Kcal/kg | |
| Diametro Critico | 4.5 | pulg | |
| VOD (6 1/8 pulg) | 4800 - 5500 | m/s | |
| Tiempo de Espera en el Taladro (max) | 7 | días | |
| Sistema de Carguío | Vaciable - Bombeable | | |

Burbujas de nitrógeno (hot point)

Del cuadro se muestra las propiedades del explosivo como también en la figura al lado las burbujas de nitrógeno que presenta.

3.7.3. EQUIPO DE CARGUÍO DE EXPLOSIVO CAMIÓN PROBLAST


Sistema Tread Unibody de Tolvas Convertibles

Figura 34: Camión problast



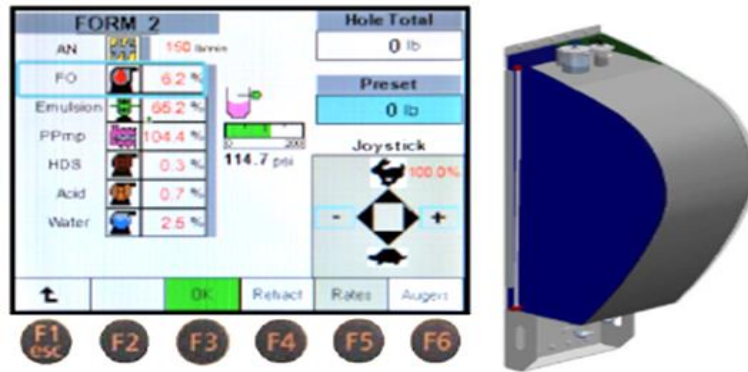
En la figura anterior se muestra el camión problast para el carguío del explosivo con un sistema de tolvas convertibles.

Figura 35: Capacidad de solución de nitrito de sodio: 275 litros

| Configuración | Tank 4 | Tank 3 | Tank 2 | Tank 1 |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1  | Nitrato de Amonio 3005.3 | Nitrato de Amonio 3005.3 | Nitrato de Amonio 6010.5 | Nitrato de Amonio 3005.3 |
| 2  | Nitrato de Amonio 3005.3 | Emulsión 5097.6 | Nitrato de Amonio 6010.5 | Nitrato de Amonio 3005.3 |
| 3  | Nitrato de Amonio 3005.3 | Nitrato de Amonio 3005.3 | Emulsión 10195.1 | Nitrato de Amonio 3005.3 |
| 4  | Nitrato de Amonio 3005.3 | Emulsión 5097.6 | Emulsión 10195.1 | Nitrato de Amonio 3005.3 |
| 5  | Nitrato de Amonio | Emulsión 5097.6 | Emulsión 10195.1 | Nitrato de Amonio |

Las configuraciones de capacidades de carguío de explosivos del camión son programadas en el tablero del camión.

Figura 36: Módulo Electrónico para el ingreso de fórmulas



Se controla la dosificación del explosivo lo cual ayuda más a la eficiencia en la mezcla explosiva.

3.7.4. CONTROL DE CALIDAD



Pruebas de Laboratorio

Para la muestra 1 se tiene en el siguiente cuadro las pruebas de gabinete.

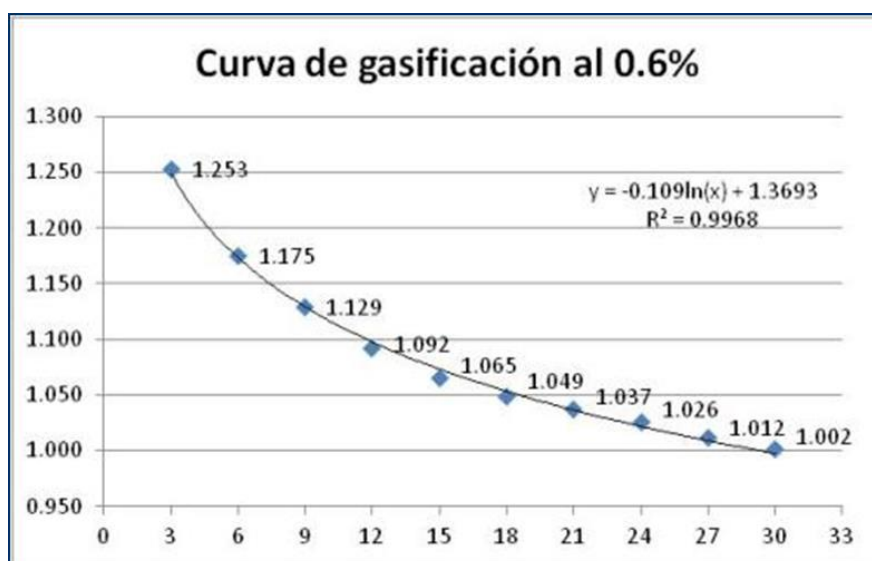
Tabla 13. Pruebas En Gabinete: Fortis Advantage (muestra 1)

| | | | |
|------------------|-------------------------|-------|----|
| Muestra 1 | T° Emulsión | 16.1 | °C |
| | Peso vaso Muestra | 146.6 | g |
| | Volumen vaso Muestra | 236.8 | ml |
| | Porcentaje de inyección | 0.6 | % |

| Tiempo (min) | Peso Final (g) | Densidad (g/cc) |
|--------------|----------------|-----------------|
| 0 | 455.6 | 1.305 |
| 3 | 443.3 | 1.253 |
| 6 | 424.9 | 1.175 |
| 9 | 413.95 | 1.129 |
| 12 | 405.1 | 1.092 |
| 15 | 398.9 | 1.065 |
| 18 | 394.95 | 1.049 |
| 21 | 392.2 | 1.037 |
| 24 | 389.5 | 1.026 |
| 27 | 386.3 | 1.012 |
| 30 | 383.9 | 1.002 |

De la tabla respectivo se presenta en la siguiente curva de gasificación al 0.6% de una concentración: 10 % Inyección: 0.6 %

Figura 37: De curva de gasificación al 0.6%



Fuente: propia

Para la muestra 2 se tiene en el siguiente cuadro las pruebas de gabinete.

