

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE ROCAS EMPLEANDO EL
SISTEMA DE VOLADURA ELECTRÓNICA FAMETRONIC EN LA UNIDAD
MINERA TACAZA-LAMPA-PUNO**

Presentado por:

Bach. Edwin Sadam Alvis Vitorino

Para optar al título profesional de

Ingeniero de Minas

Asesor:

Mag. Juan Francisco Soto Elguera

Cusco – Perú

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: OPTIMIZACION DE LA FRAGMENTACION DE ROCAS EMPLEANDO EL SISTEMA DE VOLADURA ELECTRONICA FAMETRONIC EN LA UNIDAD MINERA TACAZA - LAMPA - PUNO

presentado por: BACH. EDWIN SADAM ALVIS VITORINO con DNI Nro.: 71440691 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 19 de AGOSTO de 2024


Firma
Post firma Juan Francisco Seto Elguera
Nro. de DNI 23922623

ORCID del Asesor 0000-0002-5029-4284

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:373794301 ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

**OPTIMIZACION DE LA FRAGMENTACION
DE ROCAS EMPLEANDO EL SISTEMA DE
VOLADURA ELECTRONICA FAMESTRONIC EN**

AUTOR

EDWIN SADAM ALVIS VITORINO

RECUENTO DE PALABRAS

19473 Words

RECUENTO DE CARACTERES

111475 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

117 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.1MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 19, 2024 11:01 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 19, 2024 11:03 AM GMT-5

● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 35 palabras)

DEDICATORIA

Dedico al divino creador por darme la vida y sabiduría, y guiarme día a día.

A mi esposa Kinia y mis hijos Jacob y Josías que son mi motivo de superación.

A mis padres Luis y Juana que desde el cielo me guían, y **mis hermanos David, René, Saúl, Raquel y Corazón**, por haberme apoyado incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por haberme formado en mi carrera académica, así mismo el reconocimiento **a los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, en especial a mi asesor de tesis** quien me acompañó y me guio en todo el desarrollo de la presente.

A las empresas COEMPSA S.A. y CIEMSA S.A. quienes confiaron en mí para todas las tareas y retos que me propusieron. Permitiéndome consolidar mis conocimientos en el trabajo del día a día en la Unidad Minera Tacaza, y tener la experiencia que hoy plasmo en este presente trabajo de investigación.

PRESENTACION

Paralelo a la evolución de los explosivos, los accesorios de iniciación han sufrido un fuerte desarrollo tecnológico, con el que se ha intentado alcanzar objetivos como; controlar los tiempos de iniciación para mejorar la fragmentación, mejorar la reducción del nivel de vibraciones, el cebado puntual en fondo, la mayor rapidez y flexibilidad de las operaciones de arranque manteniendo un elevado grado de seguridad el personal y en la parte operativa.

La minería a cielo abierto ha sido un claro exponente en todo este desarrollo y ha participado en el mismo acogiendo a muchas empresas de explosivos a nivel nacional e internacional, así mismo su uso en la minería subterránea se está implementando en muchas unidades mineras del Perú.

La voladura con los sistemas de iniciación electrónica, precisamente con detonadores electrónicos, supuso una revolución tanto en las voladuras convencionales y controladas, es decir en voladuras primarias, de amortiguamiento y pre corte, lo cual ha permitido por su gran exactitud y precisión un óptimo control del proceso de fragmentación, vibraciones y proyecciones.

El presente trabajo de investigación “Optimización de la Fragmentación de Rocas Empleando el Sistema de Voladura Electrónica Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno” constituye por su contenido y rigor un referente del progreso de la fragmentación de rocas, realizando el análisis en la fragmentación de rocas con detonadores electrónicos Fametronic en minería a tajo abierto a mediana escala, así como el diseño de carga selectiva para los taladros de producción. Este trabajo tendrá utilidad en el ámbito académico y servirá como medio de actualización a todos los profesionales vinculados en la ingeniería de voladura.

CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
PRESENTACION.....	III
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
LISTA DE TABLAS.....	IX
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	3
1.2.1 Problema General.....	3
1.2.2 Problemas Específicos.....	3
1.3 Objetivos de la Investigación.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 Hipótesis General.....	4
1.4.2 Hipótesis Específicas.....	4
1.5 Variables e Indicadores.....	4
CAPITULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.1.1 Título: “Implementación de un nuevo sistema de iniciación electrónica en Perú – Seguridad y versatilidad”.....	6
2.1.2 Título: “Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.”.....	7
2.1.3 Título: “Implementación y aplicación del sistema de iniciación electrónica para la optimización de voladura a tajo abierto caso Antamina – Ancash”.....	7
2.2 Marco Contextual.....	8
2.2.1 Ubicación.....	8
2.2.2 Geología Minera.....	9

2.2.3	Características Geomecánicas del Macizo Rocoso.....	9
2.2.4	Operaciones Mineras.....	10
2.3	Bases Teóricas.....	28
2.4	Marco Conceptual.....	39
2.5	Marco Legal.....	50
CAPITULO III.....		53
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....		53
3.1	Metodología de la Investigación.....	53
3.1.1	Tipo de Investigación.....	53
3.1.2	Nivel de Investigación.....	53
3.2	Población y Muestra.....	53
3.2.1	Población.....	53
3.2.2	Muestra.....	54
3.3	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	54
3.3.1	Técnicas.....	54
3.3.2	Instrumentos.....	54
3.4	Técnicas de Procesamiento de Datos.....	54
3.5	Técnicas de Análisis de Datos.....	55
CAPITULO IV.....		56
RESULTADOS Y ANALISIS.....		56
4.1	Información General para los Resultados y Análisis de las Voladuras Primarias con los Sistemas de Iniciación no Eléctrico y Electrónico.....	56
4.2	Evaluación de la Voladura con el Sistema de Iniciación no Eléctrico.....	60
4.2.1	Parámetros de Perforación.....	60
4.2.2	Parámetros de Voladura.....	61
4.2.3	Consumo de explosivos.....	63
4.2.4	Diseño de Voladura con Detonador no Eléctrico.....	63
4.2.5	Análisis de fragmentación.....	66
4.2.6	Costo de Voladura.....	68
4.2.7	Resultados de la Fragmentación Obtenida con el Sistema no Eléctrico.....	69
4.3	Evaluación de Voladura con el Sistema de Iniciación Electrónica Fametric.....	71
4.3.1	Cálculo de Malla de Perforación.....	71
4.3.2	Cálculo de Parámetros de Voladura.....	73

4.3.3	Diseño de Voladura con Detonador Electrónico Fametronic.....	78
4.3.1	Diseño de Amarre.....	81
4.3.2	Análisis de fragmentación	87
4.3.3	Costos de Voladura Aplicando el Sistema de Iniciación Electrónica Fametronic	92
4.4	Análisis.....	93
4.4.1	Análisis de las Voladuras Primarias con los Sistemas de Iniciación no Eléctrico y Electrónico	93
4.4.2	Discusión de Resultados de los Detonadores no Eléctricos y Electrónicos	96
CONCLUSIONES.....		98
RECOMENDACIONES.....		99
BIBLIOGRAFÍA.....		100
ANEXOS.....		102

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Optimización de la Fragmentación de Rocas Empleando el Sistema de Voladura Electrónica Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno”, tuvo como objetivo principal determinar el nivel de influencia con la utilización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la optimización de voladuras primarias. El estudio es en la Unidad Minera Tacaza, y los detonadores electrónicos empelados es el Fametronic de la empresa Famesa Explosivos S.A., como población se tiene los 12 bancos del tajo José María, y como muestra 2 proyectos de voladura. Se realizó la evaluación técnica de la voladura no eléctrica, la cual genera una deficiente fragmentación de rocas precisamente en voladuras primarias en zona de mineralización. En el proyecto de voladura N°48 se tuvo un P80 real de 12.8 pulgadas y un costo de voladura de 0.96 US\$/TM. Para fragmentos mayores al P80 (10pg) se emplean rompe bancos y, voladuras secundarias en caso de bancos mayores a 16pg, lo cual hace que se incremente el costo de voladura. Frente a ello se hizo el análisis de las características y bondades del sistema de iniciación electrónica Fametronic, siendo estos sistemas de alta precisión y flexibilidad en la asignación de tiempos detonación. Luego se efectuó el cálculo y diseño de los parámetros de perforación y voladura, eligiendo columna de carga selectiva con emulsión encartuchada en carga de fondo y ANFO a granel como carga de columna. Seguidamente a ello se realizó la evaluación del proyecto de voladura N°52 empleando el software O-Pitblast. Finalmente, se realizó el análisis de los resultados obtenidos, en cuanto a fragmentación de rocas(P80) se redujo de un $P80 = 32.51$ cm a $P80 = 13.94$ cm, lo cual se optimizó en un 57.12% viéndose reflejado en la cantidad de fragmentación gruesa, el cual disminuyó en 19.13%, así mismo con los detonadores no eléctricos se tuvo un factor de potencia de 0.53 Kg/TM, mientras que con los detonadores electrónicos se obtuvo 0.31 Kg/TM, logrando disminuir en 0.22 Kg/TM, y un costo de voladura de 0.96 US\$/TM. Si bien hay un incremento de costo unitario entre el detonador electrónico Fametronic y detonador no eléctrico, sin embargo, se ve recompensado en el menor costo de voladura, puesto que, al optimizar la fragmentación de rocas, ya no fue necesario realizar voladura secundaria.

Palabras clave: Detonadores electrónicos, fragmentación de rocas, voladura primaria, optimización.

ABSTRACT

The present research work entitled “Optimization of Rock Fragmentation Using the Fametronic Electronic Blasting System in the Tacaza-Lampa-Puno Mining Unit”, had as main objective to determine the level of influence with the use of the Fametronic electronic blasting system in the optimization of primary blasting. The study is in the Tacaza Mining Unit, and the electronic detonators used are the Fametronic of the company Famesa Explosivos S.A., as population we have the 12 benches of the José María pit, and as a sample 2 blasting projects. The technical evaluation of non-electric blasting was carried out, which generates a deficient fragmentation of rocks precisely in primary blasting in the mineralization zone. In blasting project N°48, the real P80 was 12.8 inches and a blasting cost of 0.96 US\$/TM. For fragments larger than P80 (10pg), bench breakers are used and secondary blasting in case of benches larger than 16pg, which increases the blasting cost. In view of this, the characteristics and benefits of the Fametronic electronic initiation system were analyzed, being these systems of high precision and flexibility in the allocation of detonation times. Then the calculation and design of the drilling and blasting parameters were carried out, choosing selective charge column with cased emulsion as bottom charge and bulk ANFO as column charge. After that, the evaluation of the blasting project N° 52 was carried out using the O-Pitblast software. Finally, the analysis of the results obtained was carried out, in terms of rock fragmentation (P80) was reduced from P80 = 32.51 cm to P80 = 13.94 cm, which was optimized by 57.12%, reflected in the amount of coarse fragmentation, which decreased by 19.13%. 13%, likewise with the non-electric detonators a power factor of 0.53 Kg/MT was obtained, while with the electronic detonators 0.31 Kg/MT was obtained, achieving a reduction of 0.22 Kg/MT, and a blasting cost of 0.96 US\$/MT. Although there is an increase in unit cost between the Fametronic electronic detonator and the non-electric detonator, however, it is rewarded in the lower blasting cost, since, by optimizing rock fragmentation, it was no longer necessary to carry out secondary blasting.

Key words: Electronic detonators, rock fragmentation, primary blasting, optimization.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Accesibilidad hacia la Unidad Minera Tacaza.	9
Tabla 2.	Clasificación RQD (Rock Quality Desigtation).	10
Tabla 3.	Valores de resistencia a la compresión simple.	10
Tabla 4.	Mallas de Perforación en mineral y desmonte.	12
Tabla 5.	Características técnicas de la perforadora Rock Drill.	12
Tabla 6.	Características técnicas de la perforadora Track Drill.	13
Tabla 7.	Lista de explosivos utilizados en la Unidad Minera Tacaza.	22
Tabla 8.	Parámetros para determinar el factor de roca.	37
Tabla 9.	Tabla de valores correspondientes a la constante KB el cual depende del tipo de roca y explosivo empleado.	48
Tabla 10.	Proyectos de voladura elegidos.	54
Tabla 11.	Datos del macizo rocoso.	57
Tabla 12.	Datos de los equipos de perforación.	57
Tabla 13.	Datos del banco y perforación.	57
Tabla 14.	Datos de los agentes de voladura.	58
Tabla 15.	Datos de los sistemas de iniciación de voladura.	58
Tabla 16.	Precios unitarios de los explosivos empleados.	59
Tabla 17.	Parámetros de perforación.	60
Tabla 18.	Parámetros de voladura.	61
Tabla 19.	Consumo de explosivos y accesorios.	63
Tabla 20.	Análisis del P80 real.	68
Tabla 21.	Costo de Voladura.	68
Tabla 22.	Resumen de costos de voladura.	69
Tabla 23.	Valores correspondientes a la constante KB.	71
Tabla 24.	Tabla resumen de los parámetros de perforación y voladura.	75
Tabla 25.	Resumen de KPIs de voladura y tiempos de secuencia.	78
Tabla 26.	Parámetros para determinar el factor de roca.	87
Tabla 27.	Porcentaje de material retenido y pasante.	90
Tabla 28.	Análisis de fragmentación post voladura.	92
Tabla 29.	Costo de voladura.	93
Tabla 30.	Resumen de costo de voladura.	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Unidad Minera Tacaza.	8
Figura 2. Amarre entre taladros con Fanel Dual en taladros de producción.....	19
Figura 3. Amarre con Cordon Detonante en taladros de pre corte.	19
Figura 4. Conexión entre filas con Fanel CTD de 42ms.....	20
Figura 5. Dos unidades de Carmex previo al chispeo.....	21
Figura 6. Perforación Secundaria (cachorro) en bancos de gran diámetro para voladura secundaria..	23
Figura 7. Distribución del explosivo en un barreno.....	28
Figura 8. Efectos de la salida secuencial por retardos en bancos de superficie.	30
Figura 9. Componentes de un detonador electrónico.....	31
Figura 10. Componentes del sistema Fametronic.	32
Figura 11. Componentes del sistema electrónico Fametronic.....	34
Figura 12. Partes del fulminante o detonador electrónico Fametronic.....	35
Figura 13. Influencia del diámetro de la carga sobre la velocidad de detonación.	40
Figura 14. Esquema y nomenclatura de una voladura en banco.	41
Figura 15. Dimensión del burden en función del diámetro de perforación.....	42
Figura 16. Esquemas cuadrado y triangular.	44
Figura 17. Mallas cuadradas de perforación y salidas de los taladros.	44
Figura 18. Tiempos de retardo y secuencia con salida frontal.	46
Figura 19. Tiempos de retardo y secuencia con salida oblicua.	46
Figura 20. Tiempos de retardo y secuencia con salida en cuña o “V”.	47
Figura 21. Componentes del detonador no eléctrico.....	50
Figura 22. Diseño de malla de perforación.	61
Figura 23. Diseño de carga.....	62
Figura 24. Parámetros de perforación y voladura.	62
Figura 25. Amarre entre taladros (17ms) y entre filas con conectores de troncales (CTD de 25 y 42 ms).....	64
Figura 26. Inicio de quemado en superficie (en la figura en el tiempo 209ms), tiempo de quemado 172 ms.	64
Figura 27. Secuencia de salida de los taladros de producción (último taladro sale en 1172ms).	65

Figura 28.	Líneas de isotiempo de los taladros de producción (tiempo entre curvas 17ms)....	65
Figura 29.	Curva granulométrica de la fragmentación obtenida.	66
Figura 30.	Diseño de malla de perforación triangular (B x E =2.2 m x 2.5m).....	78
Figura 31.	Diseño de los parámetros de perforación y voladura.....	79
Figura 32.	Diseño de carga para los taladros de producción, de acuerdo a los cálculos de carga de fondo y columna.....	80
Figura 33.	Plano de carga de los taladros de producción.	81
Figura 34.	Tiempos programados entre taladros (13ms) y filas (182ms), y con múltiplos de 13 ms en los taladros extremos.	82
Figura 35.	Secuencia de salida de los taladros de acuerdo al tiempo programado, siendo 8971ms el último taladro en detonar.....	83
Figura 36.	Líneas de isotiempo (cada 100ms), generados de acuerdo a los tiempos de salida de los taladros.....	84
Figura 37.	Desplazamiento del material de acuerdo al punto de inicio de detonación y dirección de onda.	85
Figura 38.	Simulación del proyecto en el software O-Pitblast, donde el proyecto detona completamente en 9 segundos.	86
Figura 39.	Curva de fragmentación.....	91
Figura 40.	Comparación de P80 entre los detonadores no eléctricos y electrónicos.	94
Figura 41.	Porcentaje de fragmentación gruesa obtenido post voladura.....	94
Figura 42.	Factor de potencia empleando el sistema no eléctrico y electrónico.	95
Figura 43.	Costos de voladura con detonadores no eléctricos y electrónicos.	96

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Vista de las operaciones en la Unidad Minera Tacaza.....	11
Fotografía 2.	Perforadora Rock Drill en operación de taladros de producción.	13
Fotografía 3.	Perforadora Track Drill en operación de taladros de pre corte.	14
Fotografía 4.	Carguío manual en taladro de producción con ANFO Superfam Dos.....	15
Fotografía 5.	Carguío de cartucho de Emulfan en taladro de producción.	16
Fotografía 6.	Carguío de taladros de pre corte con Emulnor.....	16
Fotografía 7.	Plasteo de bolones con Fameplast para voladura secundaria.....	17
Fotografía 8.	Primado con fanel y booster para taladros de producción.	18
Fotografía 9.	Plasteo en bolones con Fameplast y Cordon detonante.	24
Fotografía 10.	Equipo de carguío en operación.....	25
Fotografía 11.	Vista de las operaciones de carguío y acarreo de material.....	26
Fotografía 12.	Motoniveladora en Operación.....	27
Fotografía 13.	Boloneria generado por voladura primaria.....	70
Fotografía 14.	Bancos sobredimensionados para voladura secundaria.	70

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación “Optimización de la Fragmentación de Rocas Empleando el Sistema de Voladura Electrónica Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno”, se centra en optimizar la fragmentación de rocas en los proyectos de voladura primaria.

Dentro de las operaciones del ciclo de minado, la operación de voladura de rocas es una de las más importantes dentro del proceso de extracción de minerales, ya que representa la primera operación de conminución del mineral, cuyo objetivo principal, es lograr un tamaño adecuado de roca con las condiciones granulométricas requeridas.

El desarrollo y avance tecnológico en los sistemas de iniciación en voladura desde los sistemas convencionales (mecha de seguridad y fulminante) hasta los detonadores electrónicos nos permite decidir por el que mejor resultados nos entregue a nivel técnico y económico. El sistema de voladura electrónica Fametronic inicio sus estudios de investigación y desarrollo desde el año 2010, haciendo su lanzamiento el año 2017 y finalmente al mercado latinoamericana el año 2019. Este sistema tiene los siguientes componentes: detonador electrónico Fametronic, unidad de registro (UR), unidad de disparo (UD) y el control remoto inalámbrico (CRI).

Así mismo para lograr una mejor rotura de macizo rocoso en el interior del taladro y en consecuencia una óptima fragmentación, se busca equilibrar las energías de tensión y de gases generados por los explosivos empleados. Para ello es importante realizar un diseño de carga selectiva, empleando un explosivo como carga de fondo de mayor densidad y de potencia media a alta como carga de fondo, frente a los explosivos de carga de columna.

La presente tesis está compuesta de cuatro capítulos, en el capítulo I se aborda los aspectos metodológicos, desde el problema de investigación, objetivos e hipótesis de la misma, así como la metodología de investigación. En el capítulo II se detalla el marco teórico, desde el marco referencial, bases teóricas, marco conceptual y marco legal. En el capítulo III se desarrolla el marco contextual, donde se explica todas las operaciones del ciclo de minado en la Unidad Minera Tacaza, dando a conocer el sistema de voladura con el que se viene trabajando. Finalmente, en el capítulo IV, se realiza la evaluación de la voladura con el sistema no eléctrico y electrónico, luego el análisis de los resultados obtenidos entre ambos sistemas de iniciación.

CAPÍTULO I

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Las operaciones de perforación y voladura son una de las primeras actividades del ciclo de minado, por lo tanto, resulta esencial llevar a cabo todo este proceso en base a una gestión eficiente, que va desde la adecuada selección de equipos de perforación para cada zona de la plataforma, diseño de mallas de perforación, correcta selección de los explosivos, diseño de carga y amarre de taladros, detonación y evaluación post voladura. Todo esto con el objetivo de obtener la fragmentación requerida, siendo este último de vital importancia para la mejor recuperación del mineral, es por ello que, actualmente existen detonadores temporizados electrónicos que permiten obtener mejores resultados y ventajas frente a los detonadores ordinarios, no eléctricos y eléctricos.

En la Unidad Minera Tacaza el método de explotación es a tajo abierto, y el proceso de voladura, es de iniciación no eléctrica, siendo un procedimiento bastante conocido en mediana minería, y que actualmente se tiene un gran problema en la fragmentación de rocas en caso de voladuras primarias, especialmente en la zona de mineralización. La mala fragmentación de rocas genera costos adicionales, así como; para fragmentos que van desde 10 pulg a 16 pulg se emplean rompebancos, y para bancos mayores a 16 Pulg se emplea voladura secundaria, ya sea plasteo o

cachorro, siendo en este último difícil de controlar la carga explosiva ocasionando pérdidas de mineral por dispersión de rocas. En consecuencia, todo esto genera elevados costos de perforación y voladura.

Frente a ello se plantea la utilización de detonadores electrónicos Fametronic, siendo estos sistemas electrónicos de alta precisión y flexibilidad en la asignación de tiempos de detonación. Una de las bondades más importantes de este detonador es mejorar la fragmentación de roca, en base a una actuación homogénea del explosivo dentro del macizo rocoso, obteniendo el P80 más adecuado, consiguientemente se esperan mejores resultados a nivel de costos de voladura.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿En qué medida influye la utilización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la optimización de voladuras primarias en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno?

1.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Cuáles son los parámetros técnicos de la voladura no eléctrica en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno?
2. ¿Cuáles son las características y parámetros de optimización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno?
3. ¿Cuál será los resultados de la voladura con el sistema electrónico Fametronic frente a la voladura no eléctrica, en la Unidad Minera Tacaza – Lampa – Puno?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar el nivel de influencia con la utilización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la optimización de voladuras primarias en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar los parámetros técnicos de la voladura no eléctrica en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno.
2. Determinar las características y parámetros de optimización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno.

3. Determinar los resultados de la voladura con el sistema electrónico Fametronic frente a la voladura no eléctrica en la Unidad Minera Tacaza – Lampa – Puno.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

Si se utiliza de manera pertinente los parámetros del sistema de voladura electrónica Fametronic en el cálculo y diseño de voladuras primarias, entonces la fragmentación de la roca se verá optimizada de manera significativa en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno.

1.4.2 Hipótesis Específicas

1. Con un análisis detallado de los parámetros técnicos de la voladura no eléctrica, se planteó la utilización del sistema electrónico Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno.
2. Con un estudio detallado de las características y parámetros de optimización del sistema de voladura electrónica Fametronic, se obtuvo mejores resultados en las voladuras primarias de la Unidad Minera Tacaza - Lampa - Puno.
3. Con un análisis detallado de los resultados de la voladura con el sistema electrónico Fametronic frente a la voladura no eléctrica, se optimizaron los proyectos de voladura en la Unidad Minera Tacaza – Lampa – Puno.

1.5 Variables e Indicadores

1.5.1 Variable independiente

V1: Sistema de voladura electrónica Fametronic.

Indicadores:

-) Disparo remoto.
-) Voladuras masivas.
-) Diseño de voladura.
-) Configuración de tiempos de detonador Fametronic.
-) Detección de detonadores fallidos, fugas y cortos circuitos.

1.5.2 Variable dependiente

V2: Optimización de la fragmentación de rocas.

Indicadores:

-) Fragmentación.

-) Factor de potencia.
-) Costo de voladura.
-) Reducción de numero de voladuras secundarias.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Como antecedentes del presente trabajo de investigación se tienen los siguientes:

Tesis nacional

2.1.1 Título: “Implementación de un nuevo sistema de iniciación electrónica en Perú – Seguridad y versatilidad”

Universidad: Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

Autor: Benjamín Augusto Huamán Ubillus

Objetivo General: El objetivo principal es mostrar las características del sistema electrónico Smartshot.

Así al final de este estudio entregar una muestra potencial del valor agregado de esta nueva tecnología, demostrando los erróneos cuestionamientos acerca de la implementación de esta tecnología, basados principalmente en los costos, sin tomar en cuenta la seguridad y por ende la productividad que se desprende del uso de este sistema.

Conclusión: Se reducen los problemas de fragmentación que se producen especialmente en zonas periféricas a las voladuras, tanto para minería de superficie como obras civiles. (Huamán Ubillús, 2010)

2.1.2 Título: “Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.”

Autor: Royer Romero Paucar

Universidad: Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo

Objetivo General: Determinar cómo la voladura con detonadores electrónicos optimiza la fragmentación y seguridad en el Tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.

Conclusiones: La voladura con detonadores electrónicos permite optimizar la fragmentación y la seguridad en el Tajo Toromocho de Minera Chinalco S.A.

El uso de los detonadores electrónicos permite optimizar el P80; en el Lado Oeste mejoró en 5.4%, mientras que en el lado Este el P80 mejoró en 16.7% comparado a de la voladura con detonadores pirotécnicos. (Romero Paucar, 2016)

Tesis local

2.1.3 Título: “Implementación y aplicación del sistema de iniciación electrónica para la optimización de voladura a tajo abierto caso Antamina – Ancash”

Autor: Frank Ericson Hualla Huayhua

Universidad: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - Cusco

Objetivo General: El objetivo principal es mostrar las características y bondades del sistema de iniciación de detonadores electrónico DigiShot™ Plus que contribuirá en mejorar los resultados de la Voladura, logrando obtener una voladura confiable, optima y seguro.

Conclusiones: La aplicación de detonadores electrónicos es favorable notablemente ya que se instalan de forma rápida y segura. Este es un sistema de iniciación de alta precisión, logrando así un grado de fragmentación adecuado por encima de lo requerido por el cliente. (Hualla Huayhua, 2016)

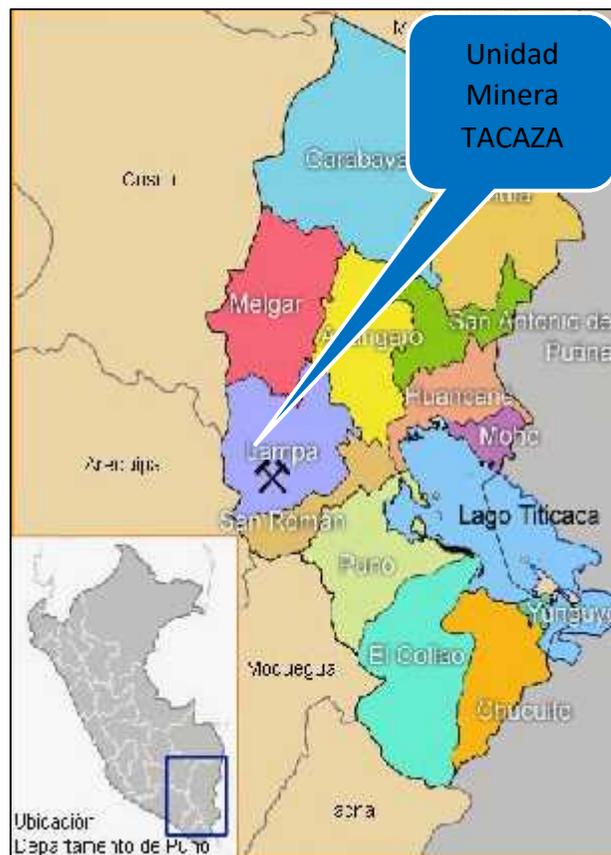
2.2 Marco Contextual

2.2.1 Ubicación

La Unidad Minera Tacaza se sitúa en el cerro Chacalaya en el centro poblado de Choroma del distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, departamento de Puno, y a una altitud que varía entre 4200 a 4450 msnm. Con coordenadas UTM 314750 E y 8271500 N según Datum WGS 84, zona19 (Tipo Chambi, 2019), así como se puede ver en la Figura 1.

Figura 1.

Ubicación de la Unidad Minera Tacaza.



Fuente: Elaboración Propia.

Para llegar a la Unidad Minera Tacaza se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Accesibilidad hacia la Unidad Minera Tacaza.

RUTA	DISTANCIA(Km)	TIEMPO (HORAS)	ESTADO DE VIA
Lima a Juliaca	1200.00	2.0	Aérea
Juliaca a Santa Lucia	58.00	1.0	Carretera asfaltada
Santa Lucia a Desvío Tacaza	16.00	0.5	Carretera asfaltada
Desvío Tacaza a Mina Tacaza	2.00	0.2	Carretera afirmada

Nota. Adaptado de (Tipo Chambi, 2019).

2.2.2 Geología Minera

El yacimiento trata de un cuerpo sub horizontal tipo manto, por estar asociado, limitado y hospedado en secuencias de rocas volcánicas y piroclásticas. El proceso de mineralización de la mina Tacaza se presentan en mantos de cobre, alojado en las secuencias volcánicas del grupo Tacaza, cuyas soluciones hidrotermales rellenaron y reemplazaron los espacios abiertos de las fracturas y brechas. Existen tres zonas de mineralización (Urday Diaz, 2022):

Zona de óxidos: Se hallan afloramientos y zonas superficiales del manto con una profundidad de 5 a 10m visualizándose minerales como azurita, malaquita, limonitas y crisocolas.

Zona de sulfuros secundarios: También conocida como zona de enriquecimiento, con los mejores valores de cobre, en minerales de calcosina-covelina-bornita, calcopirita-covelina-digenita Cu nativo.

Zona de sulfuros primarios: Zona de profundidad, formada por los minerales como calcopirita, pirita, digenita y magnetita (Urday Diaz, 2022).

2.2.3 Características Geomecánicas del Macizo Rocoso

Los parámetros geomecánicos se obtuvieron con la evaluación del estudio del macizo rocoso del tajo José María. Precisamente para la zona de mineralización del presente estudio, se realizó el análisis de la roca volcánica de la familia de rocas porfíricas (andesitas), obteniendo los siguientes datos que se muestran en la Tabla 2. y 3.

Tabla 2.*Clasificación RQD (Rock Quality Designation).*

RQD	CALIDAD DE ROCA
< 25 %	Muy mala
25 – 50 %	Mala
50 – 75 %	Regular
75 – 90 %	Buena
90 – 100 %	Excelente

Nota. Adaptado de (Bieniawski, 1989), sirve para medir el grado de fracturación del macizo rocoso.

Tabla 3.*Valores de resistencia a la compresión simple.*

DESCRIPCION	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (MPa)
Resistencia muy alta	>225
Resistencia alta	112 - 225
Resistencia media	53 - 112
Resistencia baja	28 - 56
Resistencia muy baja	< 28

Nota. Clasificación de la roca en función a su resistencia a la compresión simple (MPa).

2.2.4 Operaciones Mineras

2.2.4.1 Descripción

Los parámetros de diseño de la Unidad Minera Tacaza fueron calculados con el Software MinePlane, los parámetros son los siguientes:

-) Altura de banco: 5 metros
-) Ancho de berma: 2.5 metros
-) Ángulo de talud operativo: 70°
-) Gradiente de rampa: 10%
-) Ancho de vía: 12.5 metros

Para visualizar mejor la descripción de la Unidad Minera Tacaza se muestra en la Fotografía 1., el tajo con los equipos de carguío y acarreo en operación, así como la perforación de bancos, finalmente de material volado.

Fotografía 1.

Vista de las operaciones en la Unidad Minera Tacaza.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4.2 Método de Explotación

De acuerdo a la magnitud del yacimiento, su cercanía a la superficie, características geotécnicas y evaluación económica, el método de explotación utilizado en Tacaza es el Tajo Abierto (Open Pit) haciendo uso de equipos de carguío y acarreo (excavadoras y volquetes) y con una capacidad de procesamiento de 1400tmd, que produce concentrados de cobre principalmente.

2.2.4.3 Perforación

En Tacaza, se realizan perforaciones de producción y precortes con diámetro de taladros de 3 1/2", tal como se muestra en la Tabla 4. Esta operación se realiza en mallas de perforación

triangular, generalmente con una relación de E/B igual a 1.15, y que han sido diseñadas para cada tipo de material, finalmente la distribución de perforadoras se realiza según el tipo de voladura (primaria o secundaria).

Tabla 4.

Mallas de Perforación en mineral y desmante.

MATERIAL	MALLAS DE	DIAMETRO (pulgadas)	B (m)	E (m)	J (m)
Desmante	Producción	3 ½	3.50	4.00	0.30
	Precorte	3 ½	3.00	2.00	0.20
Mineral	Producción	3 ½	2.00	2.30	0.30
			1.70	2.00	0.30
			2.10	2.40	0.30
	Precorte	3 ½	1.50	2.00	0.20

Fuente: Elaboración propia. Donde B es Burden, E espaciamento y J sobreperforación.

La perforación de los taladros de producción (ver Tabla 5.) se realiza con una perforadora Rock Drill (ver Fotografía 2.) de accionamiento hidráulico y martillo en cabeza.

Tabla 5.

Características técnicas de la perforadora Rock Drill.

NOMBRE DEL EQUIPO	Rock Drill
SERIE O MODELO	JD 1300E
MARCA	JUNJIN
PESO	16,000 kg
MOTOR	Diesel 153 kw
AVANCE	Sobre oruga
COMPRESORA	GHH-Rand 400CFM

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 2.

Perforadora Rock Drill en operación de taladros de producción.



Fuente: Elaboración Propia.

Y para los taladros de precorte se realiza con las perforadoras Track Drill (ver Fotografía 3.), con accionamiento de una compresora y tiene martillo en cabeza, así mismo éstas también realizan la perforación para voladura secundaria (ver Tabla 6.).

Tabla 6.

Características técnicas de la perforadora Track Drill.

NOMBRE	SERIE	MARCA	AVANCE	COMPRESORA
Track Drill	LM 100A	Ingersoll Rand	Sobre oruga	Sullair 750 CFM. S/llantas
Track Drill	LM 100A	Ingersoll Rand	Sobre oruga	Atlas Copco 850 CFM S/llantas

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3.

Perforadora Track Drill en operación de taladros de pre corte.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4.4 Voladura

En la Unidad Minera Tacaza se realiza los siguientes tipos de voladura:

-) Voladura de producción o primaria.
-) Voladura controlada (cuando la malla está próxima a la pared del talud).
-) Voladuras secundarias.

Y los explosivos que se utilizan se en la Unidad minera Tacaza son proveídos por la empresa Famesa Explosivos S.A.

Para los taladros de producción se utiliza principalmente Anfo Superfam. Así mismo, debido a las condiciones climáticas y geológicas muchas veces se tienen taladros con agua y para ello se emplean emulsiones como el Emulfan, así mismo para los taladros de pre corte se utilizan emulsiones encartuchadas como el Emulnor, ya que las cargas de los taladros de pre corte deben ser desacopladas para el cuidado de talud. Finalmente, para voladura secundaria por plasteo se empela Fameplast.

Los **agentes explosivos** que se utilizan son los siguientes:

Superfam Dos: Es un agente explosivo granular compuesto con Nitrato de Amonio en prills grado ANFO, un combustible líquido y un colorante (ver Fotografía 4.). La mezcla se realiza en equipos modernos de alta precisión que, sumados a la alta calidad de los componentes, nos permite producir un agente de voladura de óptima calidad. El SUPERFAM DOS® se utiliza principalmente en minería superficial como también en minería subterránea, obras civiles (Famesa explosivos, 2024).

Fotografía 4.

Cargúo manual en taladro de producción con ANFO Superfam Dos.

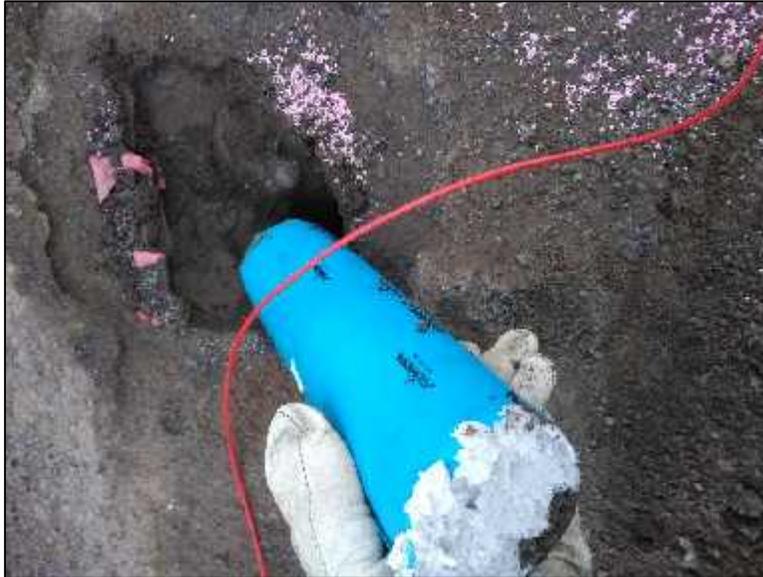


Fuente: Elaboración Propia.

Emulfan: Es un agente explosivo a base de emulsión explosiva que se encuentra dentro de una envoltura plástica conteniendo sustancias sensibilizadores y energizantes (ver Fotografía 5.). El EMULFAN® ha sido diseñado para trabajar en taladros de diámetros intermedios (diámetros superiores a 2 ½” y menores a 3 ½”) tanto como carga de fondo o como carga de columna con abundante agua que no es posible evacuar o donde no se puede cargar por medios mecanizados (Famesa explosivos, 2024).

Fotografía 5.

Carguío de cartucho de Emulfan en taladro de producción.



Fuente: Elaboración Propia.

Emulnor: Es una emulsión explosiva encartuchada (ver Fotografía 6.) en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura (Famesa explosivos, 2024).

Fotografía 6.

Carguío de taladros de pre corte con Emulnor.



Fuente: Elaboración Propia.

Fameplast: Es una masa explosiva moldeable elaborada a base de una emulsión del tipo agua en aceite (ver Fotografía 7.). El FAMEPLAST es usado en voladuras secundarias para fragmentar las rocas (“bolones”) al tamaño que requiere la operación minera (Famesa explosivos, 2024).

Fotografía 7.

Plasteo de bolones con Fameplast para voladura secundaria.



Fuente: Elaboración Propia.

Y para la iniciación se utilizan diversos accesorios de voladura. El primado se realiza con fanel dual y booster de $\frac{1}{2}$ o 1 libra, seguidamente se realiza el amarre entre taladros en superficie, para luego realizar las conexiones entre filas mediante faneles CTD o conectores de troncales de diferentes tiempos de retardo (17, 25, 35, 42, 64, 109) ms. También se utiliza cordón detonante para iniciar y amarrar los taladros de pre corte, el cual nos permite la salida instantánea de dichos taladros, así mismo este mismo cordón detonante se emplea para detonar el Fameplast en voladuras secundarias.

Finalmente, para la iniciación por seguridad se inicia con carmex de 2.1m, el cual tiene un tiempo de combustión de 160 s/m, el cual nos permite evacuar de la plataforma en un tiempo estimado de 5.6 minutos.

Los **altos y accesorios explosivos** que se utilizan en la Unidad Minera Tacaza son:

Booster: Es conocido con los nombres de “Primer”, “Cebo”, o “Cast Booster”, (ver Fotografía 8.) estando compuesto básicamente por pentolita. es un explosivo potente de alta densidad, velocidad y presión de detonación, por lo que la columna explosiva que será activada con éste, maximizará su desarrollo energético, lo cual redundará favorablemente en el resultado de la voladura (Famesa explosivos, 2024).

Fotografía 8.

Primado con fanel y booster para taladros de producción.

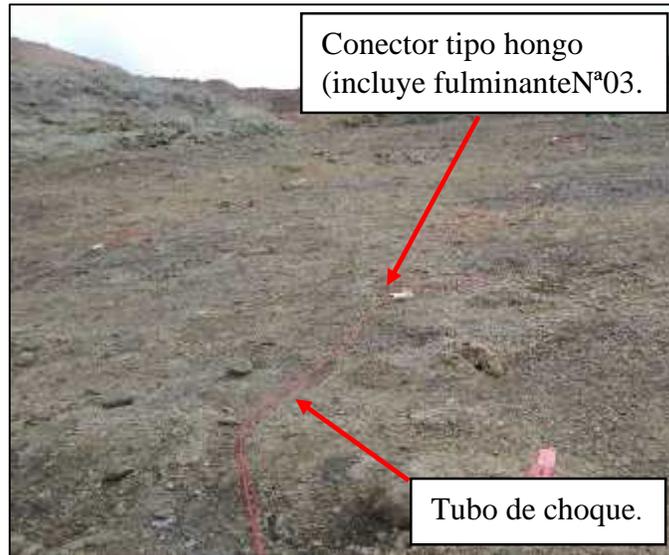


Fuente: Elaboración Propia.

Fanel Dual: Es un sistema de iniciación no eléctrico que fue desarrollado para minería subterránea, superficial y obras civiles (ver Figura 2.). Su principal característica radica en eliminar la necesidad de mantener y almacenar varios tiempos de retardo, lo cual permite al usuario reducir costos (Famesa explosivos, 2024).

Figura 2.

Amarre entre taladros con Fanel Dual en taladros de producción.

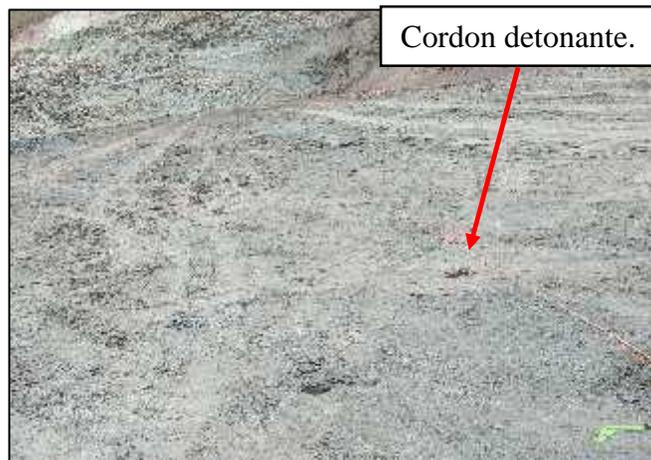


Fuente: Elaboración Propia.

Cordon detonante: Es un accesorio de voladura, que posee características como: Alta velocidad de detonación, facilidad de manipuleo y seguridad (ver Figura 3.). Está formado por un núcleo de pentrita (PETN), el cual está recubierto con fibras sintéticas y forrado con un material plástico. En el caso de los cordones reforzados, se utiliza adicionalmente hilos y resinas parafinadas para dotar al producto de una mayor resistencia a la abrasión y tracción (Famesa explosivos, 2024).

Figura 3.

Amarre con Cordon Detonante en taladros de pre corte.