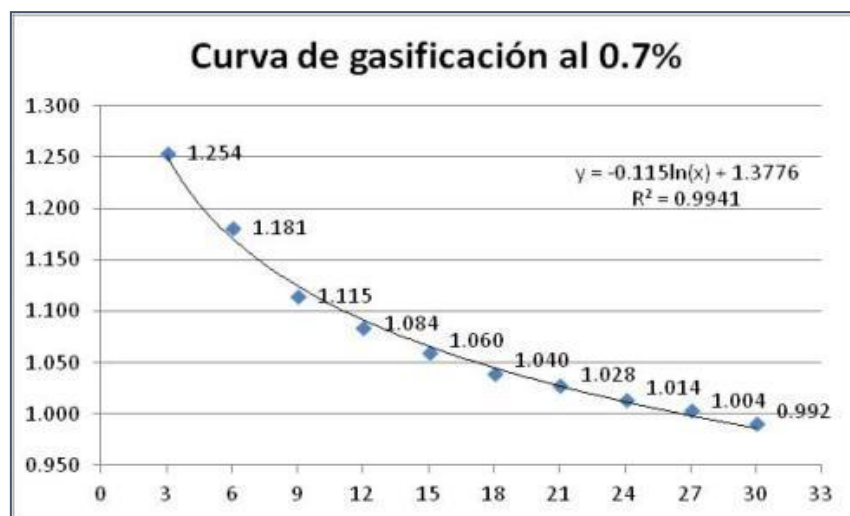
Tabla 14. Pruebas en gabinete (muestra 2)

| | | | |
|------------------|-------------------------|-------|----|
| Muestra 2 | T° Emulsión | 16.1 | °C |
| | Peso vaso Muestra | 146.6 | g |
| | Volumen vaso Muestra | 236.8 | ml |
| | Porcentaje de inyección | 0.7 | % |

| Tiempo (min) | Peso Final (g) | Densidad (g/cc) |
|--------------|----------------|-----------------|
| 0 | 459.9 | 1.323 |
| 3 | 443.6 | 1.254 |
| 6 | 426.35 | 1.181 |
| 9 | 410.75 | 1.115 |
| 12 | 403.3 | 1.084 |
| 15 | 397.7 | 1.060 |
| 18 | 392.8 | 1.040 |
| 21 | 390 | 1.028 |
| 24 | 386.8 | 1.014 |
| 27 | 384.3 | 1.004 |
| 30 | 381.5 | 0.992 |

Del cuadro respectivo se presenta en la siguiente curva de gasificación al 0.7% de una concentración: 10 % Inyección: 0.7 %

Figura 38: De curva de gasificación al 0.7%



Fuente: propia

Para la muestra 3 se tiene en el siguiente cuadro las pruebas de gabinete.

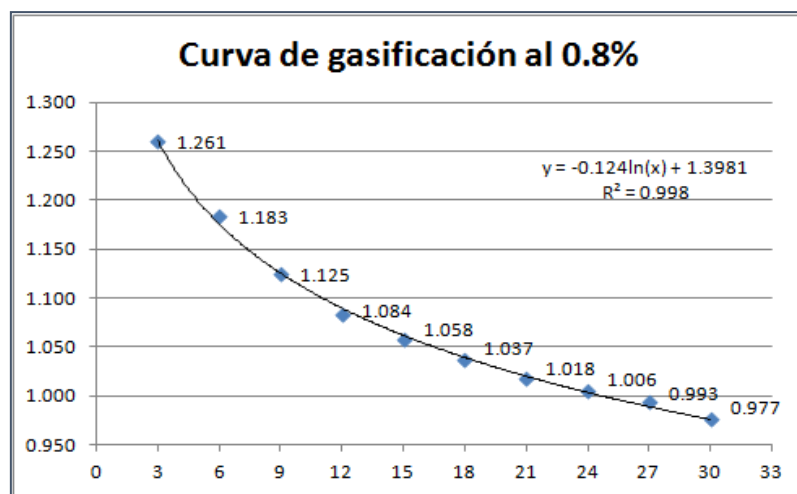
Tabla 15. Pruebas en gabinete (muestra 3)

| | | | |
|------------------|-------------------------|-------|----|
| Muestra 3 | T° Emulsión | 16 | °C |
| | Peso vaso Muestra | 177.7 | g |
| | Volumen vaso Muestra | 230.7 | ml |
| | Porcentaje de inyección | 0.8 | % |

| Tiempo (min) | Peso Final (g) | Densidad (g/cc) |
|--------------|----------------|-----------------|
| 0 | 483.5 | 1.326 |
| 3 | 468.5 | 1.261 |
| 6 | 450.7 | 1.183 |
| 9 | 437.2 | 1.125 |
| 12 | 427.7 | 1.084 |
| 15 | 421.8 | 1.058 |
| 18 | 416.85 | 1.037 |
| 21 | 412.6 | 1.018 |
| 24 | 409.75 | 1.006 |
| 27 | 406.9 | 0.993 |
| 30 | 403.1 | 0.977 |

Del cuadro respectivo se presenta en la siguiente curva de gasificación al 0.8% de una concentración: 10 % Inyección: 0.8 %

Figura 39: De curva de gasificación al 0.8%



Fuente: Propia

Para la muestra 4 se tiene en el siguiente cuadro las pruebas de gabinete.

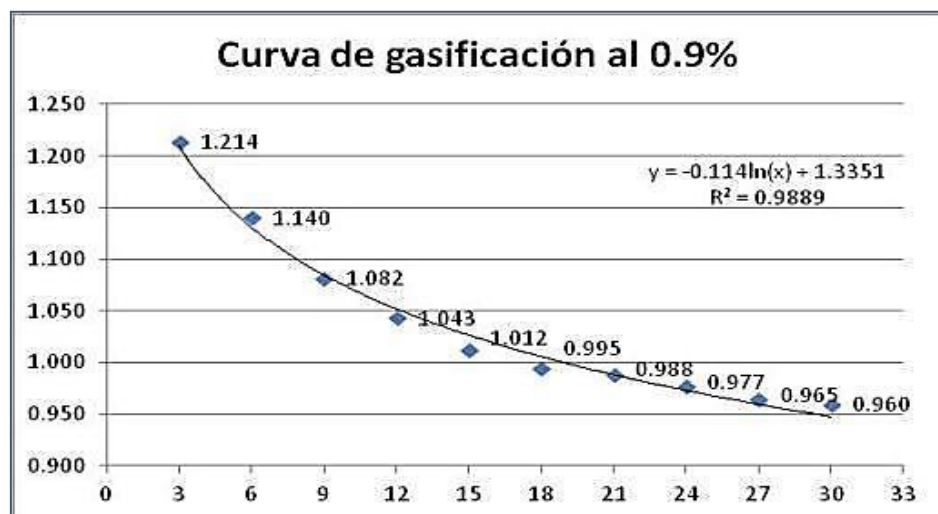
Tabla 16. Pruebas en gabinete (muestra 4)