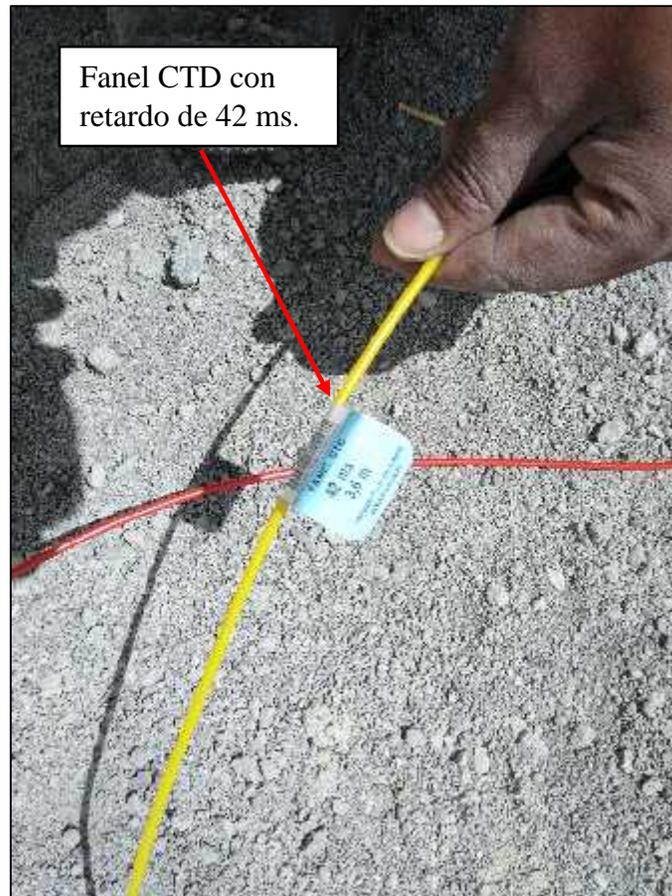


Fuente: Elaboración Propia.

Fanel CTD: Es un sistema de iniciación que se usa para retardar taladros y está compuesto por un fulminante de retardo ensamblado a la manguera Fanel® e insertado dentro de un bloque plástico, similar al usado por el FANEL® DUAL, (ver Figura 4.) donde se puede alojar hasta seis (6) Mangueras Fanel® (Famesa explosivos, 2024).

Figura 4.

Conexión entre filas con Fanel CTD de 42ms.

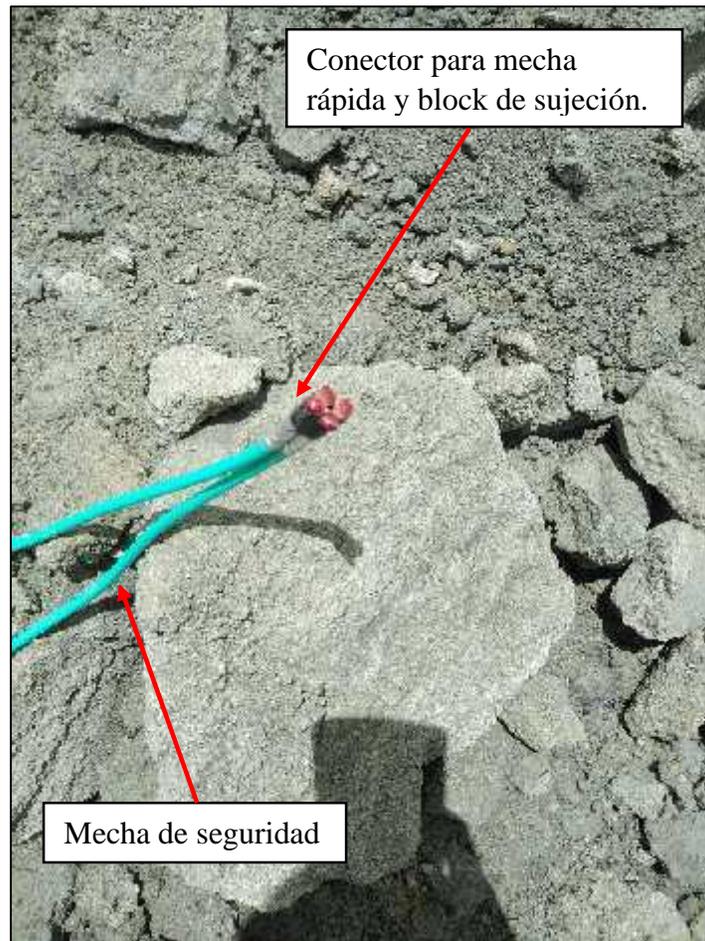


Fuente: Elaboración Propia.

Carmex: Compuesto por los siguientes componentes: un Fulminante Común N.º 8, un tramo de Mecha de Seguridad, un Conector para Mecha Rápida y un Block de sujeción, que viene a ser un seguro de plástico, (ver Figura 5.) cuya función es asegurar la Mecha Rápida al Conector para Mecha Rápida, y se utiliza para iniciar los taladros en la minería tradicional o para iniciar la voladura (Famesa explosivos, 2024).

Figura 5.

Dos unidades de Carmex previo al chispeo.



Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, (ver Tabla 7.) se muestra un resumen de todos los explosivos que se tiene en la Unidad Minera Tacaza.

Tabla 7.*Lista de explosivos utilizados en la Unidad Minera Tacaza.*

N°	DESCRIPCION	CONTENIDO	UM
01	Anfo Superfam	25 kg/bls	bls
02	Carmex 2.1 m	300 und/cja	und
03	Cordón Detonante 3p	750 m/rollo	m
04	Fanel Periodo Corto 5.2 m N°16	12 und/cja	und
05	Fanel Dual 8m 800/17 ms	80 und/cja	und
06	Fanel Dual 10m 800/17 ms	70 und/cja	und
07	Fanel Dual 14m 800/17 ms	40 und/cja	und
08	Emulnor 3000 2pulg *16pulg	26 und/cja	kg
09	Emulnor 300-S 3pulg *24pulg	08 und/cja	cja
10	Emulnor 3000 3 ½pulg *24pulg	04 und/cja	kg
11	Fameplast	25 kg/cja	kg
12	Booster HDP 1pulg	50 und/cja	und
13	Booster HDP 1/2pulg	50 und/cja	und
14	CTD 17ms/3.6 m	150 und/cja	und
15	CTD 25ms/3.6 m	150 und/cja	und
16	CTD 42ms/3.6 m	150 und/cja	und
17	CTD 65ms/3.6 m	150 und/cja	und
18	CTD 35ms/3.6 m	150 und/cja	und
19	CTD 109ms/3.6 m	150 und/cja	und

*Fuente: Área de perforación y voladura.*Voladura Secundaria

Se emplean dos técnicas de voladuras secundarias, la primera es con perforación (cachorreo), la cual consiste en perforar la roca hasta una profundidad entre 1/2 a 2/3 de su espesor que se disparan con cargas pequeñas de explosivo (ver Figura 6.).

Figura 6.

Perforación Secundaria (cachorro) en bancos de gran diámetro para voladura secundaria.



Fuente: Elaboración Propia.

La segunda es sin perforación (plasteo), la cual se coloca sobre la superficie de la roca, una plasta de por sí sola transfiere a la roca entre 10 y 30% de su energía nominal, si tenemos en cuenta a la merma por el factor de “tiempo-distancia” que requiere recorrer la onda de choque a bajo régimen antes de llegar a su nivel de equilibrio a alto régimen, e iniciarla, esta cifra debe ser aún menor. Según esto, un iniciador de bajo poder podría hacer perder a la plasta quizá hasta un 50% de su 10% de energía útil de trabajo.

La voladura secundaria normalmente es peligrosa, no es controlable y aumenta los costos generales de producción, por lo que para prevenirla o limitarla se debe planificar cuidadosamente la voladura primaria (ver Fotografía 9.).

Fotografía 9.

Plasteo en bolones con Fameplast y Cordon detonante.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4.5 Carguío

El carguío de material de Mina, consiste en recoger el material volado hacia los equipos de transportes, el control de calidad del material para el carguío y destinos de los camiones, será realizado por el jefe de guardia previa coordinación con el área de geología (ver Fotografía 10.).

En la Unidad Minera Tacaza se utiliza los siguientes equipos de carguío:

-)] 01 excavadora CAT 336DL de 1.88m³ (2.46yd³) de capacidad del cucharón.
-)] 01 excavadora JHON DEERE R360LC de 1.53m³ de carga promedio de cuchara.
-)] 01 excavadora HYUNDAI 350DLC de 1.75m³ de carga promedio de cuchara.

Fotografía 10.

Equipo de carguío en operación.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4.6 Acarreo

El proceso de acarreo es el traslado adecuado del material removido hacia su destino, que puede ser planta, botadero o stock (ver Fotografía 11.).

En la Minera Tacaza se cuenta con la siguiente flota de volquetes para el transporte de mineral y desmonte:

-)] 08 volquetes VOLVO FM 440 de 15m³ de capacidad de carga.
-)] 04 volquetes VOLVO FMX 440 de 18m³ de capacidad de carga.
-)] 02 volquetes VOLVO FMX 460 de 20m³ de capacidad de carga.

Fotografía 11.

Vista de las operaciones de carguío y acarreo de material.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4.7 Servicios Auxiliares

Los trabajos auxiliares en la unidad minera Tacaza, se realizan con tractores, motoniveladoras, rodillo de compactación y retroexcavadora. Es importante mencionar las actividades que realizan cada equipo en las diferentes áreas de la mina, ya sea en el frente de minado, en la cancha de gruesos, en los accesos, rampas, contenedores, botaderos, cancha de relaves, entre otros (ver Fotografía 12.). A continuación, se menciona los equipos auxiliares:

-) Tractor Oruga CAT D6T XL.
-) Cargador frontal CAT 950GC.
-) Retroexcavadora CAT 420 F2.
-) Motoniveladora CAT 140M.
-) Rodillo Compactador.

Fotografía 12.

Motoniveladora en Operación.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4.8 Planta de Beneficio

La planta concentradora tiene una capacidad de 1400 TMD, y el proceso de tratamiento del mineral comienza con la recepción de material, previamente se pesa en la balanza mecánica que tiene una capacidad de 40 toneladas.

El mineral se alimenta a la tolva de gruesos que tiene una capacidad de 250 TMH, o también se almacena en la cancha de gruesos (stock pile) en función a la calidad de los minerales debidamente clasificados. La alimentación a la tolva de gruesos se realiza mediante un cargador frontal, realizando un blending o mezcla de acuerdo a las calidades de los minerales.

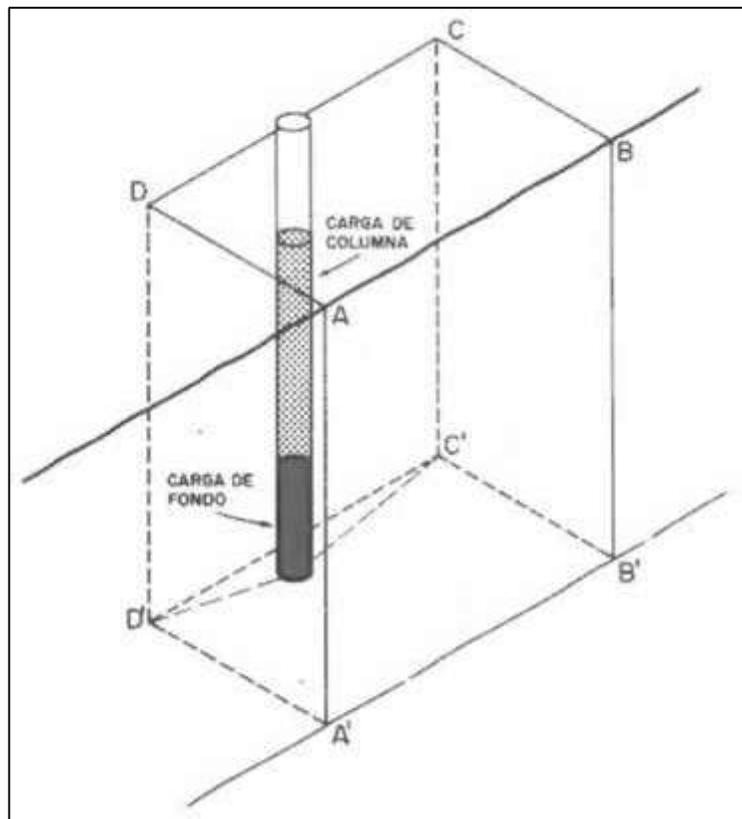
El circuito de la planta concentradora consta de las siguientes secciones: Chancado Molienda-clasificación, flotación, filtrado-despacho de los concentrados y deposición de relaves.

2.3 Bases Teóricas

Distribución de los Explosivos en los Barrenos: En la Figura 7., la energía necesaria para que se produzca la rotura de roca no es constante en toda su altura. En efecto la energía generada por el explosivo debe superar la resistencia a tracción de la roca en la parte superior del taladro y la resistencia a cizallamiento en el fondo del taladro. Como la resistencia a cizallamiento es superior a la tracción, es preciso emplear una distribución de carga selectiva, de tal manera que la energía específica en el fondo del barreno sea de 2 a 2.5 veces superior a la energía de columna. Esto significa que, deben emplearse explosivos de gran densidad y potencia en las cargas de fondo, tales como los hidrogeles y emulsiones, y explosivos de baja densidad y potencia en la carga de columna, como el ANFO, o hidrogeles y emulsión de baja densidad.

Figura 7.

Distribución del explosivo en un barreno.



Nota. Adaptado de (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

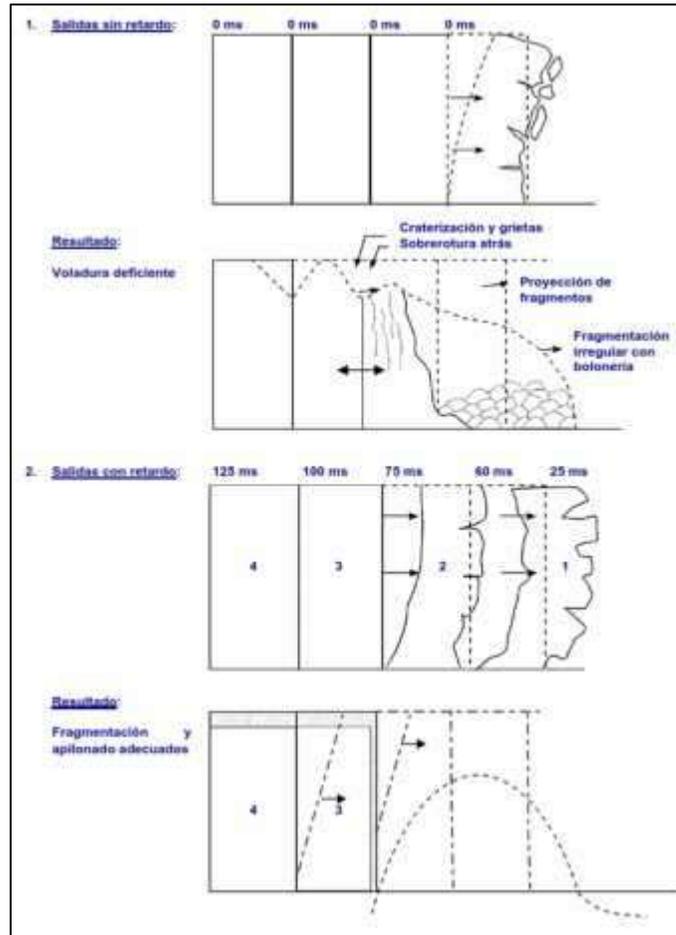
La carga de fondo debe tener al menos una longitud de $0.6B$ para que su centro de gravedad este por encima o la misma cota que el piso del banco. Según Langefors ha sido habitual aplicar cargas selectivas para diámetros de taladros menores a 165 mm, sin embargo, prolongar la carga de fondo por encima de una longitud igual al valor de la piedra no contribuye apreciablemente al efecto de rotura en el plano del pie del banco, por lo que la carga inferior debe está comprendida entre $0.6 B - 1.3 B$. El empleo de cargas selectivas tiene las siguientes ventajas (Insituto Geologico y Minero de España, 1987):

- J Mejora la rotura en el fondo, eliminando los problemas de repiés y favoreciéndola operación de minado.
- J Disminuye los costes de perforación y voladura, especialmente en rocas duras.
- J Baja el consumo específico de explosivo debido a un mejor aprovechamiento del mismo.

Importancia de la cadencia: El arte de un adecuado diseño de disparo consiste en orientar las salidas de los taladros hacia una cara libre, sin que se produzcan interferencias entre ellos, utilizando eficientemente los tiempos de retardo disponibles. La mayor ventaja de los métodos de iniciación con retardos es que facilitan la secuencia o cadencia de salida de los taladros mediante la formación de nuevas caras libres entre ellos con cada tiro. En banqueo superficial el diseño es más simple, orientando la salida por filas de taladros hacia la cara libre existente, sea con filas paralelas a ella o con filas angulares (ver Figura 8.). Normalmente los micro retardos proporcionan mayor fragmentación ya que el efecto de tiempos de acción muy cortos entre los taladros se traduce en colaboración entre sí para romper la roca (EXSA, 2019).

Figura 8.

Efectos de la salida secuencial por retardos en bancos de superficie.



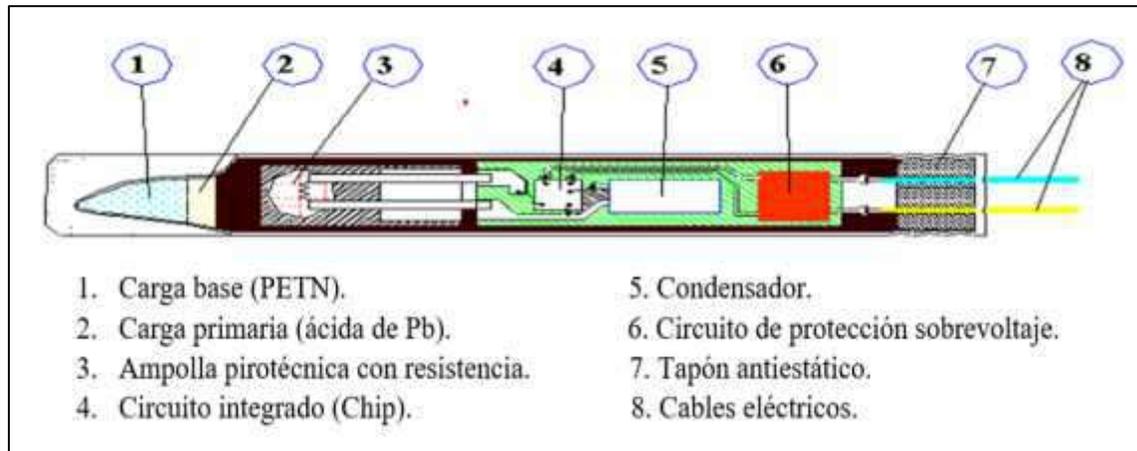
Nota. Adaptado de (EXSA, 2019)

Sistema de Iniciación Electrónica (SIE): Desde 1980 las compañías de tecnologías electrónicas comenzaron a desarrollar los detonadores temporizados electrónicos. Estos accesorios ofrecen alta precisión y flexibilidad, además de un mayor control de fragmentación, vibraciones y proyecciones, entre otras variables. Los componentes principales del detonador electrónico es una unida de retardo electrónico y un detonador instantáneo (ver Figura 9.) (Famesa Explosivos, 2019).

Dentro de las componentes del detonador electrónico, se distingue un microchip siendo el corazón del detonador (4), un condensador para almacenar energía (5), y un circuito de seguridad conectado a los hilos que sirven de protección frente a diversas formas de sobrecargas eléctricas (6), la otra unidad es un detonador eléctrico instantáneo, dentro de esta la gota inflamadora para la iniciación (3) de la carga primaria (2) (Enaex, 2019).

Figura 9.

Componentes de un detonador electrónico.



Nota. Adaptado de (Enaex, 2019)

En cuanto a los tiempos de retardo los detonadores electrónicos tienen posibilidades mucho mayores que los convencionales, algunas marcas ofrecen rangos de tiempos que van desde 1 ms hasta 15 s. Los microchips proporcionan tiempos de retardo muy precisos, con una exactitud del orden de 0.1% del intervalo programado (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, Manual de perforación y voladura de rocas, 2003).

Otras características de los detonadores electrónicos son:

-) No detonan sin un código de activación único.
-) Reciben la energía de iniciación y el código desde el aparato de programación y mando.
-) Están dotados de protección a sobre tensiones, las pequeñas cargas se disipan a través de circuitos de seguridad, mientras que los altos voltajes (>100 V) se limitan por medio de un cortacorriente.
-) Son insensibles a los efectos de tormentas, radio frecuencia y electricidad estática.
-) La tensión de operación es pequeña (<50 V) que es una gran ventaja considerando riesgo de corrientes errantes (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, Manual de perforación y voladura de rocas, 2003).

Sistema de Iniciación Electrónico Fametric: El sistema de iniciación electrónico FAMETRONIC® BAC de FAMESA posee detonadores de alta precisión, el tiempo de retardo de cada uno alcanza hasta 20 segundos con intervalos de 1 milisegundo, pudiendo

programarse desde 0 ms a 20 ms, lo que permite elegir la secuencia adecuada en cada proyecto de voladura sin ceñirse a series estándar de fabricación de detonadores convencionales. Los microchips proporcionan tiempos de retardo muy precisos con exactitud del orden del 0.04% del intervalo programado. (Famesa Explosivos, 2019).

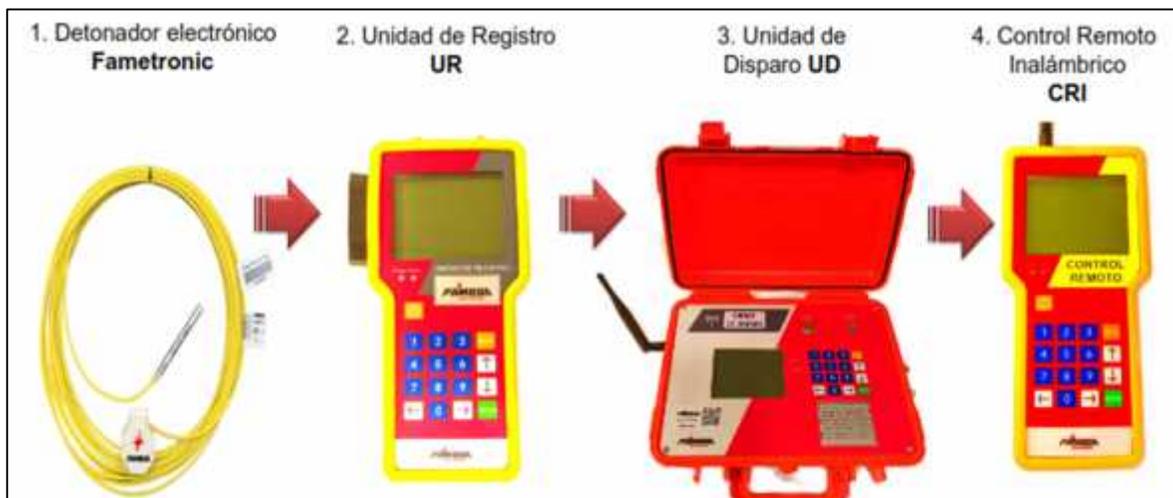
En estos sistemas electrónicos de alta precisión y flexibilidad en asignación de tiempos ofrecen las siguientes ventajas y resultados (Famesa Explosivos, 2019):

-)] Reduce la vibración, al eliminar la superposición de ondas por efecto de dispersión. Así las intensidades de vibración son más predecibles que en otros sistemas.
-)] Mejora la fragmentación, al conseguir una actuación homogénea del explosivo dentro del macizo rocoso.
-)] Mayor versatilidad de diseños de las voladuras al ser ajustables los tiempos en intervalos de 1 ms.
-)] Mejora resultados de las voladuras especiales, como en voladuras de contorno.

Componentes del Sistema Fametronic: Los componentes del sistema Fametronic comprende cuatro elementos (ver Figura 10.) las cuales se muestra y detalla a continuación:

Figura 10.

Componentes del sistema Fametronic.



Nota. Adaptado de (Famesa Explosivos, 2019)

En donde la **unidad de registro (UR)** realiza las siguientes funciones:

-) Registra los detonadores por medio de escáner, conexión directa, de manera manual, conector lateral y registro automático.
-) Verifica la conexión de todos los detonadores almacenados.
-) Opción de test individual, obteniendo información del ID.
-) Programa el tiempo de todos los detonadores.
-) Reemplaza y borra detonadores electrónicos.
-) Detección de detonadores conectados y no registrados (intrusos).
-) Tiene una capacidad máxima de registro de 500 detonadores por UR (Famesa Explosivos, 2019).

La **unidad de disparo (UD)** tiene las siguientes características y funciones:

-) 12 canales disponibles para la comunicación.
-) Ejecuta las ordenes enviadas por el Control Remoto
-) Inalámbrico (CRI).
-) Verifica la conexión de todos los detonadores.
-) Detecta la corriente de fuga.
-) Opción de iniciar la voladura de manera cableada.
-) km de línea troncal como máximo por cada UD (Famesa Explosivos, 2019).

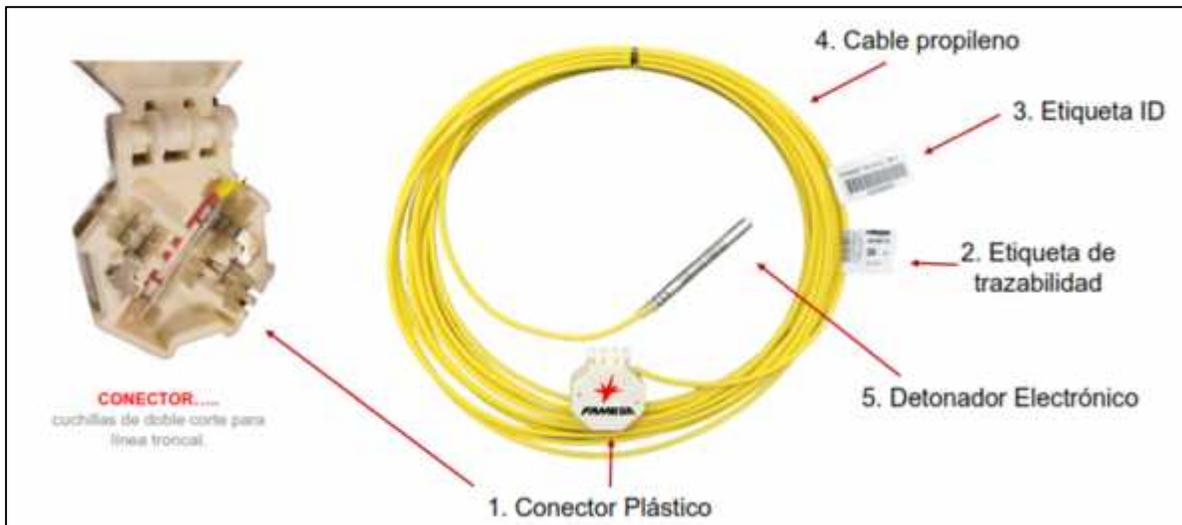
El control **remoto inalámbrico (CRI)** tiene las siguientes características y tareas:

-) Se conecta inalámbricamente con la Unidad de Disparo (UD).
-) Con línea de vista, permite una comunicación inalámbrica de hasta 4 km.
-) Conexión hasta con 5 Unidades de Disparo.
-) Permite iniciar el disparo o deshabilitar toda la malla en caso se solicite.
-) Posible inicio de múltiples voladuras con hasta dos puntos de disparos sin interferencias entre ellos (Famesa Explosivos, 2019).

Los componentes del detonador electrónico se muestran (ver Figura 11.) y detallan a continuación:

Figura 11.

Componentes del sistema electrónico Fametric.



Nota. Adaptado de (Famesa Explosivos, 2019)

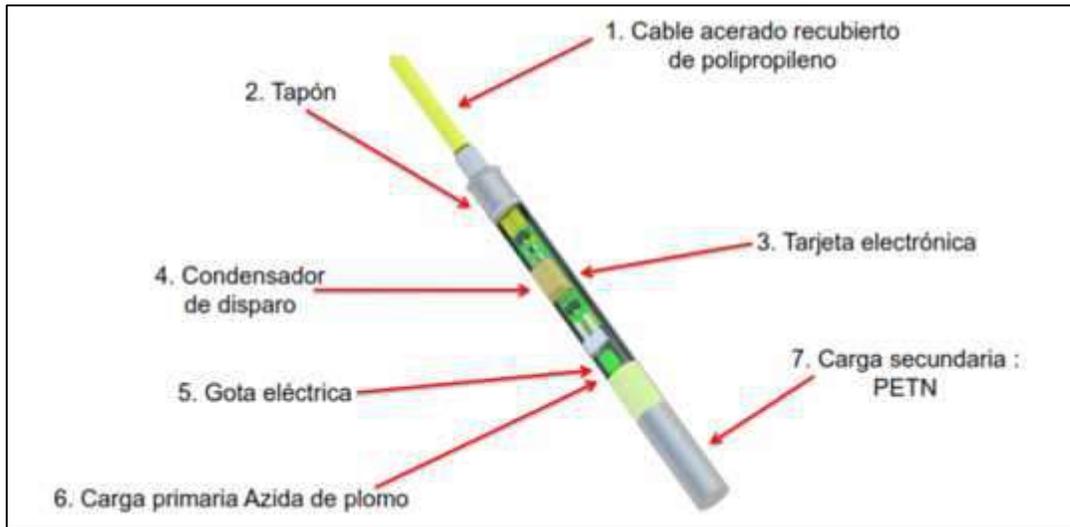
El detonador electrónico posee las siguientes características:

-) Programable de 0s a 20s, con incrementos de 1ms.
-) Cable blindado con conductor de acero y recubierto en cobre.
-) Etiqueta de identificación única para cada detonador.
-) Etiqueta de trazabilidad.
-) Sin polaridad para la comunicación.

Y las partes del detonador o fulminante del sistema electrónico Fametric consta de 7 partes (ver Figura 12.).

Figura 12.

Partes del fulminante o detonador electrónico Fametronic.



Nota. Adaptado de (Famesa Explosivos, 2019)

Buenas Prácticas del Sistema Fametronic: A continuación, se dan a conocer las buenas prácticas o procedimientos para el uso correcto del sistema electrónico Fametronic:

- Un día antes, poner a cargar los equipos (UR, UD y CRI) que serán utilizados en los proyectos a disparar.
- Realizar checklist, prueba de equipos, (UR, UD Y CRI) se encuentren en el mismo canal.
- Asegurarse al principio de cada día que la batería de los equipos (UR, UD y CRI) se encuentren cargadas.
- Se debe limpiar los equipos antes y después de su uso. El exceso de suciedad (polvo, barro u otro) podría ocasionar problemas de funcionamiento.
- No deje las pantallas de los equipos expuestos directamente al sol. Esta se podría dañar.
- Si se deja de utilizar un equipo, este debe ser guardado en su maleta respectiva (cada set de equipos se puede identificar por el mismo color).
- Evitar dejar los equipos cerca a los pozos de los taladros, en áreas de tránsito de vehículos o cerca a los taludes, ya que podrían sufrir daños o pérdidas.

- h) Verificar que registros anteriores se encuentren borrados antes de descargar o recolectar información en la UR, en caso de que la UR mantenga un adelanto de registros etiquetarla e informar a los involucrados.
- i) Usar el arnés del equipo, para evitar las caídas.
- j) Antes de iniciar el registro de detonadores, verificar la correcta descarga de información, la ruta de registro y la cantidad de detonadores.
- k) La entrega de tiempos a los detonadores tiene un tiempo de demora que tiene directa relación con la cantidad de detonadores, es importante tenerlo en cuenta para evitar atrasos en la voladura.
- l) Para el envío de información de la UR a la UD, los equipos no deben estar a más de 1 metro de distancia.
- m) Es importante que el canal de comunicación sea el mismo para UR y UD.
- n) No encender el equipo con la línea troncal conectada a sus terminales.
- o) Verificar que registros anteriores se encuentren borrados antes de comenzar a recibir información de la UR.
- p) Siempre realizar el chequeo (NetCheck) de los detonadores antes de comenzar su carga.
- q) NO realizar el chequeo con la UD, cuando aún no se encuentra despejado el área de influencia.
- r) De iniciar una voladura de manera alámbrica, debe asegurar que este en un lugar seguro y fuera del radio de evacuación
- s) Para detonaciones inalámbricas, dejar el equipo con la maleta cerrada y ubicado en un lugar sin riesgos de daño (atropello, caídas de rocas, FlyRock, etc.).
- t) Si se va a realizar disparos inalámbricos, realizar medición de comunicación inalámbrica desde donde será iniciado. Para esto se deberá utilizar una prueba con detonadores inertes.
- u) Es importante que el canal de comunicación sea el mismo para la UD y el CRI.
- v) Asegurarse que el equipo CRI tenga visual directa con la UD.
- w) Que no exista interferencias en la línea visual entre los equipos no quiere decir que exista buena comunicación radial. Se debe considerar la zona de Fresnel (Famesa Explosivos, 2019).

Modelo Predictivo de Fragmentación de Kuz-Ram: Es una abreviación de dos principales contribuyentes de los modelos de Kuznetzov y Rosin-Rammler (Enaex, 2019).

Estimación del **factor de roca** de Cunningham (A) se deduce de los datos geológicos del macizo rocoso con la ecuación:

$$A = 0.0 (R + J_1 + J_2 + R + H)$$

De donde los parámetros de la ecuación del factor de roca se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.

Parámetros para determinar el factor de roca.

PARAMETRO	RANKING
RMD (Descripción de la masa rocosa)	
Pulvulento/quebradizo.	10
Diaclasado verticalmente.	JPS + JPA
Masiva.	50
JPS (Espaciamiento de fracturas)	
0.1m	10
0.1m a sobre tamaño.	20
Sobre tamaño a tamaño de la malla.	50
JPA (Angulo del plano de fractura)	
Buzamiento fuera de la cara.	20
Rumbo perpendicular a la cara.	30
Buzamiento hacia la cara.	50
RDI (Influencia del peso específico)	
	25(Pe) - 50
	E/3 para E < 50GPa
	UCS/5 para E > 50GPa
HF (Factor de dureza)	
	E: Modulo de Young.
	UCS: Resistencia a la compresión uniaxial.

Nota. Adaptado de (Enaex, 2019)

La relación de **Kuznetsov** para cargas selectivas (carga de fondo y columna), está dada por:

$$X_{50} = A \left(\frac{V_0}{Q_e} \right)^{0.8} Q_e^{\frac{1}{6}} \left[\frac{1}{E_f \frac{\%C_f}{1} + E_c \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right)} \right]^{0.6}$$

Donde:

X_{50} : Tamaño medio de los fragmentos (cm).

A: Factor de roca.

V_0 : Volumen de roca quebrado por pozo (m^3)

Q_e : Cantidad de explosivo por excepto el de la pasadura (kg).

E_f y E_c : Potencia en peso de los explosivos de fondo y columna respectivamente (%).

$\%C_f$: Porcentaje de carga de fondo c/r al total (%).

El índice de uniformidad de **Cunningham** para cargas selectivas (carga de fondo y columna)

es:

$$n = \left(2.2 - 1 \frac{B}{d} \right) \left(\frac{1+S}{z} \right)^{0.5} \left(1 - \frac{w}{B} \right) \left[\frac{A \left[\gamma \frac{\%C_f}{1} - \gamma \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right) \right]}{\gamma_c \frac{\%C_f}{1} + \gamma \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right)} + 0.1 \right]^{0.1} \left[(Q + (K \quad)B \quad) \left[\frac{\%C_f}{1} + \frac{1}{\gamma_c} \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right) \right] - K \quad \right] \frac{1}{H}$$

Donde:

B: Burden (m).

d: Diámetro de taladro (mm).

S: Espaciamiento (m).

W: Desviación de la exactitud de perforación (m).

γ , γ_c : Densidades lineales de carga de fondo y columna (kg/m).

$\%C_f$: Porcentaje de carga de fondo c/r al total (%).

Kj: Constante de pasadura o sobre perforación.

Q_e : Cantidad de explosivo por excepto el de la pasadura (kg).

H: Altura de banco (m).

La ecuación del **tamaño característico (X_c)** es:

$$X_c = \frac{X_{50}}{0.6^{1/n}}$$

Donde:

X_c: Tamaño característico (cm).

X₅₀: Tamaño medio de los fragmentos (cm).

n: Factor de roca.

La ecuación de **Rosin-Rammler** es:

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n}$$

Donde:

R: Porcentaje de material retenido (%).

X: Tamaño de los fragmentos (cm).

X_c: Tamaño característico (cm).

n: Factor de roca.

1-R: Porcentaje de material pasante (%).

2.4 Marco Conceptual

ANFO: Agente explosivo compuesto por nitrato de amonio (AN) y petróleo diésel (FO) en proporciones de 94% aproximadamente de nitrato de amonio que actúa como oxidante y en torno a 6% de petróleo diésel que actúa como combustible (Bernaola Alonso, Castilla Gómez, & Herrera Herbert, 2013). Las características de este explosivo son las siguientes:

- J) Baja/media potencia.
- J) Muy baja densidad (0.8 g/cc)
- J) Nula resistencia al agua, ya que el nitrato de amonio es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- J) Baja velocidad de detonación (2000 – 3000 m/s).
- J) No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo (cordon detonante, cebos de dinamita, cartuchos hidrogel o multiplicadores)

Emulsión: Es un agente de voladura que carece de un elemento explosivo en su composición (eventualmente se sensibilizan con micro esferas) por lo que también requieren ser detonadas con un cebo reforzador de alta presión de detonación. Su aplicación también está dirigida a taladros de mediano a gran diámetro en tajos abiertos, como carga de fondo de alta densidad o como carga de columna (total o espaciada) en taladros con agua, o perforados en roca muy competente (EXSA, 2019).

A diferencia de los explosivos hidrogel su viscosidad puede ser graduada desde una emulsión líquida similar a una leche de magnesia hasta una viscosidad semejante a una margarina, lo que permite su carga al taladro, tanto en forma encartuchada como a granel mecanizada, por bombeo directo al fondo del mismo para desplazar al agua. Una ventaja importante es su facilidad de mezcla con el ANFO para formar ANFO Pesado (EXSA, 2019).

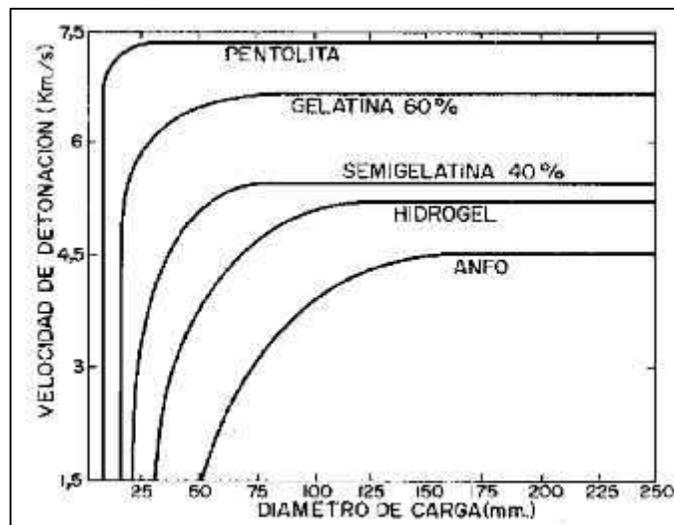
Las características de la emulsión son las siguientes:

-) Alta velocidad detonación (4500 – 5500 m/s).
-) Excelente resistencia al agua.
-) Mucha menor sensibilidad al choque o fricción.

Velocidad de Detonación: Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo, por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de la liberación de energía (ver Figura 13.). Los factores que indican a la velocidad de detonación son: la densidad de carga, el diámetro, el confinamiento, la iniciación y el envejecimiento del explosivo, si los tres primeros parámetros aumentan, las velocidades de detonación respectivas aumentan considerablemente (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

Figura 13.

Influencia del diámetro de la carga sobre la velocidad de detonación.



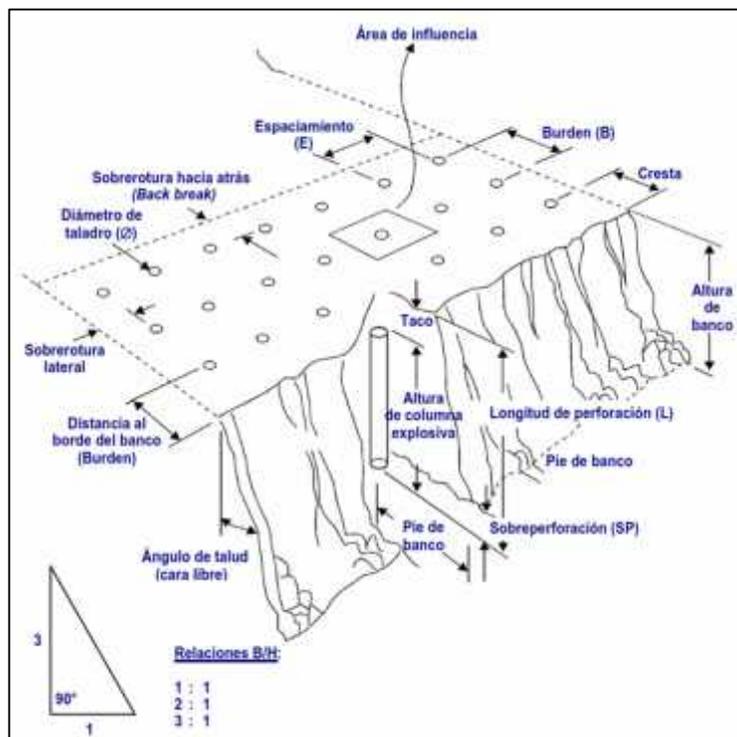
Nota. Adaptado del (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

Densidad de los Explosivos: Es una característica muy importante de los explosivos industriales, la cual depende del tipo de sustancias empleados en su fabricación, ya que cuanto mayor es la densidad del explosivo, mayor es la concentración de carga. La densidad relativa de los explosivos fluctúa normalmente entre 0.8 a 1.5. se tiene algunos explosivos de menor densidad con aplicaciones puntuales como; voladuras de recorte o escolleras. Finalmente, la densidad es un parámetro muy importante para la carga de barrenos con agua, lo cual en explosivos de densidad menor a 1.1 g/cm^3 resulta dificultoso y laborioso el carguío puesto que los cartuchos tienden a flotar (Bernaola Alonso, Castilla Gómez , & Herrera Herbert, 2013).

Conceptos Básicos en el Diseño de Voladuras: Los parámetros se visualizan en la Figura 14.

Figura 14.

Esquema y nomenclatura de una voladura en banco.



Nota. Adaptado de (EXSA, 2019)

- a) **Diámetro del taladro:** La selección del diámetro apropiado es muy importante para obtener una fragmentación adecuada a un costo mínimo. Normalmente el costo de perforación y de explosivos disminuye a medida que el diámetro del taladro aumenta.

Una relación útil para determinar el diámetro mínimo es el siguiente (Ames Lara, 2019).

$$D = 0.7$$

Donde:

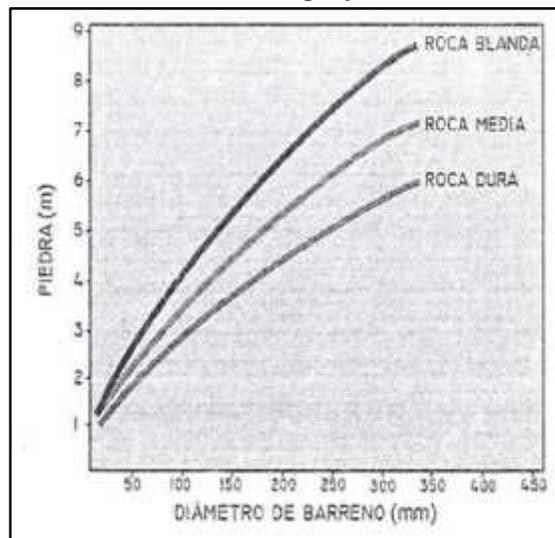
D: Diámetro del taladro (pulgadas)

H: Altura de banco (m)

- b) Burden y Espaciamiento:** El Burden es considerado la variable más importante y crítica en el diseño de voladuras, con respecto a la fragmentación del material, posición de la pila de escombros, vibración y sobre rotura (ver Figura 15.). El Burden (B) es la distancia mínima desde el eje de un taladro al frente libre y el espaciamiento (S) es la distancia entre taladros de una misma fila. Estas variables dependen del diámetro de perforación, propiedades de las rocas y de los explosivos, de la altura de banco y grado de fragmentación, y desplazamiento de material deseado. Se han propuesto diferentes fórmulas de cálculo de Burden, y dependiendo de las propiedades del macizo rocoso, todas se sitúan en un rango entre 25D a 40D (López Jimeno, López Jimeno, García Bermudez, Cebrián Romo, & Rocha Gil, 2019).