| | | | |
|------------------|-------------------------|-------|----|
| Muestra 4 | T° Emulsión | 16.1 | °C |
| | Peso vaso Muestra | 177.7 | g |
| | Volumen vaso Muestra | 230.7 | ml |
| | Porcentaje de inyección | 0.9 | % |

| Tiempo (min) | Peso Final (g) | Densidad (g/cc) |
|--------------|----------------|-----------------|
| 0 | 478.2 | 1.303 |
| 3 | 457.75 | 1.214 |
| 6 | 440.8 | 1.140 |
| 9 | 427.35 | 1.082 |
| 12 | 418.4 | 1.043 |
| 15 | 411.2 | 1.012 |
| 18 | 407.3 | 0.995 |
| 21 | 405.7 | 0.988 |
| 24 | 403.15 | 0.977 |
| 27 | 400.35 | 0.965 |
| 30 | 399.15 | 0.960 |

Del cuadro respectivo se presenta en la siguiente curva de gasificación al 0.9% de una concentración: 10 % Inyección: 0.9 %

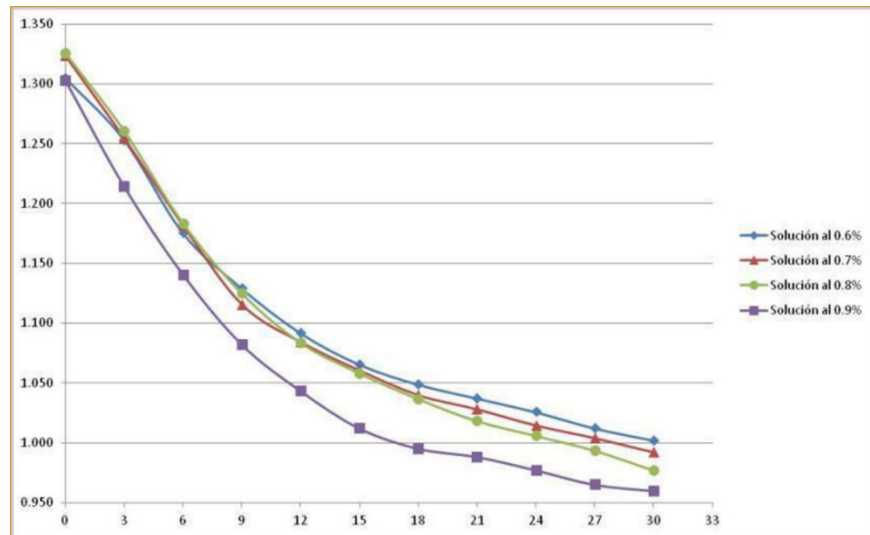
Figura 40: De curva de gasificación al 0.9%



Densidades Del Fortis Advantage

Del análisis de las muestras anteriormente de un total de 4 muestras se muestra la variación de densidades variando la inyección de la SNS en la siguiente figura se muestra dicha variación.

Figura 41: Variación de densidades variando la Inyección de la SNS



Fuente: Propia

Interpretación: se ve cómo va de forma creciente acorde a la densidad en un 6% es menor a un 9% la inyección de la SNS es favorable.

Esponjamiento del explosivo en el taladro

En la siguiente figura se analiza el explosivo en el tubo de 6 pulgadas para el análisis de esponjamiento.

Figura 42: Análisis para medir el esponjamiento tubo de 6 pulg



Fuente. Propia

Se tuvo los siguientes resultados:

Tabla 17. Esponjamiento según al tiempo

| Tiempo (min) | Altura de explosivo (m) |
|---------------------|--------------------------------|
| 0 | 1.03 |
| 3 | 1.07 |
| 6 | 1.11 |
| 9 | 1.17 |
| 12 | 1.21 |
| 15 | 1.25 |
| 18 | 1.29 |
| 21 | 1.32 |
| 24 | 1.35 |
| 27 | 1.37 |
| 30 | 1.39 |

De la tabla se tiene un resumen de los tiempos en minutos y la altura de explosivo en metros correspondiente.

En la siguiente figura se muestra las mediciones de campo

Figura 43: A los 5 minutos y la altura respectiva



Fuente: Propia

Interpretación: se tiene a los 5 minutos de colocar el explosivo un incremento de la altura igual a $E_5 = 10\%$ respectivamente.

Figura 44: A los 30 minutos y la altura respectiva



Fuente: Propia

Interpretación: se tiene a los 30 minutos de colocar el explosivo un incremento de la altura igual a $E_{30} = 35 \%$ respectivamente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE ENTORNO APLICATIVO PARA LA APLICACIÓN DEL EMULSIÓN FORTIS ADVANTAGE 100 GASIFICADA PARA EL TAJO NORTE DEL NIVEL 4336

Entre los meses de febrero, marzo y abril del 2018 se realizaron 05 voladuras de prueba usando un total 57 Ton. de Fortis Advantage 100 (emulsión pura gasificada) en mina El Brocal – Tajo Colquijirca.

Las primeras 03 voladuras estuvieron diseñadas para demostrar ahorros en costos de explosivos al usar emulsión de fortis advantage 100 gasificada a diferentes densidades para sustituir el carguío tradicional con Heavy ANFO, mezclas explosivas compuestas por nitrato de amonio, diesel y fortis mex (emulsión matriz).

Las últimas 02 voladuras estuvieron diseñadas con el objetivo de demostrar una mejora en la fragmentación obtenida con respecto a los resultados obtenidos con Heavy ANFO (mezclas tradicionales).

Todas las voladuras tuvieron como objetivo mantener las vibraciones generadas dentro del límite permitido, por debajo de 5 m/s y eliminar los gases nitrosos (humos naranjas) generados con las mezclas tradicionales.