Figura 15.

Dimensión del burden en función del diámetro de perforación.

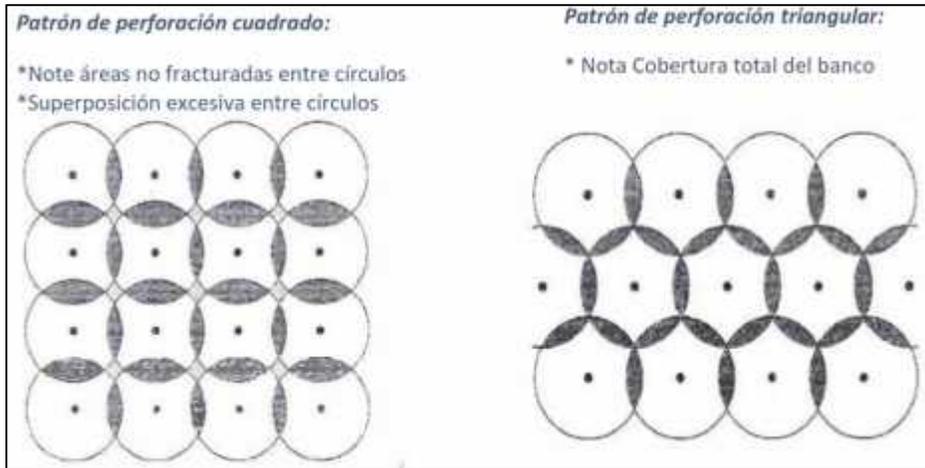


Nota. Adaptado de (López Jimeno, López Jimeno, García Bermudez, Cebrián Romo, & Rocha Gil, 2019)

- c) **Altura de banco:** La rigidez del paralelepípedo de roca situado delante de los taladros influye en los resultados. Cuando la relación de H/B es 1 se obtiene una fragmentación gruesa con problemas de sobre excavación y toe. Si H/B es 2 se aminoran estos efectos, eliminándose en su totalidad con H/B mayor o igual que 3, que es la relación optima. Sin embargo, esta última relación se cumple más en canteras que en minería metálica, porque la altura de banco viene dada por el alcance de la pala y dilución de mineral (López Jimeno, López Jimeno, García Bermudez, Cebrián Romo, & Rocha Gil, 2019).
- d) **Sobre perforación:** La sobre perforación es la distancia perforada debajo del nivel de piso para asegurar la cota final o rasante de piso. La razón de la sobre perforación es que las ondas de esfuerzo no están en amplitud máxima en el fondo de la columna explosiva, sin embargo, ellos están en su máxima amplitud a una distancia finita sobre este nivel. Esta es la razón porqué los problemas de fragmentación ocurren cerca al toe (Ames Lara, 2019).
- e) **Taco:** Es la distancia entre la boca del taladro hasta la parte superior de la columna del explosivo, esta zona vacía debe ser llenada con material estéril, para dar confinamiento a los gases de la explosión y reducir el chorro de aire (air blast). Comúnmente se usa detritus de la perforación como material para el taco, pero el uso de roca molida incide mejor en la fragmentación. Finalmente se considera que el taco debería ser como máximo 50% de la altura de banco (Ames Lara, 2019).
- f) **Esquemas de perforación:** En las voladuras en banco, normalmente se utilizan esquemas cuadrados y rectangulares, debido al replanteo. Los esquemas más efectivos son los denominado “al tresbolillo” y entre ellos el mejor es que forma triángulos equiláteros, ya que mejor distribución de energía del explosivo a la roca, y permie tener mayor flexibilidad en el diseño de secuencia de encendido y dirección de voladura. Este esquema produce mejor la fragmentación con un espaciamiento que vale “ $S=1.15B$ ” para taladros verticales, y “ $S=1.15\cos\beta$ ”, siendo el ángulo con respecto a la vertical, para barrenos inclinados. A continuación, se muestra en la Figura 16. esquemas cuadrados y triangulares, además en la Figura 17., mallas cuadradas (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, Manual de perforación y voladura de rocas, 2003)

Figura 16.

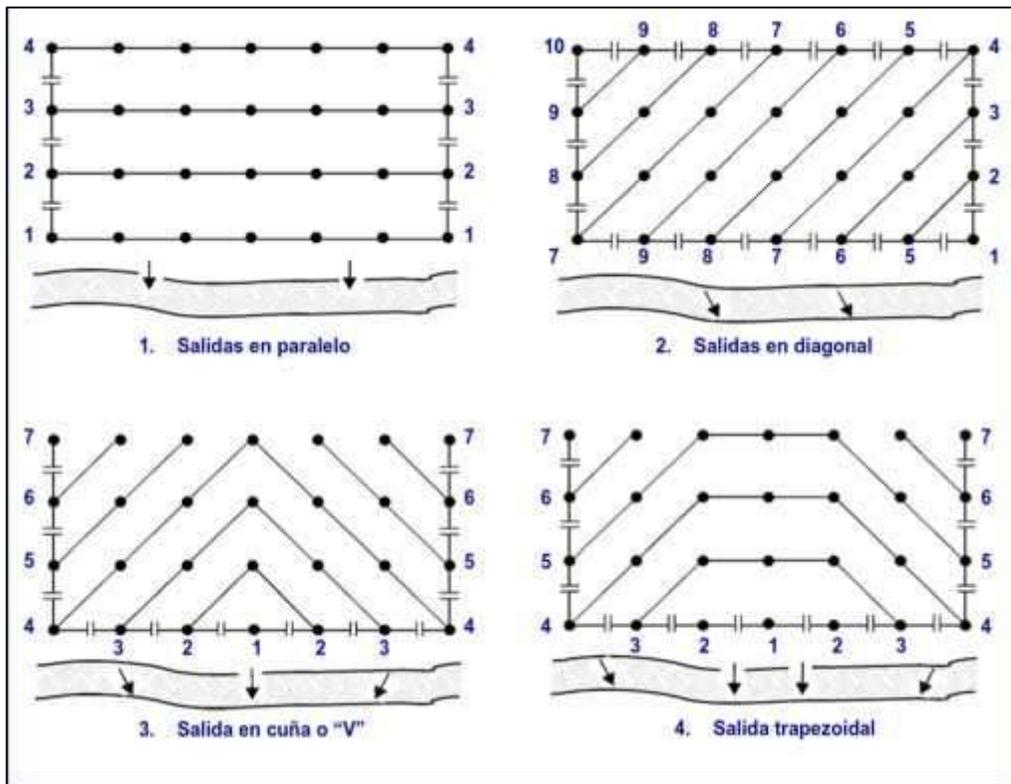
Esquemas cuadrado y triangular.



Nota. Adaptado de (Famesa Explosivos, 2019)

Figura 17.

Mallas cuadradas de perforación y salidas de los taladros.



Nota: Adaptado de (EXSA, 2019)

g) Tiempos de retardo y secuencias de encendido: Los tiempos de retardo entre taladros y secuencia de encendido, juegan un rol muy importante en las voladuras, precisamente sirven para disminuir las cargas operantes, en consecuencia, los niveles de vibración, de tal manera que se logre efectivizar los mecanismos de rotura y control en el desplazamiento de la roca, sobre excavación, repiés y proyecciones (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, Manual de perforación y voladura de rocas, 2003)

Los objetivos que se busca con la secuencia de encendido son los siguientes (Bernaola Alonso, Castilla Gómez , & Herrera Herbert, 2013):

-) Conseguir mayor fragmentación, esponjamiento y desplazamiento adecuado de la roca.
-) Reducir las proyecciones y sobre excavaciones.
-) Minimizar la intensidad de las vibraciones transmitidas al macizo rocoso y la onda aérea producida.

Para el **tiempo de retardo entre barrenos de la misma fila**, existen muchos criterios recomendados, entre ellos uno que relaciona el tiempo de retardo con la densidad de la roca y el consumo específico de explosivo (Bernaola Alonso, Castilla Gómez , & Herrera Herbert, 2013):

$$T = 2 \sqrt{\frac{D_r}{C}}$$

Siendo:

TRB: Tiempo de retardo entre barrenos, expresado en milisegundos por metro de piedra.

Dr: Densidad de roca (t/m³)

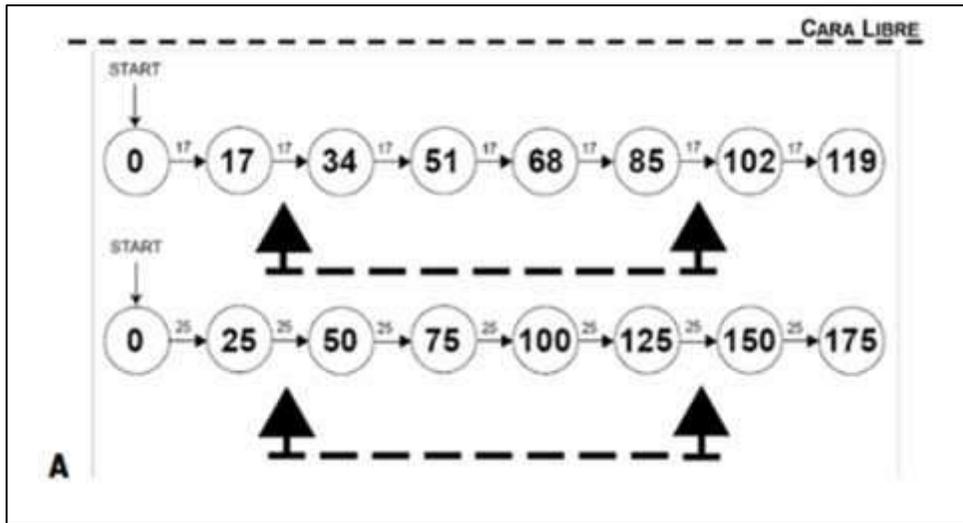
CE: Consumo específico de explosivo (Kg/m³)

Esto lleva a una regla para fijar los tiempos de retardo entre los **4 a 8 ms/m de piedra**.

Así mismo en las Figuras 18.,19., y 20., se puede observar las diferentes secuencias de salida.

Figura 18.

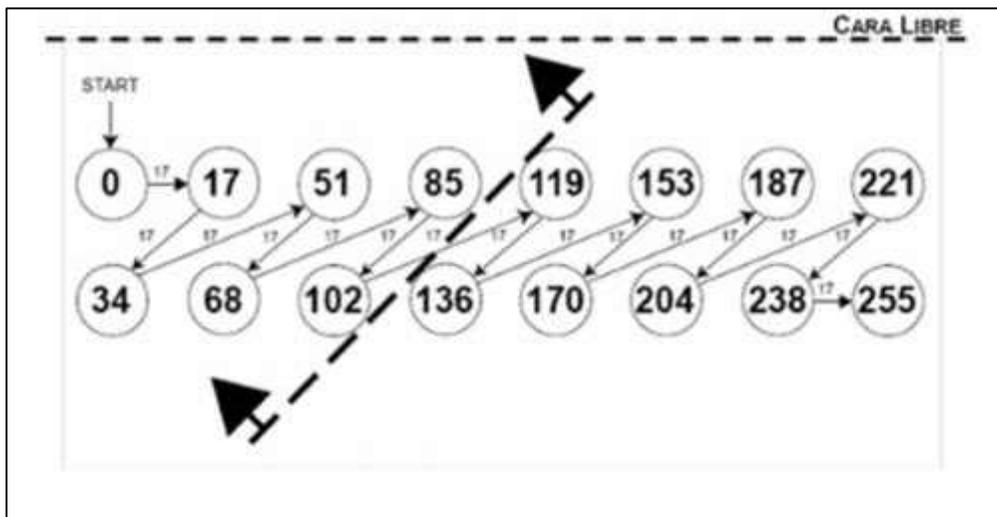
Tiempos de retardo y secuencia con salida frontal.



Nota: Adaptado de (Bernaola Alonso, Castilla Gómez , & Herrera Herbert, 2013)

Figura 19.

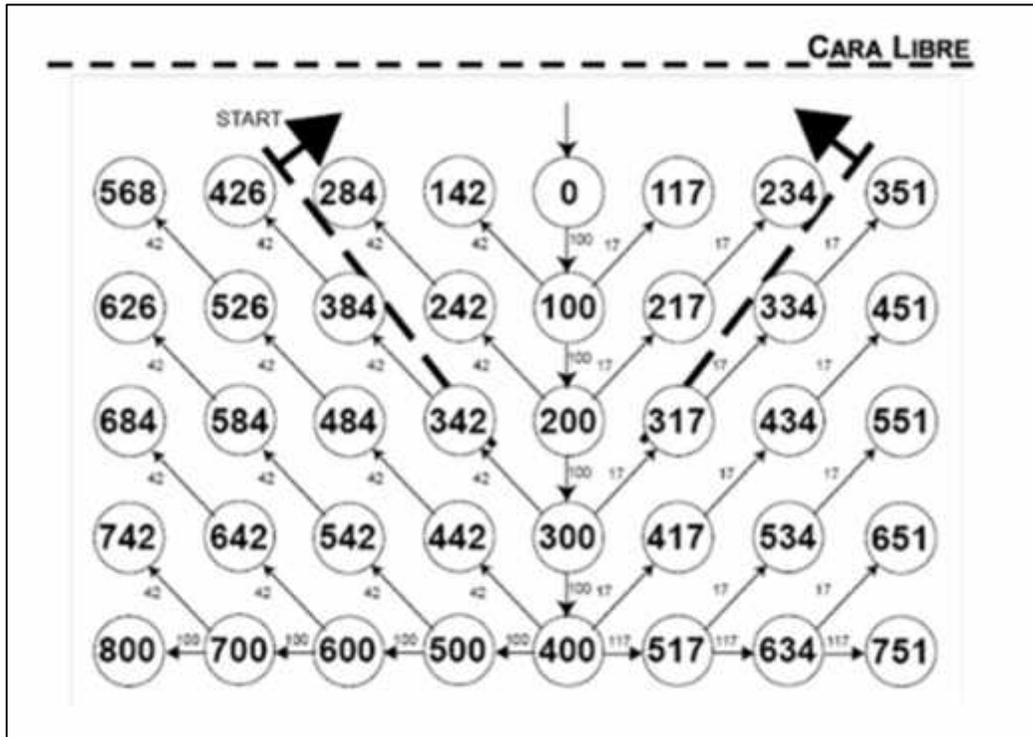
Tiempos de retardo y secuencia con salida oblicua.



Nota. Adaptado de (Bernaola Alonso, Castilla Gómez , & Herrera Herbert, 2013)

Figura 20.

Tiempos de retardo y secuencia con salida en cuña o “V”.



Nota: Adaptado de (Bernaola Alonso, Castilla Gómez, & Herrera Herbert, 2013)

Modelo de Ash:

$$B = \frac{K_B D}{1}$$

Donde:

B: Burden medido en pies.

K_B: depende del tipo de la clase de roca y tipo de explosivo empleado.

D: Diámetro del barrenos medido en pulgadas.

Los valores correspondientes para encontrar el K_B se obtienen de la Tabla 9.

Tabla 9.

Tabla de valores correspondientes a la constante KB el cual depende del tipo de roca y explosivo empleado.

TIPO DE EXPLOSIVO	CLASE DE ROCA		
	BLANDA	MEDIA	DURA
Baja densidad (0.8 a 0.9 g/cc) y baja potencia.	30	25	20
Densidad media (1.0 a 1.2 g/cc) y potencia media.	35	30	25
Alta densidad (1.3 a 1.6 g/cc) y alta potencia	40	35	30

Nota: Adaptado de (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, Manual de perforación y voladura de rocas, 2003)

Espaciamiento:

$$S = K_s * B$$

) $K_s = 2.0$ para iniciación simultánea.

) $K_s = 1.0$ para barrenos secuenciados con mucho retardo.

) $K_s = 1.2 - 1.8$ para barrenos secuenciados con pequeño retardo.

Profundidad de barreno:

$$L = K_l * B; (K_l \text{ entre } 1.5 \text{ y } 4)$$

Sobre perforación:

$$J = K_j * B; (K_j \text{ entre } 0.2 \text{ y } 0.4)$$

Retacado:

$$T = K_t * B; (K_t \text{ entre } 0.7 \text{ y } 1.0)$$

Sistema de Iniciación no Eléctrica: Los detonadores no eléctricos o sistemas de tubo de choque se basan en la onda de choque de baja velocidad de detonación (2000 m/s). Esta onda

se canaliza a través de un tubo de plástico hasta la capsula de detonador. Ofrecen variada combinación de tiempos y pueden usarse con todo tipo de explosivos (Emulnor, dinamitas, booster y cordón detonante). (Famesa Explosivos, 2019).

Se caracterizan porque no interviene ningún tipo de corriente eléctrica en su iniciación. La parte explosiva es común a los detonadores eléctricos, pero en lugar de un inflamador pirotécnico la carga de porta retardo se inicia mediante una onda de choque de baja energía. El tubo de transmisión es de plástico que contiene en su interior una pequeña cantidad de material reactivo (14mg/ml) compuesto de hexógeno (HMX) y aluminio (Bernaola Alonso, Castilla Gómez , & Herrera Herbert, 2013).

Los componentes del detonador son:

Isolation Cup: Es un sello antiestático, el cual elimina el riesgo de iniciación n por descargas estáticas accidentales, esta garantiza una única posición dentro del detonador y permite centralizar eficazmente la alineación del tubo sobre el elemento de retardo.

Delay Ignition Buffer (DIB): Es un disco compuesto por una malla muy fina que se ubica sobre el tren de elementos de retardo. Esta controla la transmisión de la señal del tubo de choque y evita el problema de reversa de la onda de choque, el DIB actúa como un amortiguador de la onda de choque. El tren de elementos de retardos es:

-) Elemento sellador, cuando se combustiona este elemento produce una condición de sellado, generando una barrera natural que impide la acción del oxígeno atmosférico en el normal funcionamiento del tren de retardo.
-) Elemento iniciador, es un elemento pirotécnico que asegura la normal transmisión de la combustión al elemento principal.
-) Elemento principal, este elemento pirotécnico es el que entrega el retardo de la serie específica.

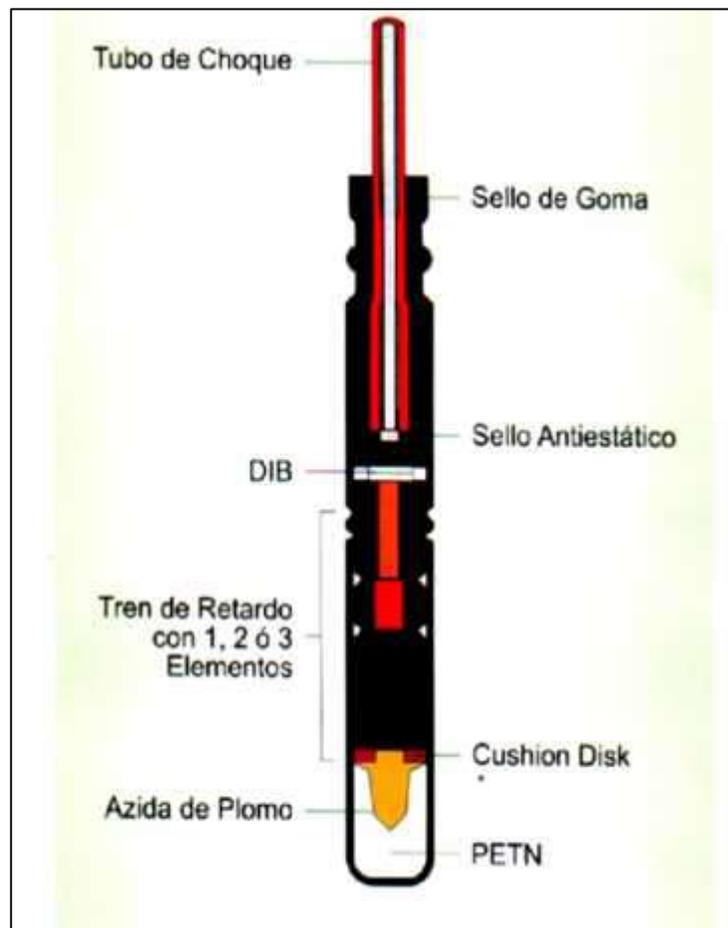
Cushion Disk (CD): Es un anillo limpiador cuya función es asegurar la limpieza posterior de los restos de explosivos adheridos en la pared interior del casquillo (ver Figura 21.). El CD se desarrolló para prevenir detonaciones no deseadas por efectos de presencia de explosivos en las paredes interiores del casquillo.

Cargas explosivas: Cargas primarias muy sensibles de azida de plomo, y cargas secundarias o carga base menos sensible y de lata potencia compuesta por PETN (Enaex, 2019).

Los detonadores pirotécnicos presentan una dispersión de +/- 2% en tiempos largos y +/- 7% en tiempos cortos.

Figura 21.

Componentes del detonador no eléctrico.



Nota. Adaptado de (Enaex, 2019)

2.5 Marco Legal

D.S. 024 – 2016 E.M. Y SUS MODIFICATORIAS D.S. 023-2017 E.M. Y D.S. 034-2023 E.M.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA
(Empresa Editora Macro EIRL, 2024)

Título Cuarto: Gestión de las Operaciones Mineras

Capítulo II: Estándares de las Operaciones Mineras a Cielo Abierto

Sub Capítulo II: Perforación y Voladura (Art. 267 – Art. 270)

Artículo 267.- En operaciones mineras a cielo abierto, para la ejecución de perforación y voladura se tendrá en consideración lo siguiente:

a) El carguío de taladros podrá hacerse tanto de día como de noche, mientras que el amarrado y el disparo sólo podrá realizarse durante el día.

El disparo será hecho a una misma hora y de preferencia al final de la guardia, siempre que dicho disparo sea de día; teniendo especial cuidado de comprobar que los trabajadores hayan sido evacuados fuera del área de influencia del disparo; para todos los disparos con probabilidad de proyección en los 360° en el plano horizontal se debe considerar un área de influencia definida por un radio de seguridad de quinientos (500) metros.