Se realizó una línea base de voladuras cargadas con Heavy ANFO, para poder comparar estos resultados de fragmentación con los obtenidos con fortis advantage, así como mediciones de VOD.

Se realizaron mediciones de VOD como parte del control de calidad del producto, los cuales reflejan el desempeño superior del explosivo.

Los resultados de fragmentación con el software de análisis PowerSieve3 y cálculos de ahorro demuestran que el uso de Fortis Advantage en Mina El Brocal trae beneficios para la operación.

Las mejoras en fragmentación proponen la posibilidad de una ampliación de malla inclusive en las rocas de mayor dureza.

4.2. ANÁLISIS DE DISPAROS DE PRUEBA

En el siguiente cuadro se muestra el resumen de disparos de prueba y sus parámetros de diseño. Se puede apreciar la flexibilidad en cuanto a la gasificación del fortis advantage 100 gasificada, llegando a distintas densidades para poder reemplazar las distintas mezclas de Heavy ANFO.

Tabla 18. Disparos de prueba a sus parámetros de diseño.

| Objective | Disparo | Fecha | Banco | Proyecto | Diseño de Carga | Mezcla Explosiva | Densidad (gr/cc) | Cantidad de Taladros | Diámetro (pulg) | B x E (m) | Altura de Banco (m) | Taco (m) | |
|-----------|---------------|--------|--------|----------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------|---------------------|----------|-----|
| Ahorros | 1 | 23-feb | 4336 | 05 | Carguío Tradicional | Heavy ANFO 30/70 | 1.08 | 113 | 6' 3/4 | 5.3 x 6.1 | 6.0 | 3.0 | |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.99 | | | | | | |
| | 2 | 28-feb | 4336 | 01 | Carguío Actual | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 61 | 6' 3/4 | 4.8 x 5.5 | 6.0 | 3.5 | |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.20 | | | | | | |
| | | | | | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 76 | 6' 3/4 | 4.8 x 5.5 | 6.0 | 3.5 | |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.96 | | | | | | |
| | 3 | 29-mar | 4336 | 02 | Carguío Actual | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 85 | 6' 3/4 | 4.8 x 5.5 | 6.0 | 3.5 | |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.12 | | | | | | |
| | | | | | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 52 | 6' 3/4 | 4.8 x 5.5 | 6.0 | 3.5 | |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.92 | | | | | | |
| | Fragmentación | 4 | 31-mar | 4336 | 07 | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 135 | 6' 3/4 | 5.3 x 6.1 | 6.0 | 3.5 |
| | | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.06 | | | | | |
| 5 | | 01-abr | 4336 | 08 | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 131 | 6' 3/4 | 5.3 x 6.1 | 6.0 | 3.5 | |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.04 | | | | | | |

NOTA: ANALIZA LOS RESULTADOS DE FRAGMENTACIÓN

4.3. ANÁLISIS DE LÍNEA BASE

A continuación, se muestran los datos recolectados en la línea base, en los datos de VOD se incluye un valor medido en febrero del 2018:

Tabla 19. Resultados de fragmentación con Heavy ANFO – emulsión fortis Mex

| Resultados de Fragmentación con Heavy ANFO – Emulsión Fortis Mex | | | | | | | |
|--|-------|----------|---------------------|------------|-----------|------|------------|
| Fecha | Banco | Proyecto | Mezcla | Densidad | Xc (pulg) | n | P80 (pulg) |
| 10 febrero | 4336 | 03 | Heavy ANFO 30/70 | 1.075gr/cc | 4.58 | 1.54 | 6.24 |
| 11 febrero | 4336 | 04 | Heavy ANFO 45/55 | 1.277gr/cc | 4.73 | 1.49 | 6.51 |

De la tabla se muestra las siguientes especificaciones para una mejor comprensión que es:

- Xc: Tamaño característico
- n: Índice de Uniformidad
- P80: Pasante al 80%

Tabla 20. Resultados de velocidad de detonación con Heavy ANFO – emulsión fortis Mex

| Resultados de Velocidad de Detonación con Heavy ANFO – Emulsión Fortis Mex | | | |
|--|------------------|------------|-----------|
| Fecha | Mezcla | Densidad | VOD (m/s) |
| Marzo 2018 | ANFO | 0.830gr/cc | 4161.2 |
| 10-febrero | Heavy ANFO 30/70 | 1.075gr/cc | 4557.4 |
| 11-febrero | Heavy ANFO 45/55 | 1.277gr/cc | 4832.4 |

De la tabla se tiene una densidad para el Heavy anfo es directamente proporcional a la densidad en relación a la velocidad de detonación.

4.4. ANÁLISIS DE PRECIOS

Se han tomado como datos de entrada los siguientes precios, correspondientes al primer trimestre del año 2018:

Tabla 21. Análisis de Precios

| Ítem | Precio (\$) | Unidad |
|---------------------------|-------------|----------|
| Nitrato de Amonio Prillex | 694.45 | tonelada |
| Diesel B5 | 4.54 | galón |
| Fortis Mex | 636.72 | tonelada |
| Fortis Advantage | 706.83 | tonelada |

Del cuadro se muestra los precios en dólares de explosivos e insumos utilizados para la mezcla de las mismas

4.5. ANÁLISIS DE VELOCIDADES DE DETONACIÓN – VOD

El siguiente cuadro muestra los valores de VOD calculados durante las voladuras de prueba con fortis advantage 100 gasificado. Todos los valores calculados se encuentran dentro del rango de especificación del producto.

Tabla 22. Mezclas de explosivo, densidad y velocidad de detonación

| Fecha | Mezcla Explosiva | Densidad (gr/cc) | VOD (m/s) |
|------------|----------------------|------------------|-----------|
| 28-febrero | Fortis Advantage 100 | 0.960gr/cc | 6071.4 |
| 23-febrero | Fortis Advantage 100 | 0.992gr/cc | 5191.8 |
| 01-marzo | Fortis Advantage 100 | 1.040gr/cc | 5892.2 |
| 31-marzo | Fortis Advantage 100 | 1.060gr/cc | 5837.6 |
| 29-abril | Fortis Advantage 100 | 1.120gr/cc | 5786.5 |

El valor calculado el 23 de febrero es ligeramente bajo con respecto a las otras mediciones, esto indica una condición del taladro no ideal, poco confinamiento del explosivo o algún tipo de bolsonamiento cercano a este, que afecta de manera negativa a la medición.

4.5.1. ANÁLISIS COMPARATIVO EN RELACIÓN A LA VELOCIDAD DE DETONACIÓN FORTIS ADVANTAGE VS FORTIS MEX

Para ver el análisis de vibraciones se tomó en cuenta el análisis de dos explosivos de fortis advantage y fortis mex se tiene en las siguientes tablas:

Para el fortis advantage

En el siguiente cuadro se muestra la mezcla de densidades y la velocidad de detonación.

Tabla 23. Mezcla de densidades y velocidad de detonación

| Fortis Advantage | | |
|--------------------|------------|-----------|
| Mezcla | Densidad | VOD (m/s) |
| F.Advantage 100 | 0.960gr/cc | 6071.4 |
| F.Advantage 100 | 0.992gr/cc | 5191.8 |
| F.Advantage 100 | 1.040gr/cc | 5892.2 |
| F.Advantage 100 | 1.060gr/cc | 5837.6 |
| F.Advantage 100 | 1.120gr/cc | 5786.5 |

Para el fortis mex

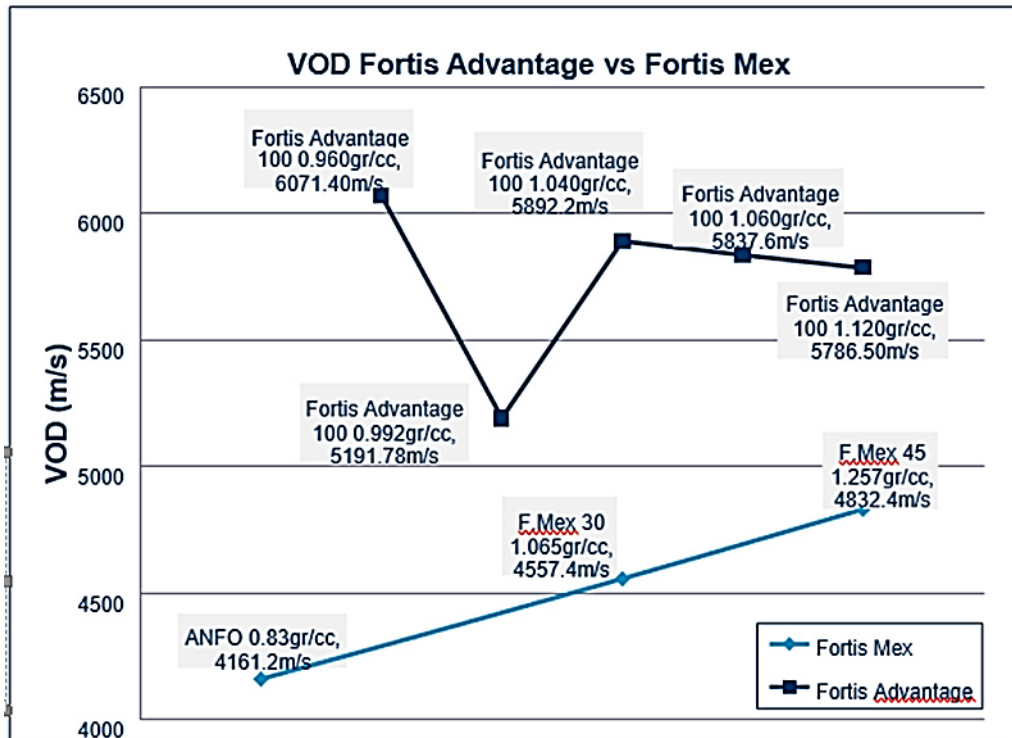
En la siguiente tabla se muestra la mezcla de densidades y la velocidad de detonación.

Tabla 24. Mezcla de densidades y la velocidad de detonación.

| Fortis Mex | | |
|------------|------------|-----------|
| Mezcla | Densidad | VOD (m/s) |
| ANFO | 0.830gr/cc | 4161.2 |
| HA30/70 | 1.075gr/cc | 4557.4 |
| HA45/55 | 1.277gr/cc | 4832.4 |

De las tablas anteriores se realiza un comparativo mostrado en la siguiente figura donde se muestra los valores de VOD medidos en las pruebas con fortis advantage frente a los valores medidos con fortis Mex en el 2018.

Figura 45: VOD fortis advantage VS fortis Mex



Fuente: Propia

Interpretación: se muestra que es más ventajoso el uso de fortis advantage 100 gasificado, en relación a velocidad de detonación es muy superior al fortis mex ampliamente.

4.6. ANÁLISIS DE VIBRACIONES

En la siguiente tabla se muestra los valores de Velocidad Pico Partícula (VPP).

Tabla 25. Valores de velocidad pico partícula (VPP)

| Disparo | Fecha | Banco | Proyecto | Taladros | Distancia (m) | VPP JRC (mm/s) | VPP ORICA (mm/s) |
|---------|---------|-------|----------|----------|---------------|----------------|------------------|
| 1 | 23-febr | 4336 | 05 | 113 | 247 | 3.08 | 3.012 |
| 2 | 28-febr | 4336 | 01 | 137 | 735 | 2.40 | - |

| | | | | | | | |
|---|--------|------|----|-----|-----|------|------|
| 3 | 29-mar | 4336 | 02 | 137 | 774 | 1.08 | 1.14 |
| 4 | 31-mar | 4336 | 07 | 135 | 592 | 5.76 | 2.97 |
| 5 | 01-abr | 4336 | 08 | 131 | 714 | 2.58 | 2.82 |

Interpretación: medidos durante las voladuras de prueba con Fortis Advantage. Todos los valores se encuentran dentro de los límites permisibles, debajo de 5 mm/s. Excepto el valor resaltado en rojo, este valor se descarta ya que indica una medición sub-estándar, medido en condiciones distintas a las demás mediciones.