En caso de disparos en bancos se debe aplicar diseños de voladura y controles operativos de acuerdo a los procedimientos propios del titular minero, para minimizar la proyección de rocas y considerar una distancia mínima de quinientos (500) metros en la dirección de la salida del disparo.

b) Se indicará la hora y el lugar del disparo en carteles debidamente ubicados para conocimiento de la supervisión y trabajadores. Esta obligación podrá ser complementada con otros sistemas de comunicación.

c) En caso de presentarse circunstancias climáticas tales como: tormenta eléctrica, neblina, nevada, lluvia y otros, el titular de actividad minera deberá reprogramar el horario de carguío y actuar de acuerdo a los procedimientos específicos que hayan sido establecidos para estos casos.

d) El ingeniero supervisor de operaciones procederá a entregar la mina al responsable de la voladura con las líneas eléctricas des energizadas, la maquinaria en lugares preestablecidos y los trabajadores evacuados a lugares seguros.

e) Antes de la ejecución del disparo se emitirá señales preventivas por diez (10) minutos con todas las sirenas activadas en forma continua hasta su finalización. Sus sonidos deben

tener un alcance no menor de quinientos (500) metros. Esta obligación podrá ser complementada con otros sistemas de comunicación.

f) El ingeniero supervisor y los encargados de la voladura verificarán por última vez que toda el área haya sido evacuada, haciendo un recorrido final por la zona de los equipos e instalaciones cercanas al área del disparo.

g) Previo a la señal establecida, y con la autorización del caso, se procederá al encendido del disparo ordenando el toque continuo de las sirenas. Cuando haya pasado el peligro después de la voladura, se verificará que hayan detonado en su totalidad todos los taladros para después reabrir nuevamente el tránsito y proceder al recojo de los vigías.

h) Se verificará nuevamente el estado de los cables eléctricos, postes, aisladores y equipos para ordenar la reconexión de la energía eléctrica al tajo, siempre que estuviesen en buen estado y que el disparo no los haya afectado.

i) Cuando los disparos se realicen en lugares próximos a edificios o propiedades, el jefe de Perforación y Voladura diseñará las mallas de perforación, profundidad del taladro y cálculo de carga, debiendo utilizar sistemas de “Voladura Controlada” de modo que el efecto de los disparos no cause daño a dichas edificaciones cercanas.

j) Se establecerá un Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS) de inspección a las labores, antes y después del disparo.

Artículo 268.- El titular de actividad minera está obligado a monitorear las vibraciones de acuerdo a su estándar resultantes de la voladura para tomar las medidas correctivas, de ser necesario.

Artículo 269.- En función de las necesidades operativas, en salvaguarda de la salud de los trabajadores y en resguardo de los riesgos que pueda ocasionarse a los pobladores del entorno, es obligación del titular de actividad minera fijar sus horarios de disparo.

Artículo 270.- La reglamentación interna sobre voladura deberá considerar los criterios de disparo primario como voladura principal y disparo secundario como los utilizados en cachorreos, calambucos, desquinces, plastas y eliminación de tiros cortados. (Empresa Editora Macro EIRL, 2024)

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

La presente investigación desarrollada es aplicada la cual permitió plantear alternativas de solución ante un problema práctico, así mismo la investigación es cuantitativa ya que se utilizó herramientas de análisis matemático y estadístico para describir, explicar y evaluar las variables de estudio.

3.1.2 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo – correlacional ya que se tiene dos variables que se relacionan.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

La población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes (Arias, 2012) que en este caso son los bancos de voladura de la Unidad Minera Tacaza, teniendo un total de 12 bancos con una altura de 5m. el nivel superior más alto del Pit está a una altura de 4350msnm y el más bajo a 4290 msnm.

3.2.2 Muestra

La muestra se realizó según el criterio profesional (Flames Gonzales, 2012), y se consideran los bancos autorizados para el estudio por parte del consorcio. Se analizó 02 proyectos de voladura (ver Tabla 10.) 01 proyecto con iniciación no eléctrica y 01 con iniciación electrónica.

Tabla 10.

Proyectos de voladura elegidos.

TIPO DE VOLADURA CON INICIACIÓN	PROYECTOS DE VOLADURA
Voladura con sistema de iniciación no eléctrica.	Voladura N°48-Mineral-Banco 4295W Tajo José María
Voladura con el sistema electrónico Fametronic.	Voladura N°52-Mineral-Banco 4325N Tajo José María

Fuente. Elaboración propia.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.3.1 Técnicas

Las técnicas que se utilizaron son:

- La observación; fotografías, material audiovisual, etc.
- Análisis documental; libros, tesis, catálogos, etc.
- Recopilación de información de la jefatura de Perforación y Voladura- Unidad Minera Tacaza.
- Recopilación de información del sistema de voladura electrónica Fametronic.

3.3.2 Instrumentos

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Registro de datos en hojas de cálculo de Excel.
- Guías de observación.
- Datos de campo.
- Reportes de voladura.

3.4 Técnicas de Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos se han procesado mediante el uso de métodos:

- Estadísticos; gráficos estadísticos.

b) Computacionales; WipFrag, O-Pitblast, Microsoft Excel, etc.

3.5 Técnicas de Análisis de Datos

Se aplicó la técnica del análisis cuantitativo, permitiendo analizar numéricamente los datos, finalmente la interpretación e inferencia de los resultados, a través de cuadros comparativos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Información General para los Resultados y Análisis de las Voladuras Primarias con los Sistemas de Iniciación no Eléctrico y Electrónico

Para realizar la optimización de las voladuras primarias, primero se ha evaluado los resultados de los proyectos de voladura N°48 con el sistema de iniciación no eléctrica, seguidamente del proyecto de voladura N°52 con el sistema de voladura electrónica Fametronic, para luego efectuar el análisis de los proyectos a nivel técnico y económico.

Para ello es importante precisar que para ambos proyectos se:

-) Efectuaron bajo las mismas condiciones geológicas.
-) Realizó la perforación con los mismos equipos.
-) Mantiene igual diámetro de taladro y altura de banco.

A continuación, se detalla la información del macizo rocoso (ver Tabla 11.), de los equipos de perforación (ver Tabla 12.), datos del banco (ver Tabla 13.), y perforación, y por último la información de los explosivos empleados (ver Tabla 14. y 15.)

Tabla 11.*Datos del macizo rocoso.*

DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
Macizo rocoso: Andesita, Tufo, Arenisca, Brechas.		
Composición mineralógica: Bornita, Calcopirita, Calcosina, Covelina.		
Peso específico promedio	2.43	g/cm ³
Resistencia a la compresión simple	150	MPa
Resistencia a la tracción	37.5	MPa

*Nota. Obtenida del área de Geomecánica de la Unidad Minera Tacaza.***Tabla 12.***Datos de los equipos de perforación.*

PERFORADORA	DESCRIPCION	CANTIDAD
Rock Drill	Para taladros de producción	01
Track Drill	Para taladros de producción y pre corte.	02

*Nota. Obtenida del área de P&V.***Tabla 13.***Datos del banco y perforación.*

DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
Tajo: José María		
Tipo de voladura: Primaria		
Altura de banco	5.0	m
Diámetro de perforación	3.5	Pulg

Nota. Obtenida del área de P&V de la Unidad Minera Tacaza.

Para realizar el análisis de los proyectos de voladura antes mencionados es importante detallar las características técnicas de los agentes de voladura y, los accesorios que se emplearon.

Tabla 14.*Datos de los agentes de voladura.*

AGENTES DE VOLADURA	VALOR	UNIDAD
<u>ANFO</u> : Superfam Dos		
Densidad	0.80	gr/cm ³
Velocidad de detonación	3000	m/s
Densidad de carga	4.97	kg/m
Presión de detonación	51	kbar
<u>EMULSION ENCARTUCHADA</u> : Emulfan		
Densidad	1.24	gr/cm ³
Velocidad de detonación	5500	m/s
Masa de 01 cartucho (24pulg x 3pulg)	3.125	kg
Longitud de 01 cartucho	24	pulg
Presión de detonación	94	kbar

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 15.***Datos de los sistemas de iniciación de voladura.*

INICIADORES	VALOR	UNIDAD
<u>DETONADOR NO ELETRICO</u> : Fanel Dual		
Fulminante de superficie: N° 3		
Tiempo nominal de retardo	17	ms
Fulminante de profundidad: N° 12		
Tiempo nominal de retardo	800	ms
<u>DETONADOR ELECTRONICO</u> : Fametronic		
Potencia del fulminante: N° 12		
Tiempo de retardo	0 – 20,0000	ms

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo es importante tener en cuenta el precio unitario (ver Tabla16.) de los explosivos utilizados en los proyectos de voladura N° 48 y 52, para hacer los cálculos del costo de voladura.

Tabla 16.

Precios unitarios de los explosivos empleados.

INSUMO	P.U. (US\$)	UNIDAD
Tipo de cambio: (1US\$ = S/. 3.97)		
Anfo Superfam Dos	0.50	US\$/Kg
Emulfan	1.23	US\$/Kg
Booster HDP 1/2	1.78	US\$/und
Detonador electrónico Fametronic	20.00	US\$/und
Fanel dual 8m 800/17ms	2.00	US\$/und
Fanel CTD 25ms	0.99	US\$/und
Fanel CTD 42ms	0.95	US\$/und
Carmex 7 pies	0.48	US\$/und
Cable dúplex	0.17	US\$/m

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una relación para realizar el cálculo y obtener el costo de voladura.

$$CV = C VP + C RB + C VS$$

Donde:

-) CV: Costo de voladura.
-) C VP: Costo de voladura primaria.
-) C RB: Costo por rompebanco.
-) C VS: Costo de voladura secundaria.

Finalmente, el requerimiento de planta concentradora es un **P80 de 10 pulgadas.**

4.2 Evaluación de la Voladura con el Sistema de Iniciación no Eléctrico

Se realizó la evaluación de resultados del proyecto de voladura N° 48 del Banco 4295 zona oeste del tajo José María. A continuación, se tienen los parámetros de perforación y voladura, los cuales fueron obtenidos del reporte de voladura del proyecto antes mencionado.

4.2.1 Parámetros de Perforación

Los parámetros de perforación son aquellos valores con los que ya se han estado trabajando en la Unidad Minera Tacaza en los distintos proyectos de voladura (ver Tabla 17.), así como el diseño de perforación en la Figura 22.

En el presente proyecto de voladura N°48 se han perforado 150 taladros y, para la obtención de los metros perforados se calcula de la siguiente manera:

$$\text{MPerf} = \text{N}^\circ \text{tal} \times \text{Long.}$$

Donde:

MPerf: Metros perforados (m)

N°tal: Numero de taladros (tal)

Long.: Longitud por taladro (m/tal)

Calculando se tiene:

$$\text{MPerf} = 150 \text{ tal} \times 5.3 \text{ m/tal}$$

$$\text{MPerf} = 795.00 \text{ m}$$

Tabla 17.

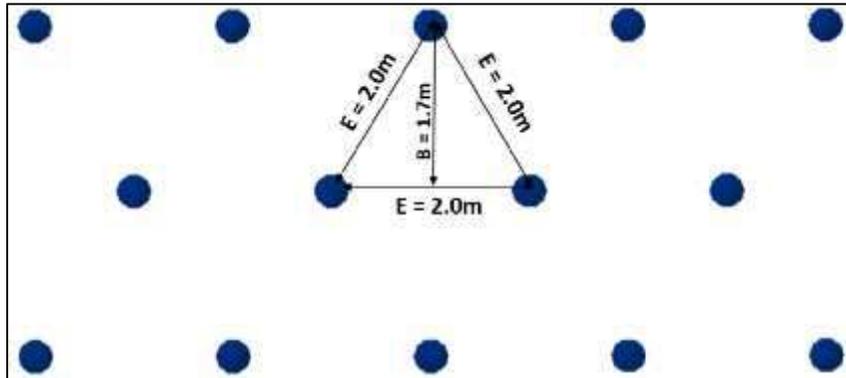
Parámetros de perforación.

PARAMETRO	VALOR
Tipo de malla	Triangular equilátera
N.º de taladros	150.00
Altura de banco (m)	5.00
Longitud de taladro (m)	5.30
Diámetro de taladro (pulg)	3 ½
Burden (m)	1.70
Espaciamiento (m)	2.00

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 22.

Diseño de malla de perforación.



Fuente: Elaboración Propia. Malla triangular equilátera con burden 1.7m y espaciamiento 2.0m

4.2.2 Parámetros de Voladura

Los parámetros de perforación y voladura se muestran en la Tabla 18., Figura 23. y 24.

Para la obtención del volumen de mineral a romper (V) se calculó de la siguiente manera:

$$V = B \times E \times H \times N.^{\circ} \text{ tal}$$

$$V = (1.70\text{m} \times 2.00\text{m} \times 5.00\text{m}) / \text{taladro} \times 150 \text{ taladros}$$

$$\mathbf{V = 2550.00 \text{ m}^3}$$

Para la obtención del tonelaje de mineral a romper se calcula de la siguiente manera:

Toneladas = V x Pe, donde Pe es peso específico de la roca (TM/m³).

$$\text{Toneladas} = 2550 \text{ m}^3 \times 2.43 \text{ TM/m}^3$$

$$\mathbf{\text{Toneladas} = 6196.50 \text{ TM}}$$

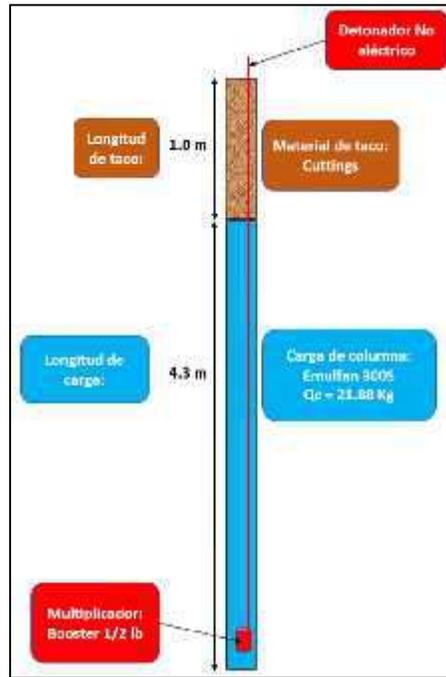
Tabla 18.

Parámetros de voladura.

PARAMETRO	VALOR
Peso específico de roca (g/cm ³)	2.43
Densidad del explosivo (g/cm ³)	1.24
Altura de taco (m)	1.00
Carga de columna (m)	4.30
Factor de carga (kg/m ³)	1.29
Factor de potencia (kg/TM)	0.53

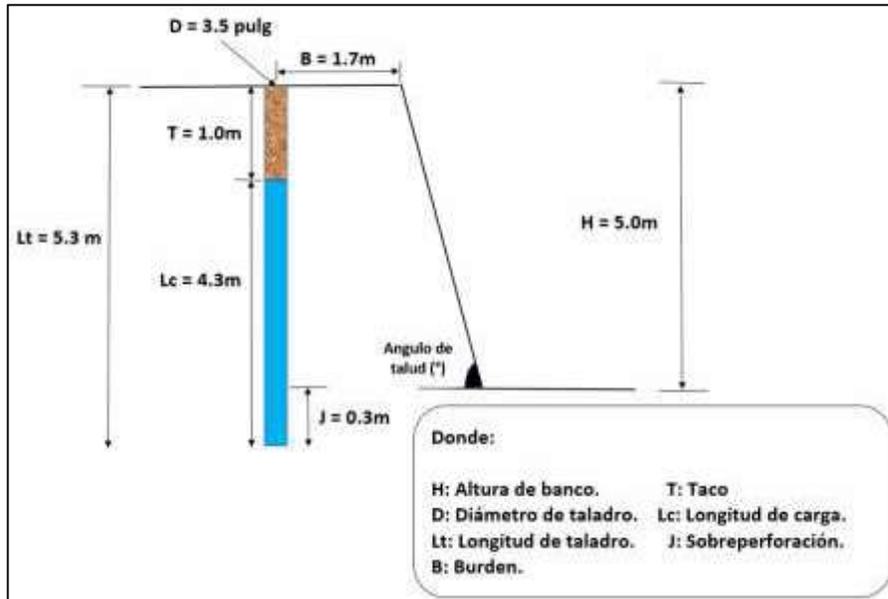
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 23.
Diseño de carga.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 24.
Parámetros de perforación y voladura.



Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3 Consumo de explosivos

El consumo se determinó mediante el sinceramiento o cuadro entre la cantidad de explosivos que salieron de polvorín y la cantidad que se devolvió al mismo, así como del reporte de voladura.

Para el proyecto de voladura N°48 se cuantificó 132 cajas de Emulfan (el agente Emulfan viene en cajas de 25 kilogramos cada una), y se utilizó en el proyecto 131 cajas y 02 unidades de emulfan, cuantificándose en total 3281.25 kg de emulfan.

Tabla 19.

Consumo de explosivos y accesorios.

AGENTE EXPLOSIVO	CANTIDAD
Emulfan (kg)	3281.25
ACCESORIOS DE VOLADURA	CANTIDAD
Fanel dual 8m 800/17ms (und)	150.00
Booster 1//2lb (und)	150.00
Fanel CTD 25ms (und)	7.00
Fanel CTD 42ms (und)	5.00
Carmex 7pies (und)	2.00

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4 Diseño de Voladura con Detonador no Eléctrico

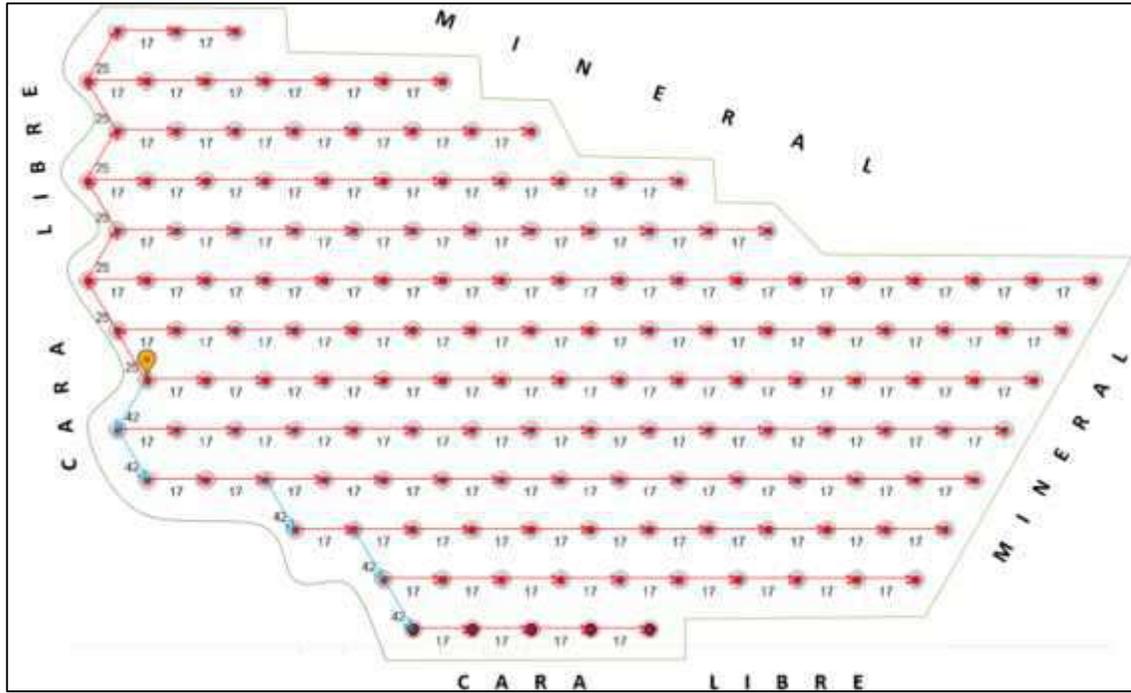
Para el presente proyecto se emplearon faneles duales con retardos en superficie (17ms) y en fondo del taladro (800ms), (ver Figura 25.) el proceso de secuencia empieza cuando queman los retardos en superficie, para luego iniciar la detonación en el fondo del taladro en 800ms de acuerdo al diseño realizado, en este proyecto se configuro una salida en “V” (ver Figura 26, 27,28)

Además, se precisa que el amarre con estos iniciadores se hace uniendo taladro a taladro con sus conectores de superficie, luego se unieron las filas mediante CTD de 25 y 42ms.

Sin embargo, el problema que se generó es la detonación simultanea de varios taladros ocasionando mayor carga operante, alta presión dinámica, en consecuencia, una deficiente fragmentación, es decir mayor porcentaje de finos y gruesos.

Figura 25.

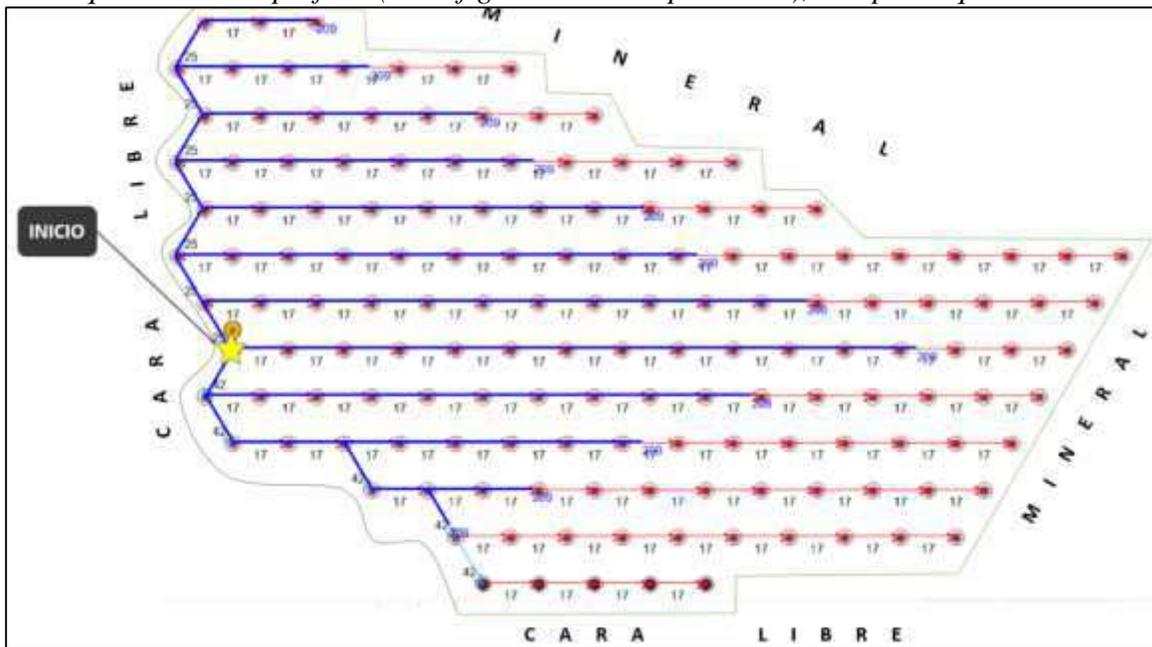
Amarre entre taladros (17ms) y entre filas con conectores de troncales (CTD de 25 y 42 ms).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 26.