4.7. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN CON POWERSIEVE

En el siguiente cuadro se muestra el resumen de los resultados de fragmentación para los disparos de prueba. Se muestran los índices Xc, n y P80 de la distribución granulométrica:

Tabla 26. Resumen de los resultados de fragmentación para la prueba de disparos

| Objetivo | Disparo | Fecha | Banco | Proyecto | Diseño de Carga | Mezcla Explosiva | Densidad (gr/cc) | Carga (kg/tal) | Xc (pulg) | n | P80 (pulg) | Porcentaje de Mejora de Fragmentación |
|----------------------|---------|---------|-------|----------|---------------------|----------------------|------------------|----------------|-----------|------|-------------|---------------------------------------|
| Ahorros | 1 | 23-febr | 4336 | 05 | Carguío Tradicional | Heavy ANFO 30/70 | 1.08 | 87.5 | 4.58 | 1.54 | 6.24 | 21% |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.99 | 80.2 | 2.93 | 1.46 | 4.96 | |
| | 2 | 28-febr | 4336 | 01 | Carguío Actual | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 102.4 | 4.73 | 1.49 | 6.51 | 20% |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.20 | 96.0 | 3.17 | 1.23 | 5.21 | |
| | | | | | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 76.0 | 4.58 | 1.54 | 6.24 | 3% |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.96 | 74.4 | 3.79 | 1.01 | 6.07 | |
| | 3 | 29-mar | 4336 | 02 | Carguío Actual | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 114.8 | 4.73 | 1.49 | 6.51 | 6% |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.12 | 100.4 | 4.42 | 1.31 | 6.15 | |
| | | | | | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 86.3 | 4.58 | 1.54 | 6.24 | 5% |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.92 | 81.0 | 3.32 | 1.34 | 5.95 | |
| Fragmentación | 4 | 31-mar | 4336 | 07 | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 75.6 | 4.58 | 1.54 | 6.24 | 23% |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.06 | 81.8 | 2.77 | 1.27 | 4.83 | |
| | 5 | 01-abr | 4336 | 08 | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 75.9 | 4.58 | 1.54 | 6.24 | 30% |
| | | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.04 | 80.6 | 3.39 | 1.42 | 4.35 | |

Del cuadro se muestra el resumen de los resultados de fragmentación para los disparos de prueba. Se muestran los índices Xc, n y P80 de la distribución granulométrica: el software Powersieve3 nos ayuda a optimizar los estudios de fragmentación.

4.8. ANÁLISIS DE AHORROS EN FUNCIÓN DE COSTOS

El siguiente cuadro se muestra el resumen de los cálculos de ahorros y mejoras en fragmentación para los disparos de prueba con fortis advantage:

Tabla 27. Resumen de los cálculos de ahorro y mejoras en fragmentación para los disparos del fortis advantage

| Objetivo | Disparo | Mezcla Explosiva | Densidad (gr/cc) | Carga (kg/tal) | Longitud de Taladro (m) | N° Taladros | Total de Explosivos (Kg) | Precio Producto (\$/ton) | Costos de Explosivo (\$) | Ahorro (\$) | % de Ahorro | Costo (\$/tal) | Ahorro (\$/tal) | % Mejora de P80 |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| AHORROS | 1 | Heavy ANFO 30/70 | 1.08 | 87.5 | 6.50 | 113 | 9890 | 707.23 | 6,995 | 586 | 8.4% | 61.90 | 5.19 | 21% |
| | | Fortis Advantage 100 | 0.99 | 80.2 | | | 9066 | 706.83 | 6,408 | | | 56.71 | | |
| | 2 | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 102.4 | 6.58 | 61 | 6245 | 692.12 | 4,323 | 184 | 4.3% | 70.86 | 3.02 | 20% |
| | | | Fortis Advantage 100 | 1.20 | | | 96.0 | 5855 | 706.83 | | | 4,138 | | |
| | | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 76.0 | 6.84 | 76 | 5773 | 717.30 | 4,141 | 144 | 3.5% | 54.48 | 1.89 | 3% |
| | | | Fortis Advantage 100 | 0.96 | | | 74.4 | 5655 | 706.83 | | | 3,997 | | |
| | 3 | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 114.8 | 6.66 | 85 | 9755 | 692.12 | 6,752 | 718 | 10.6% | 79.43 | 8.45 | 6% |
| | | | Fortis Advantage 100 | 1.12 | | | 100.4 | 8536 | 706.83 | | | 6,034 | | |
| | | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 86.3 | 6.82 | 52 | 4486 | 717.30 | 3,218 | 241 | 7.5% | 61.88 | 4.64 | 5% |
| | | | Fortis Advantage 100 | 0.92 | | | 81.0 | 4211 | 706.83 | | | 2,976 | | |
| | TOTAL | | | | | | | | | 1874 | 6.8% | PROMEDIO | 4.64 | 10% |
| | FRAGMENTACIÓN | 4 | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 75.6 | 6.39 | 135 | 10206 | 707.23 | 7,218 | -585 | -8.1% | 53.47 | -4.33 |
| Fortis Advantage 100 | | | 1.06 | 81.8 | 11039 | | | 706.83 | 7,803 | 57.80 | | | | |
| 5 | | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 75.9 | 6.50 | 131 | 9945 | 677.01 | 6,733 | -727 | -10.8% | 51.40 | -5.55 | 30% |
| | | | Fortis Advantage 100 | 1.04 | | | 80.6 | 10554 | 706.83 | | | 7,460 | | |
| TOTAL | | | | | | | | | -1312 | -9.4% | PROMEDIO | -4.94 | 26% | |

De la tabla se muestra, en los 02 últimos disparos, enfocados en mejorar la fragmentación, se tiene un mejor promedio del 26% en el P80, a un costo mayor de \$4.94 por taladro, esto sugiere la ampliación de la malla de perforación del orden del 10% para generar ahorros en costos de perforación y voladura.