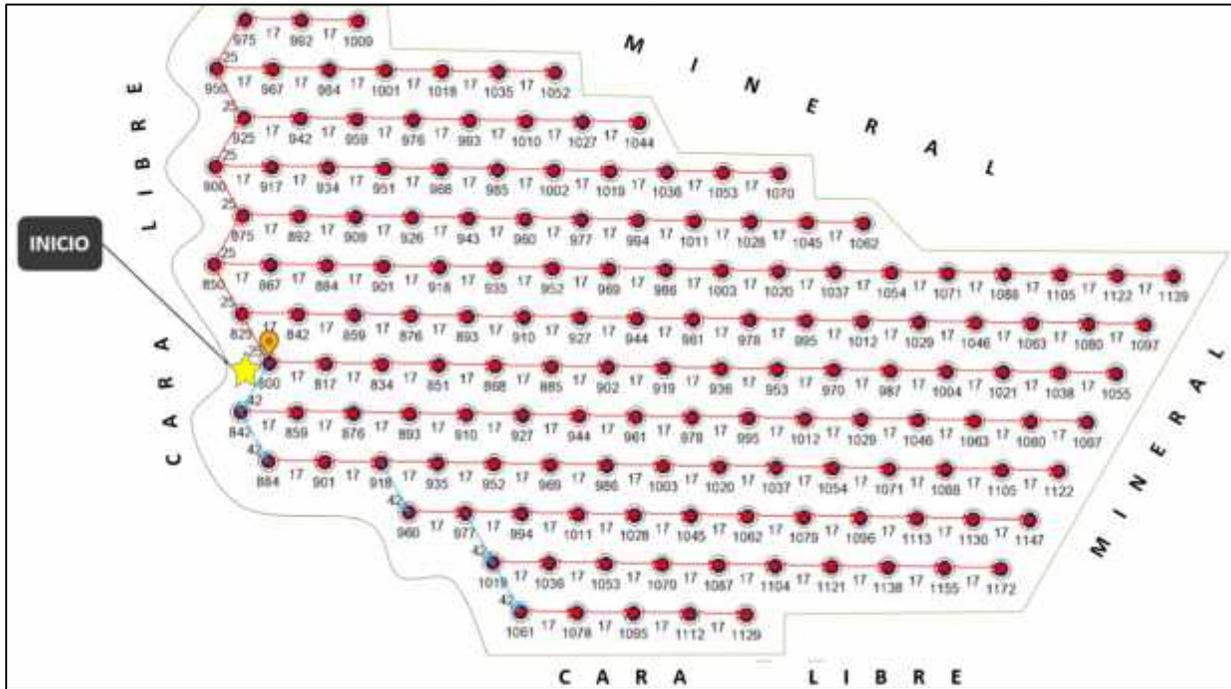
Inicio de quemado en superficie (en la figura en el tiempo 209ms), tiempo de quemado 172 ms.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 27.

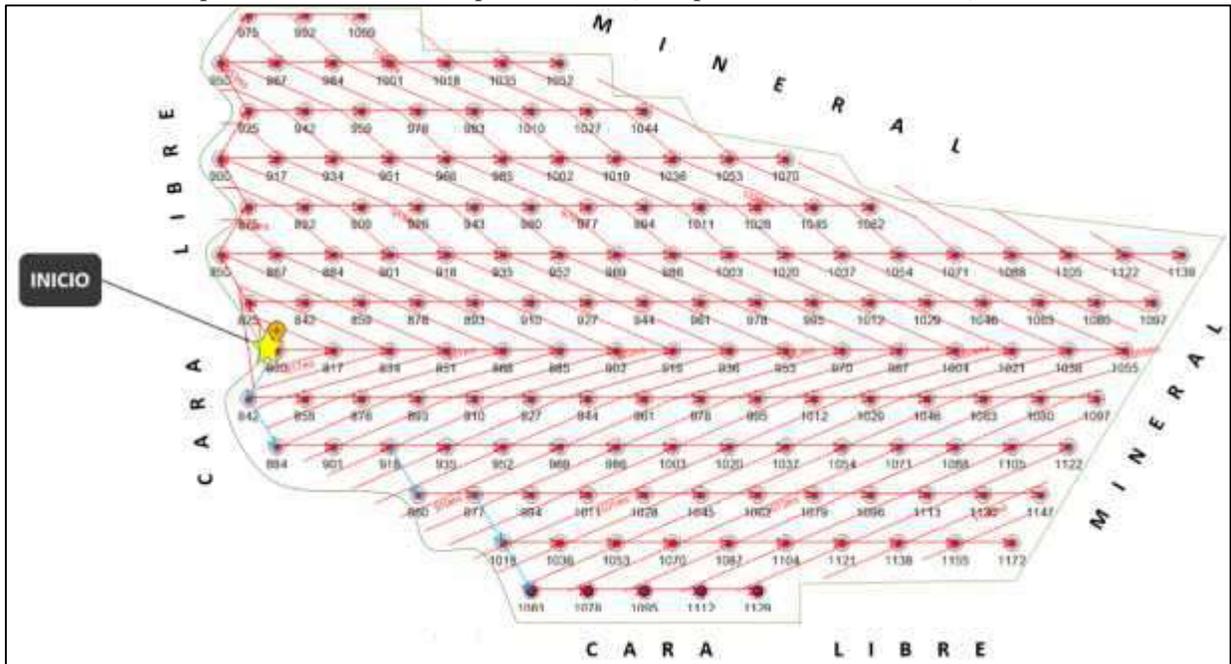
Secuencia de salida de los taladros de producción (último taladro sale en 1172ms).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 28.

Líneas de isotiempo de los taladros de producción (tiempo entre curvas 17ms).



Fuente: Elaboración Propia.

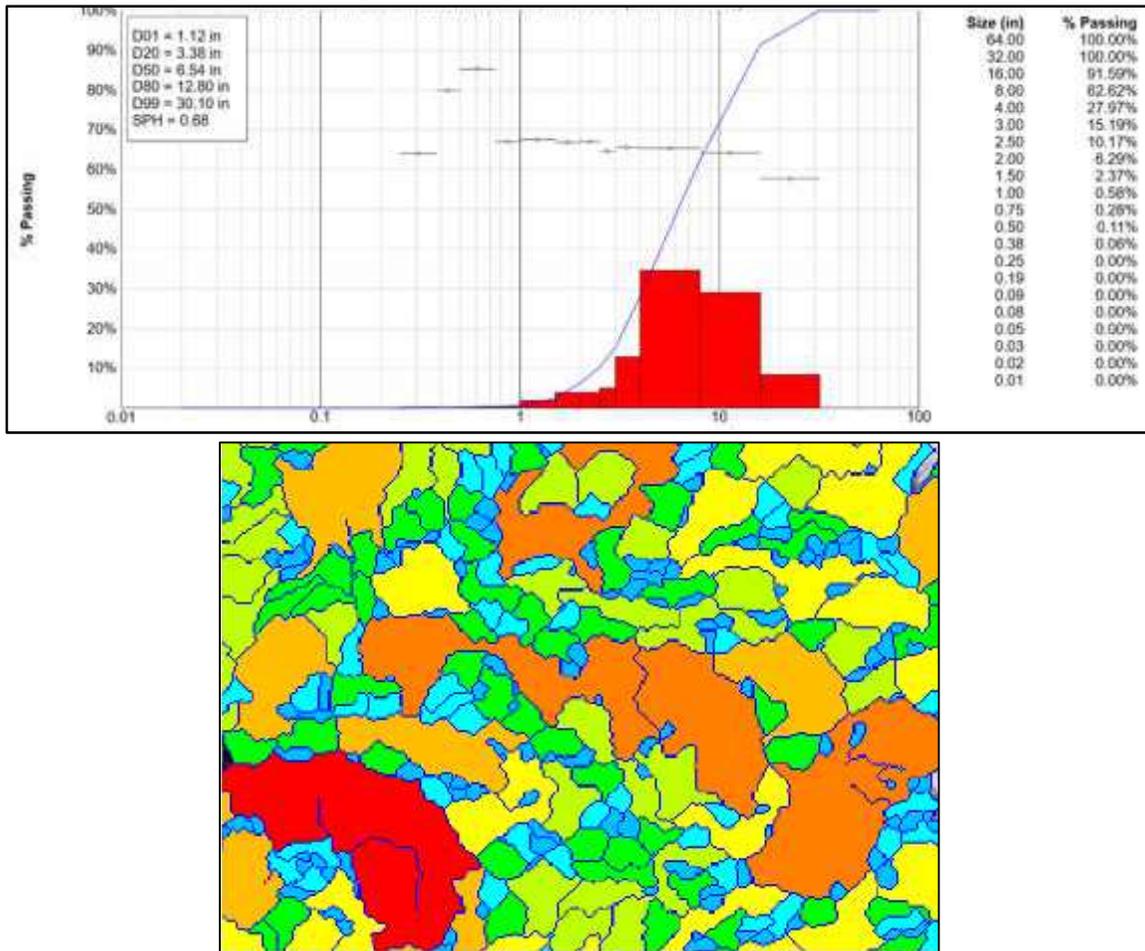
4.2.5 Análisis de fragmentación

El proceso de análisis post voladura es el siguiente:

Primero; se toman fotografías (aprox. 30 fotografías) del proyecto. **Segundo;** se carga al software WipFrag para luego analizar la granulometría y mediante el cual se determina el tamaño medio y P80 real (ver Figura 29.).

Figura 29.

Curva granulométrica de la fragmentación obtenida.



Fuente: Elaboración propia. En la imagen superior se observa la curva granulométrica donde el P80 real obtenido es de 12.80 pulgadas, el cual excede a lo solicitado por planta (10 pulgadas), y en el gráfico inferior se observa la foto análisis donde los colores cálidos (rojo, amarillo y naranja) indican fragmentos de mayor diámetro, y los colores fríos (verde, azul y celeste) de menor diámetro.

A continuación, se realiza el análisis e interpretación post voladura del P80 real.

) El **porcentaje de fragmentos menores e iguales a 10 pulgadas** se calculan interpolando de la siguiente manera:

80% es 12.80 pulgadas

X% es 10 pulgadas

62.62% es a 8 pulgadas

Resolviendo se tiene $x = 69.86\%$ **el cual representa un tonelaje de 4328.87 TM.**

) De acuerdo a la Figura 40 de la curva granulométrica se tiene que el 91.59% de fragmentos alcanzan hasta 16 pulgadas, entonces el **porcentaje de fragmentos entre 10-16 pulgadas** es:

$91.59\% - 69.86\% = 21.73\%$ **representando un tonelaje de 1346.50 TM, el cual será reducido mediante rompebanco.**

) Finalmente, el porcentaje de fragmentos mayores a 16 pulgadas es la diferencia entre 100% y 91.59%, resultando **8.41 % representando un tonelaje de 521.13 TM, el cual será reducido mediante voladura secundaria** (ver la Tabla 20.)

Así mismo es importante indicar que, la fragmentación irregular y exceso de gruesos obtenidos se debe a un deficiente diseño de carga y secuenciamiento con varios taladros detonados simultáneamente, este último genera altas presiones dinámicas y elevada carga operante, lo cual no favorece para obtener una fragmentación homogénea.

Tabla 20.*Análisis del P80 real.*

DESCRIPCIÓN	VALOR
P80 real	12.80 pulg
Fragmentos < 10 Pulg	69.86%
Primera recuperación	4328.87 TM
Fragmentos entre (10 – 16) Pulg	21.73%
Rompe banco	1346.50 TM
Fragmentos > a 16 Pulg	8.41%
Voladura secundaria	521.13 TM

Fuente: Elaboración propia. De acuerdo al análisis de fragmentación, sólo el 69.86% de material volado pasa por la parrilla de 10 pulgadas, el 21.73% de fragmentos serán reducidos mediante rompebanco, finalmente el 8.41% será reducido mediante voladura secundaria.

4.2.6 Costo de Voladura

Los costos de explosivos se obtienen a partir del producto del consumo de tipo de explosivo por su precio unitario (Tabla 21). Y el costo de voladura primaria se calcula dividiendo el costo de explosivos entre tonelaje de mineral roto.

Tabla 21.*Costo de Voladura.*

INSUMO	CANTIDAD	PU	COSTO
Emulfan	3281.25 kg	1.23	4,035.94
Booster HDP 1/2	150 und	1.78	267.00
Fanel dual 8m 800/17ms	150 und	2.00	300.00
Fanel CTD 25ms	7.00 und	0.99	6.93
Fanel CTD 42ms	5.00 und	0.95	4.75
Carmex 7 pies	2.00 und	0.48	0.97
Costo de explosivos (US\$)			4,615.59
COSTO DE VOLADURA PRIMARIA (US\$/ton)			0.74

Fuente: Elaboración propia.

Se precisa que, la reducción por rompebanco no se realiza inmediatamente, sino que se espera acopiar una cantidad estimada para luego reducir en cancha de gruesos, en consecuencia, ahí se hace el cálculo del costo por rompebanco, por lo que el valor mostrado en la Tabla 22. Es un valor obtenido de datos históricos.

Similarmente para el costo por voladura secundaria se selecciona la bolonería de los proyectos de voladura, para después aplicar cachorro o plasteo, por lo que el valor mostrado en la Tabla 22. Es un valor obtenido de datos históricos.

A continuación, se muestra en la Tabla 22. el resumen del costo de voladura.

Tabla 22.

Resumen de costos de voladura.

DESCRIPCION	COSTO
Voladura primaria (US\$/ton)	0.74
Rompebanco (US\$/ton)	0.12
Voladura secundaria (US\$/ton)	0.10
COSTO DE VOLADURA (US\$/ton)	0.96

Fuente: Elaboración propia. Se observa que, el costo de voladura empleando los detonadores no eléctricos resulta 0.96 US\$/ton

4.2.7 Resultados de la Fragmentación Obtenida con el Sistema no Eléctrico

El porcentaje de fragmentos menores e iguales a 10 pulgadas es de 69.86% el cual representa un tonelaje de 4328.87 TM y serán tratados en el proceso de conminución.

El porcentaje de los fragmentos que alcanzan entre 10-16 pulgadas es 21.73% representando un tonelaje de 1346.50 TM, estos fragmentos se seleccionan y acumulan en el área de descargue de mineral para luego ser reducidos con rompebanco,

El porcentaje de fragmentos mayores a 16 pulgadas es 8.41 % representando un tonelaje de 521.13 TM, los cuales se empiezan a acopiar (bolonería) de los proyectos de voladura obtenidos para luego ser fragmentados por voladura secundaria, ya sea por plasteo o cachorro.

Finalmente, a causa de una mala fragmentación de rocas, el proceso más perjudicial en el ciclo de minado es el carguío y transporte, puesto que sus rendimientos horarios son muy bajos (ver Fotografías 13 y 14).

Fotografía 13.

Bolonería generado por voladura primaria.



Fuente: Elaboración propia. En la imagen izquierda observamos una excavadora seleccionando bancos mayores a un diámetro promedio de 16 pulgadas y, en la imagen derecha se visualiza un apilamiento de bancos seleccionados en cancha de gruesos para ser reducido por el equipo rompebanco.

Fotografía 14.

Bancos sobredimensionados para voladura secundaria.



Fuente: Elaboración propia. En ambas imágenes se observa bancos mayores a un promedio de 16 pulgadas, los cuales serán reducidos mediante voladura secundaria, en la imagen izquierda se realiza el plasteo y, en la imagen derecha cachorro.

4.3 Evaluación de Voladura con el Sistema de Iniciación Electrónica Fametronic

Se realizó la evaluación de resultados del proyecto de voladura N°52 del Banco 4325 zona norte del tajo José María. A continuación, se tienen los cálculos realizados de los parámetros de perforación y voladura, así como el Burden óptimo como variable importante, para ello debemos tener en cuenta los datos de las Tablas 11, 13 y 14.

4.3.1 Cálculo de Malla de Perforación

4.3.1.1 Burden

Para encontrar los parámetros de perforación y voladura óptimos, se utilizó el modelo matemático de Ash (ver Tabla 23.) con el cual se efectuaron los cálculos correspondientes.

Modelo de Ash

$$B = \frac{K_B D}{1}$$

Donde:

B: Burden en pies.

KB: depende del tipo de la clase de roca y tipo de explosivo empleado.

D: Diámetro del barreno medido en pulgadas.

Tabla 23.

Valores correspondientes a la constante KB.

TIPO DE EXPLOSIVO	CLASE DE ROCA		
	BLANDA	MEDIA	DURA
Baja densidad (0.8 a 0.9 g/cc) y baja potencia.	30	25	20
Densidad media (1.0 a 1.2 g/cc) y potencia media.	35	30	25
Alta densidad (1.3 a 1.6 g/cc) y alta potencia	40	35	30

Nota: Adaptado de (López Jimeno, López Jimeno, & García Bermúdez, Manual de perforación y voladura de rocas, 2003)

Cálculos:

Burden (B):

$$B = 25 \times 3.5 \text{ pulg} / 12$$

$$B = 7.29 \text{ pies}$$

$$B = 7.29 \text{ pies} \times 0.3048 \text{ m/1pie} = 2.22 \text{ m}$$

$$\mathbf{B = 2.20 m}$$

Espaciamiento (S):

El diseño de malla de perforación es una malla triangular equilátera, por lo que el espaciamiento es:

$$S = 1.15 \times B$$

$$S = 1.15 \times 2.20 \text{ m}$$

$$\mathbf{S = 2.50 m}$$

Sobre perforación (J):

$\mathbf{J = K_j \times B}$; donde K_j es la constante de sobre perforación que varía entre 0.2 y 0.4, obteniendo el promedio resulta $K_j=0.3$, entonces:

$$J = 0.3 \times B$$

$$J = 0.3 \times 2.20 \text{ m}$$

$$\mathbf{J = 0.6 m}$$

Retacado (T):

$\mathbf{T = K_t \times B}$; donde K_t es la constante de retacado que varía entre 0.7 y 1.0, tomando el mínimo valor resulta $K_t=0.7$, entonces:

$$T = 0.7 \times B$$

$$T = 0.7 \times 2.20 \text{ m}$$

$$T = 1.50 \text{ m}$$

Hallamos la Longitud del Taladro (Lt):

$$L_t = H + J$$

$$L_t = 5.0 + 0.6$$

$$L_t = 5.6 \text{ m}$$

4.3.2 Cálculo de Parámetros de Voladura

Hallamos la longitud de Carga (Lc):

$$L_c = L_t - T$$

$$L_c = 5.6 - 1.5$$

$$L_c = 4.1 \text{ m}$$

Para la longitud de carga de fondo se determinó según Langefors “*la carga inferior debe está comprendida entre 0.6 B – 1.3 B*”, por lo que la longitud de carga de fondo (Lf) se calculó con el promedio aritmético de ambos extremos obteniendo lo siguiente:

$$L_f = (0.6B + 1.3B) / 2 = 0.95B$$

$$L_f = 0.95 \times B$$

Reemplazando con burden (B) = 2.2m, se tiene:

$$L_f = 0.95 \times 2.2 \text{ m}$$

$$L_f = 2.09 \text{ m}$$

Conociendo la longitud de cada cartucho de emulfan (24 pulgadas=0.6m) en consecuencia, se empleó 03 unidades de cartucho de Emulfan.

Hallamos la longitud de Carga de Fondo (Lf):

$$L_f = 3 \times 0.6 \text{ m}$$

$$L_f = 1.8 \text{ m}$$

Hallamos la longitud de Carga de Columna (Lco):

$$L_{co} = L_c - L_f$$

$$L_{co} = 4.10 \text{ m} - 1.8 \text{ m}$$

$$\mathbf{L_{co} = 2.3 \text{ m}}$$

Hallamos la Cantidad de Explosivo por Taladro:

Hallamos la Cantidad de Carga de fondo (Qf):

$$Q_f = \text{masa de emulfan} \times \text{cantidad de Emulfan}$$

$$Q_f = 3.125 \text{ kg/und de emulfan} \times 3 \text{ und de emulfan}$$

$$\mathbf{Q_f = 9.38 \text{ kg/tal}}$$

Carga de columna (Qc):

Para hallar la carga de columna, antes determinamos la densidad de carga lineal de ANFO, mediante la siguiente relación:

$$\mathbf{D_{lineal} = D_e \times (\phi \text{ tal})^2 \times 0.507}$$

Donde:

D_{lineal}: Densidad lineal de explosivo (kg/m)

D_e: Densidad del explosivo (gr/cm³)

ϕ tal: Diámetro del taladro en pulgadas.

Entonces la densidad lineal del ANFO es:

$$D_{lineal} = 0.8 \text{ gr/cc} \times (3.5 \text{ pulg})^2 \times 0.507$$

$$D_{lineal} = 4.97 \text{ kg/m}$$

Hallamos la Cantidad de Carga de Columna (Qc):

$$Q_c = d_{lineal} * L_{co}$$

$$Q_c = 4.97 \text{ kg/m} * 2.3 \text{ m}$$

$$\mathbf{Q_c = 11.43 \text{ kg/tal}}$$

Entonces la carga total (Qt) es:

$$Qt = Qf + Qc$$

Donde:

Qt: Carga total por taladro (kg/tal)

Qf: Carga de fondo por taladro

Qc: Carga de columna por taladro (kg/tal)

Calculando se tiene:

$$Qt = 9.38 \text{ kg} + 11.43 \text{ kg}$$

$$Qt = 20.81 \text{ kg/tal}$$

Todo el resumen de los parámetros de perforación y voladura se ven en la Tabla 24.