| Disparo | Fecha | Banco | Proyecto | Diseño de Carga | Mezcla Explosiva | Densidad (gr/cc) | Carga (kg/tal) | Taladros | Emisión gases CO2 (kg/t) | Emanación humos |
|---------|--------|-------|----------|---------------------|----------------------|------------------|----------------|----------|--------------------------|-------------------|
| 1 | 23-Feb | 4336 | 5 | Carguío Tradicional | Heavy ANFO 30/70 | 1.08 | 87.5 | 113 | 174 | Visibilidad Menor |
| | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.99 | 80.2 | | 160 | Visibilidad Mayor |
| 2 | 28-Feb | 4336 | 1 | Carguío Actual | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 102.4 | 137 | 180 | Visibilidad Menor |
| | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.2 | 96 | | 161 | Visibilidad Mayor |
| | | | | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 76 | | 198 | Visibilidad Menor |
| | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.96 | 74.4 | | 161 | Visibilidad Mayor |
| 3 | 29-Mar | 4336 | 2 | Carguío Actual | Heavy ANFO 45/55 | 1.28 | 114.8 | 137 | 189 | Visibilidad Menor |
| | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.12 | 100.4 | | 162 | Visibilidad Mayor |
| 4 | 31-Mar | 4336 | 7 | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 86.3 | 135 | 187 | Visibilidad Menor |
| | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 0.92 | 81 | | 162 | Visibilidad Mayor |
| | | | | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 75.6 | | 189 | Visibilidad Menor |
| | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.06 | 81.8 | | 162 | Visibilidad Mayor |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|------|---|------------------|----------------------|------|------|-----|----------------------|-------------------|-------------------|
| 5 | 1-Abr | 4336 | 8 | Carguío Actual | Heavy ANFO 20/80 | 0.98 | 75.9 | 131 | 190 | Visibilidad Menor | |
| | | | | Fortis Advantage | Fortis Advantage 100 | 1.04 | 80.6 | | 161 | Visibilidad Mayor | |
| Total | | | | | | | | | Heavy ANFO 20/80 | 187 | Visibilidad Menor |
| | | | | | | | | | Fortis Advantage 100 | 161 | Visibilidad Mayor |
| | | | | | | | | | Diferencia | 25 | |

El dióxido de carbono es el principal gas productor del efecto invernadero.

De la tabla la comparación de ambos explosivos en la emisión de gases, se tiene una diferencia 25 kilogramos por taladro lo cual es óptimo usar el fortis advantage 100.

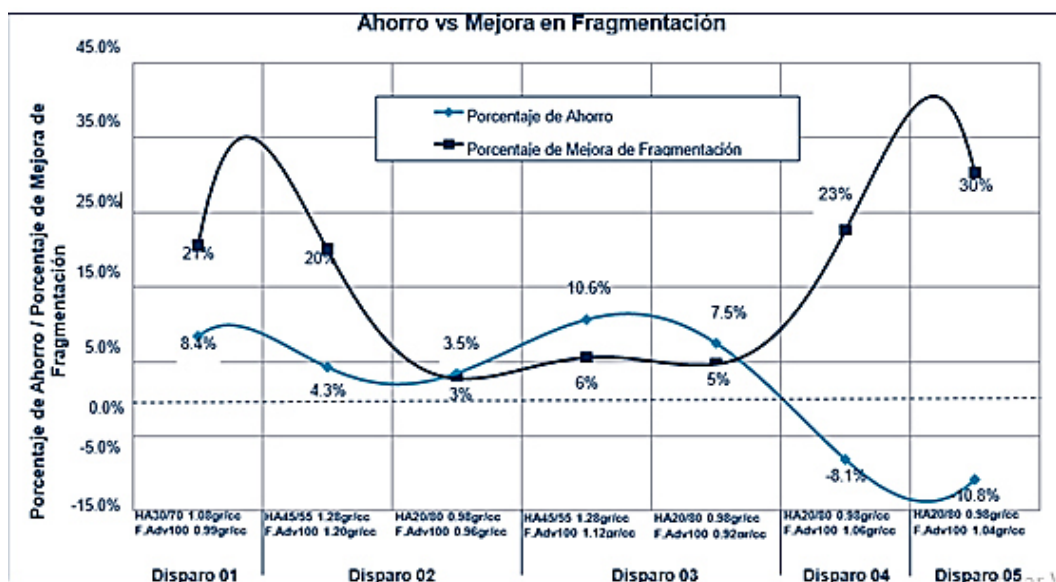
El sistema fortis advantage 100 gasificada los resultados de la emisión de CO2 se tiene un rango de 160 - 162 por kilogramo en cada taladro.

La emanación de humos en comparación a ambos explosivos el fortis advangate 100 gasificada es mejor con visibilidad menor.

4.9. ANÁLISIS DE AHORROS VS FRAGMENTACIÓN

En el siguiente gráfico se aprecia el beneficio en ahorros de costos, así como en mejora de fragmentación.

Figura 46: Ahorro vs mejora en fragmentación



Fuente: Propia

Interpretación: En los 03 primeros disparos, enfocados en el ahorro de explosivos, se obtuvo un ahorro total de \$1,874, cargando un total de 387 taladros con 33323kg de fortis advantage, un ahorro promedio de \$4.64 por taladro. Se tienen ahorros del hasta de \$8.45 por taladro al reemplazar el HA45 y se pueden obtener ahorros de hasta \$10.93 por taladro al reemplazar el HA64 en taladros con agua.

CONCLUSIONES

1. En las 5 pruebas analizadas, para los 03 primeros disparos, enfocados en el ahorro de explosivos, se obtuvo un ahorro total de \$1,874, cargando un total de 387 taladros con 33323kg de fortis advantage, un ahorro promedio de \$4.64 por taladro. Se tienen ahorros del hasta de \$8.45 por taladro al reemplazar el HA45/55 y se pueden obtener ahorros de hasta \$10.93 por taladro al reemplazar el HA64 en taladros con agua.
2. En las 5 pruebas analizadas, para los 02 últimos disparos, enfocados en mejorar la fragmentación, se tiene una mejora promedio del 26% en el P80, a un costo mayor de \$4.94 por taladro, esto sugiere la ampliación de la malla de perforación del orden del 10% para generar ahorros en costos de perforación y voladura.
3. El uso de fortis advantage significa la optimización de recursos operacionales, logísticos y administrativos, al usar una única materia prima como mezcla explosiva para el carguío de taladros. Esta única materia prima puede ser usada tanto en taladros secos de distintas durezas como en taladros con agua al tener la capacidad de ser gasificada a diferentes densidades y ser altamente resistente al agua.
4. Las mediciones de VOD arrojan valores considerablemente más altos para el fortis advantage 100 gasificado a diferentes densidades que las mezclas de Heavy ANFO fabricadas con emulsión fortis Mex. Estos resultados de las mediciones de VOD son el reflejo del alto desempeño del explosivo y su poder rompedor. Todas las mediciones de VOD se encuentran dentro del rango de especificación del producto.
5. En todas los VPP registrados en el monitoreo de vibraciones se encuentran dentro de los límites permisibles.

RECOMENDACIONES

1. No se detectó ocurrencia de fly rock en ninguno los disparos de prueba con fortis advantage, esto demuestra que operacionalmente se cumplió con el diseño de carga de columna, manteniendo las longitudes de taco según el diseño, cumpliendo con los estándares de seguridad de Orica y El Brocal.
2. No se detectó generación de gases nitrosos (humos naranjas) en ninguno de los disparos de prueba con fortis advantage, esto es una característica de este explosivo, el cual está compuesto por 100% de emulsión ANE gasificable.
3. Según los datos de curvas de gasificación recolectados en campo el tapado de los taladros se puede iniciar entre 40 a 50 minutos después de cargado el primer taladro con Fortis Advantage gasificado. Lo cual no representa un aspecto negativo para la operación al no interferir con los tiempos usuales de la tarea de tapado de taladros.
4. Se logran altos ratios de descarga al taladro (200 Kg / minuto) en sistema vaciable, así se pueden lograr cargar 180 taladros en 2 horas 50 minutos (incluidos tiempos de posicionamiento, carguío, traslado entre taladros).
5. Operacionalmente el camión fábrica Tread Unibody tiene una capacidad de 14.5 Tons de emulsión gasificable fortis advantage, significa una gran capacidad efectiva de carguío de 181 taladros (considerando una carga explosiva de 80 Kg por taladro). Esto significa un impacto positivo importante en la operación de carguío de taladros

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre Barahama. perforación y voladura a tajo abierto. 2013
2. Bamafield y Morrey dimensiones de los explosivos. 1984
3. Challa Gutiérrez, David Yesmani alternativa de variación de heavy anfo a emulsión gasificada para mejorar los costos, parámetros técnicos y medio ambientales de voladura En Mina Cuajone Southern Perú – Lima; s.n., 2014
4. Decreto supremo N° 025-2016 EM
5. Du Point 1986 cargas explosivas
6. [FARJE VERGARAY, Italo](#) Perforación y voladura en minería a cielo abierto LIMA s.n., 2006
7. García Reyes Wilmer Eri. Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba Trujillo: s.n... 2017
8. Huangal, C. “valuación técnica económica del uso del San-g en mina la arena”
9. Herrera, J. “Fundamentos de la Tecnología Minera”.
10. Marquina, H. “Reporte mensual de Voladura”. La Arena SAC
11. Manzaneda Castillo, Jorge Eduardo optimización de la flota de carguío y arranque para el incremento de producción de material de desbroce de 400K A 1000K BCM –U.E.A. El Brocal Consorcio Pasco Stracom GYM Lima: s.n., 2015
12. Nelson *Anchayhua* Serna Reducción de costos por tonelada con el uso de emulsión gasificada (San-G) en minería a tajo abierto.
13. Orica Mining Services Perú S.A, un moderno y ventajoso agente de voladura para tajos abiertos”
14. Plaz, F. (1994) “Fundamento de Laboreo de Minas” Madrid Editorial Omega.
15. Sociedad Minera El Brocal – Departamento de Geomecánica
16. Sociedad Minera El Brocal – Departamento de Geología
17. Konya & Albarrán, 1998
18. Salas, J. “Metalogénesis del sur del Perú”.
19. López, C. “Explosivos y voladura a cielo abierto”
20. López, C.; López, E.; Pernia, J. M. y Pla, F.. “Manual de perforación y voladura de rocas”. Edición Instituto geológico y Minero de España.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| DISEÑO TEÓRICO | | | |
|---|---|---|---|
| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLE |
| <p>¿De qué manera influye Análisis Comparativo Y Evaluación Técnica -Económica De Los Explosivos Heavy Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada para la fragmentación en el Tajo norte del nivel 4336 – sociedad minera El Brocal Colquijirca 2018?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es el resultado de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la Sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018? - ¿Cuál es el resultado de la comparación de costos de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018? | <p>Determinar análisis comparativo y evaluación técnica -económica de los explosivos Heavy Anfo y emulsión de Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el Tajo norte del Nivel 4336 – sociedad minera El Brocal Colquijirca 2018</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar y evaluar los resultados de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018. - Evaluar la comparación de costos de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018. | <p>Análisis comparativo y evaluación técnica – económica de los explosivos Heavy Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada para la fragmentación en el Tajo norte del nivel 4336 – sociedad minera El Brocal Colquijirca 2018.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</p> <p>Influye los resultados de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada como respuesta de su aplicación en la fragmentación del mineral del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018.</p> <p>Influye la evaluación de la comparación de costos de los explosivos Heavy-Anfo y emulsión de fortis advantage 100 gasificada del tajo norte del nivel 4336 de la sociedad minera el Brocal Corquijirca 2018.</p> | <p>Variable independiente:</p> <p>Fragmentación del mineral</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Evaluación técnico económico de los explosivos.</p> |

| VARIABLES | INDICADORES |
|---|---|
| INDEPENDIENTE: Evaluación Técnico económica de los Explosivos | <ul style="list-style-type: none"> ● Evaluación de costos en explosivos. ● Mejoras en operaciones. ● Impactos ambientales. |
| DEPENDIENTE Fragmentación del mineral | <ul style="list-style-type: none"> ● Reducción de granulométrica óptima. ● Estandarización isométrica. |

DISEÑO METODOLÓGICO

| METODOLOGÍA | | | | |
|-------------|-------------|--------------------|------------|------------|
| TIPO | NIVEL | DISEÑO | POBLACIÓN | MUESTRA |
| Aplicada | Descriptivo | Descriptivo simple | Tajo norte | Nivel 4336 |

ANEXOS 2: VOLADURA – ANTES P15 P16 P17, BANCO 4336.



ANEXOS 3: VOLADURA – DESPUÉS P15 P16 P17, BANCO 4336.



ANEXO 4: FRAGMENTACIÓN DESPUÉS DE LA VOLADURA



ANEXO 5: CLASIFICACIÓN DE MINERAL EN EL TAJO (SE APRECIAN LOS BANDERINES)



ANEXO 6: ZONA DE CARGUÍO



Fuente propia