Tabla 24.

Tabla resumen de los parámetros de perforación y voladura.

MODELO DE ASH		
PARÁMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
Burden	2.20	m
Espaciamiento	2.50	m
Taco	1.5	m
Sobre perforación	0.6	m
Longitud de taladro	5.6	m
Longitud de carga de fondo	1.8	m
Carga de fondo	9.38	Kg/tal
Longitud de carga de columna	2.3	m
Carga de columna	11.43	Kg/tal
Cantidad de explosivo por taladro	20.81	kg/tal

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.1 *Determinación de KPIs de Voladura y Tiempo de retardo*

Después de haber calculado los parámetros de perforación y voladura, ahora calcularemos los KPIs de voladura, así mismo los tiempos de secuencia entre taladros y filas.

Calculando el volumen de mineral por taladro:

$$\text{Vol/tal} = B \times E \times H$$

Donde:

Vol/tal: Volumen de mineral por taladro (m³/tal)

B: Burden (m)

E: Espaciamiento (m)

H: Altura de banco (m)

Calculando se tiene:

$$\text{Vol/tal} = 2.2 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$$

$$\text{Vol/tal} = 27.5 \text{ m}^3/\text{tal}$$

Calculando el tonelaje de mineral por taladro:

$$\text{TM/tal} = B \times E \times H \times Pe$$

Donde:

TM/tal: Tonelaje de mineral por taladro (TM/tal)

B: Burden (m)

E: Espaciamiento (m)

H: Altura de banco (m)

Pe. Peso específico de roca (TM/m³)

Calculando se tiene:

$$\text{TM/tal} = 2.2\text{m} \times 2.5 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 2.43 \text{ TM/m}^3$$

$$\mathbf{TM /tal = 66.83 TM/tal}$$

Calculando el factor de carga:

$$\mathbf{Fc = Ce / (Vol/tal)}$$

Donde:

Fc: Factor de carga (kg/ m³)

Ce: Cantidad de explosivo por taladro (kg/tal)

Vol/tal: Volumen de mineral por taladro (m³/tal)

Calculando se tiene:

$$Fc = 20.81 \text{ (kg/tal)} / 27.5 \text{ (m}^3\text{/tal)}$$

$$\mathbf{Fc = 0.76 kg/m^3}$$

Calculando el factor de potencia:

$$\mathbf{Fp = Ce / (TM/tal)}$$

Donde:

Fp: Factor de potencia (kg/ TM)

Ce: Cantidad de explosivo por taladro (kg/tal)

TM/tal: Tonelaje de mineral por taladro (TM/tal)

Calculando se tiene:

$$Fp = 20.81 \text{ (kg/tal)} / 66.83 \text{ (TM/tal)}$$

$$\mathbf{Fp = 0.31 kg/TM}$$

Calculando el tiempo de retardo entre taladros:

Aplicando la regla para fijar los tiempos de retardo entre los **4 a 8 ms/m de piedra**, se tiene:

Tiempo de retardo entre taladros: 6ms * 2.2m =13.2 ms

$$\mathbf{Tiempo de retardo entre taladros = 13 ms}$$

Tabla 25.

Resumen de KPIs de voladura y tiempos de secuencia.

PARAMETRO	UNIDAD	UNIDADCANTIDAD
Volumen por taladro	27.5	m ³ /tal
Tonelaje por taladro	66.83	TM/tal
KPIs DE VOLADURA		
Factor de carga	0.76	kg/m3
Factor de potencia	0.31	kg/TM
TIEMPOS DE SECUENCIA		
Tiempo de retardo entre taladros	13	ms

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.3 Diseño de Voladura con Detonador Electrónico Fametronic

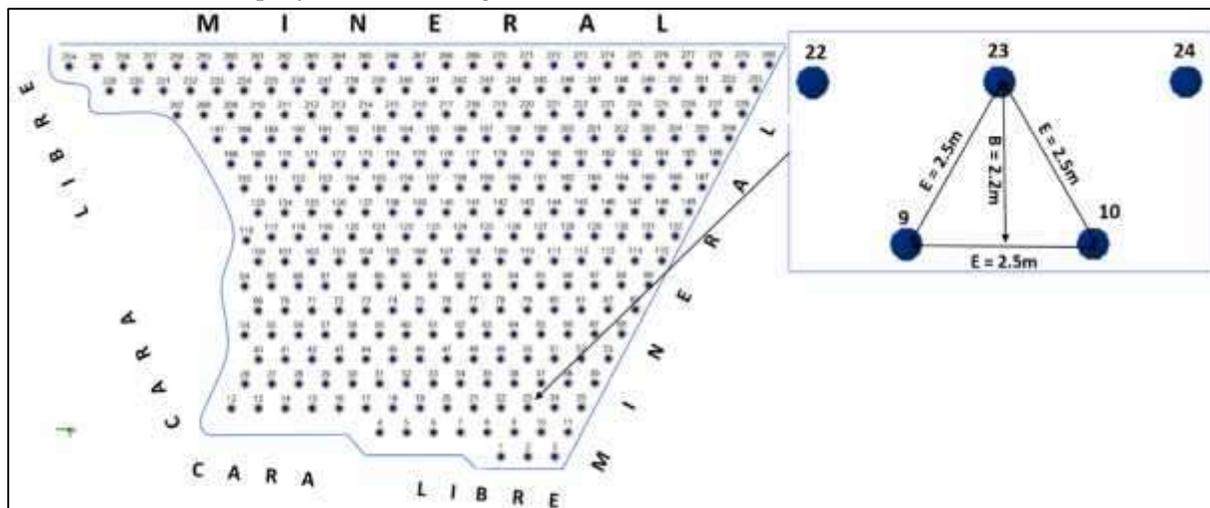
Ya calculado los parámetros de perforación y voladura, se realiza el diseño del proyecto de voladura N° 52 del Banco 4325 zona norte del tajo José María, con 280 taladros de producción.

4.3.3.1 Diseño de los Parámetros de Perforación y Voladura

A continuación, en las Figuras 30 y 31, se muestra el diseño de malla triangular, y parámetros de perforación y voladura.

Figura 30.

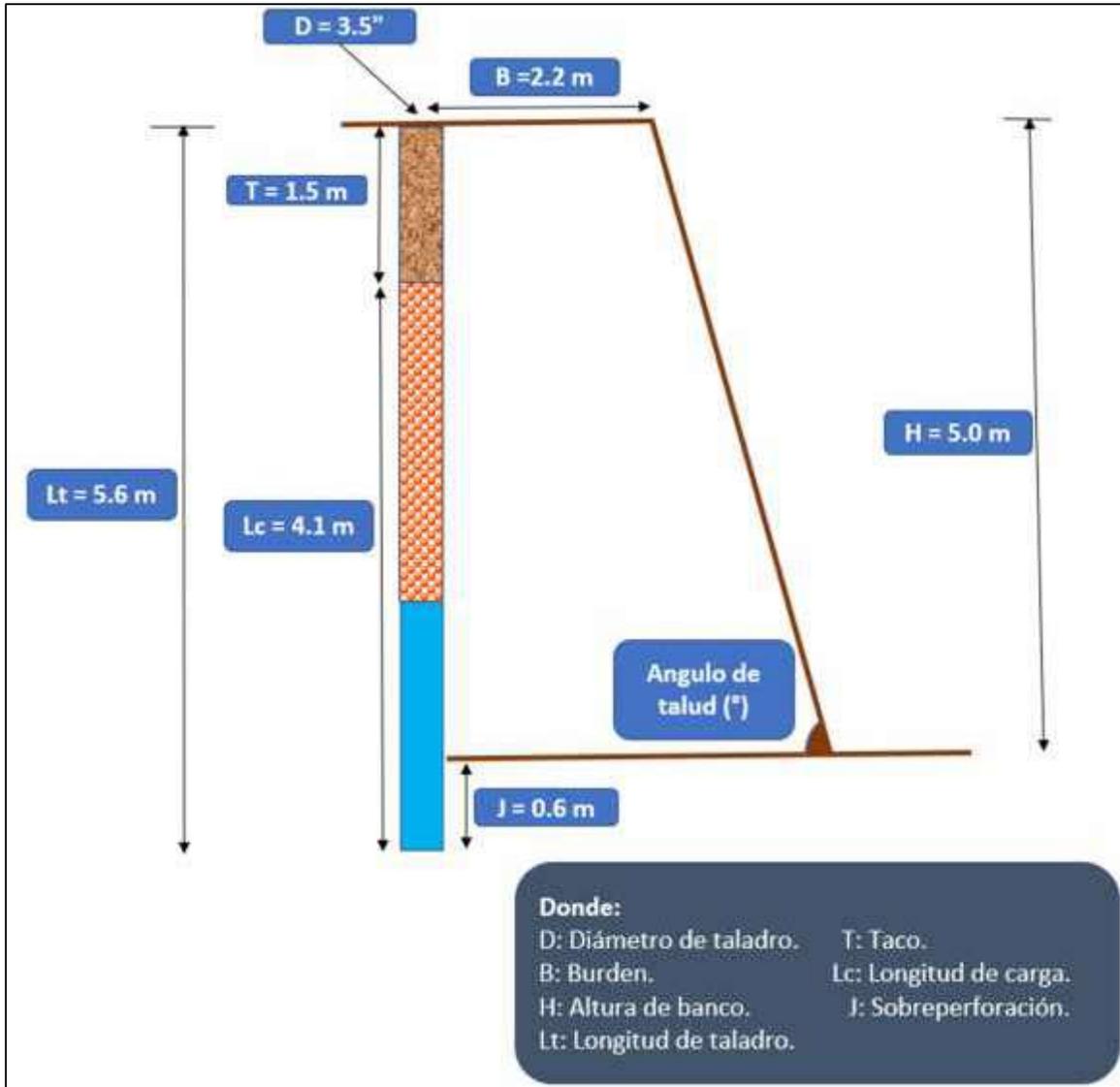
Diseño de malla de perforación triangular (B x E = 2.2 m x 2.5 m).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 31.

Diseño de los parámetros de perforación y voladura.



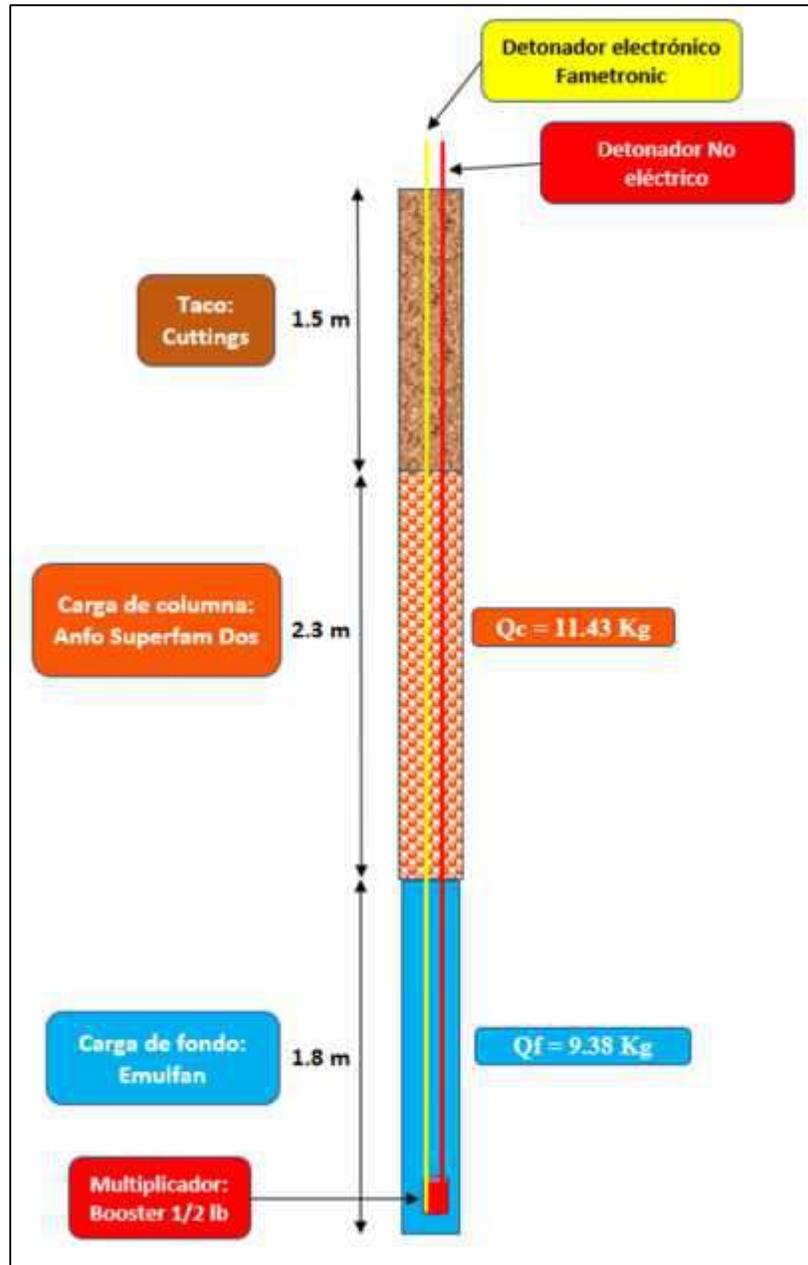
Fuente: Elaboración Propia.

4.3.3.2 Diseño de Carga

La propuesta de carga para los taladros de producción se realiza de acuerdo a los cálculos obtenidos previamente, tal como se muestra a continuación en la Figura 32.

Figura 32.

Diseño de carga para los taladros de producción, de acuerdo a los cálculos de carga de fondo y columna.



Notas: Elaboración propia.

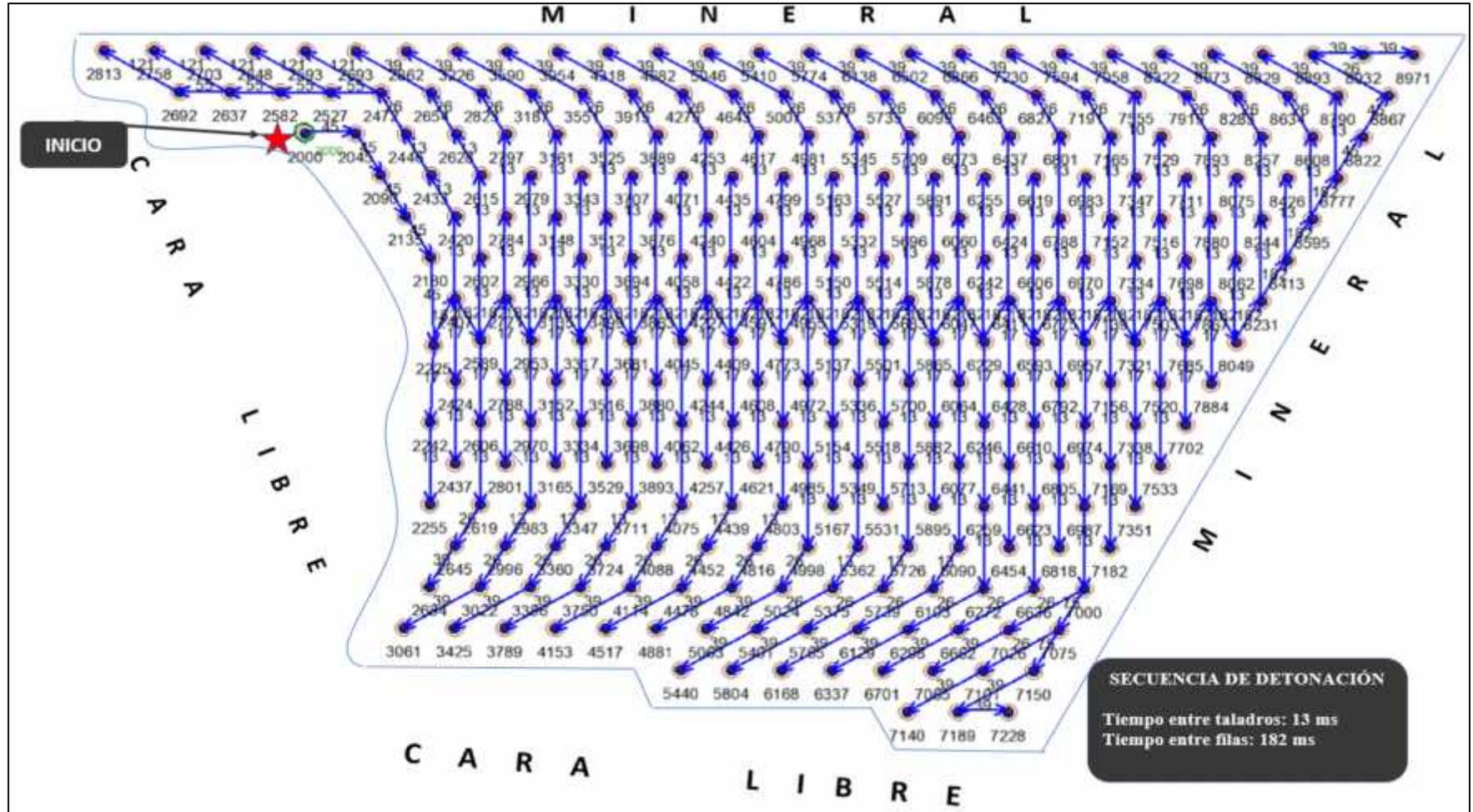
4.3.3.3 Plano de carga

Ya definidos el diseño geométrico y diseño de carga, ver el plano de carga en la Figura 33.

4.3.1.1 Secuencia de Detonación

Figura 35.

Secuencia de salida de los taladros de acuerdo al tiempo programado, siendo 8971ms el último taladro en detonar.

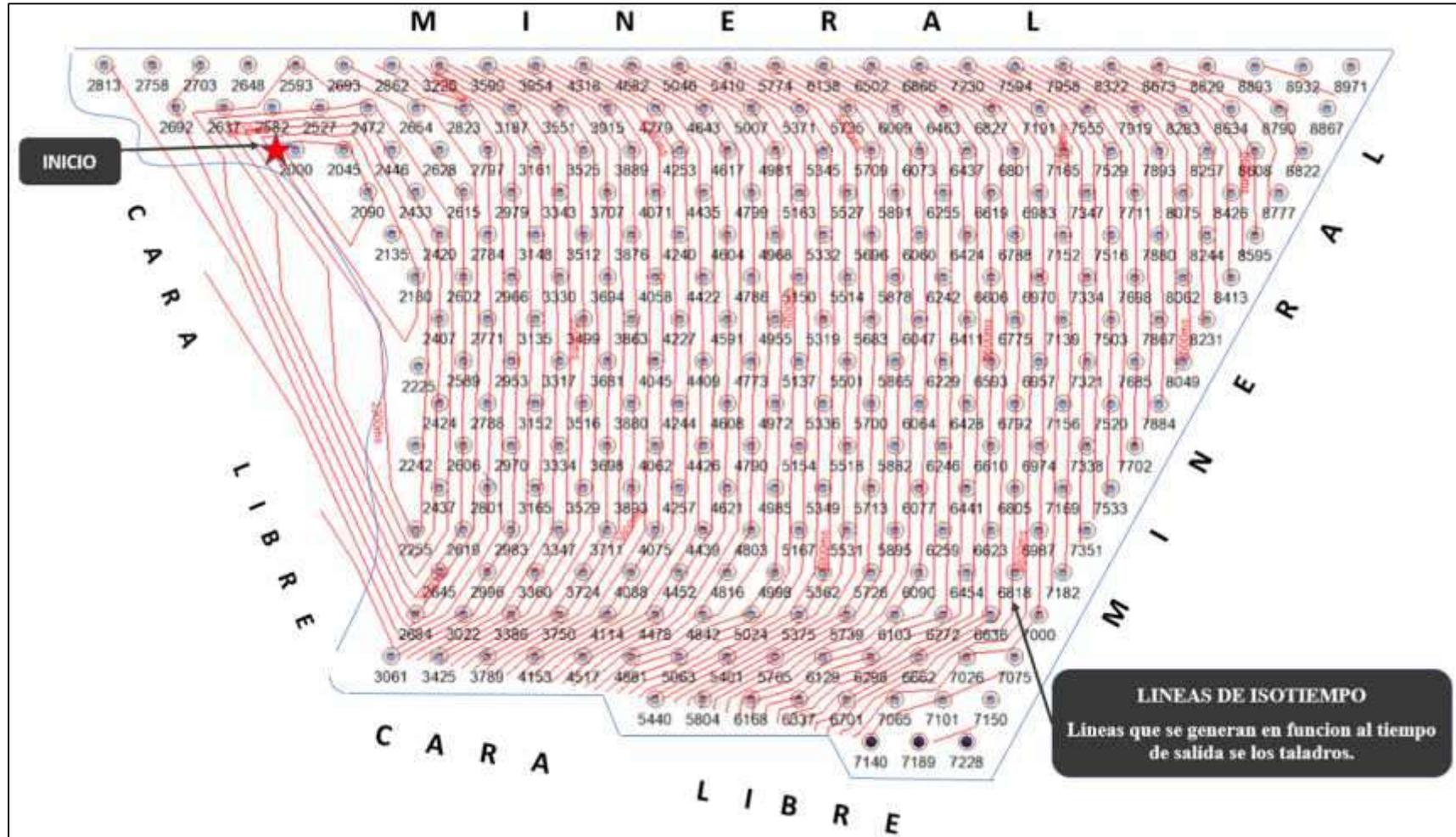


Fuente: Elaboración propia. La detonación inicia en 2000ms después con el objeto de identificar taladros Buck up.

4.3.1.2 Líneas de Isotiempo

Figura 36.

Líneas de isotiempo (cada 100ms), generados de acuerdo a los tiempos de salida de los taladros.

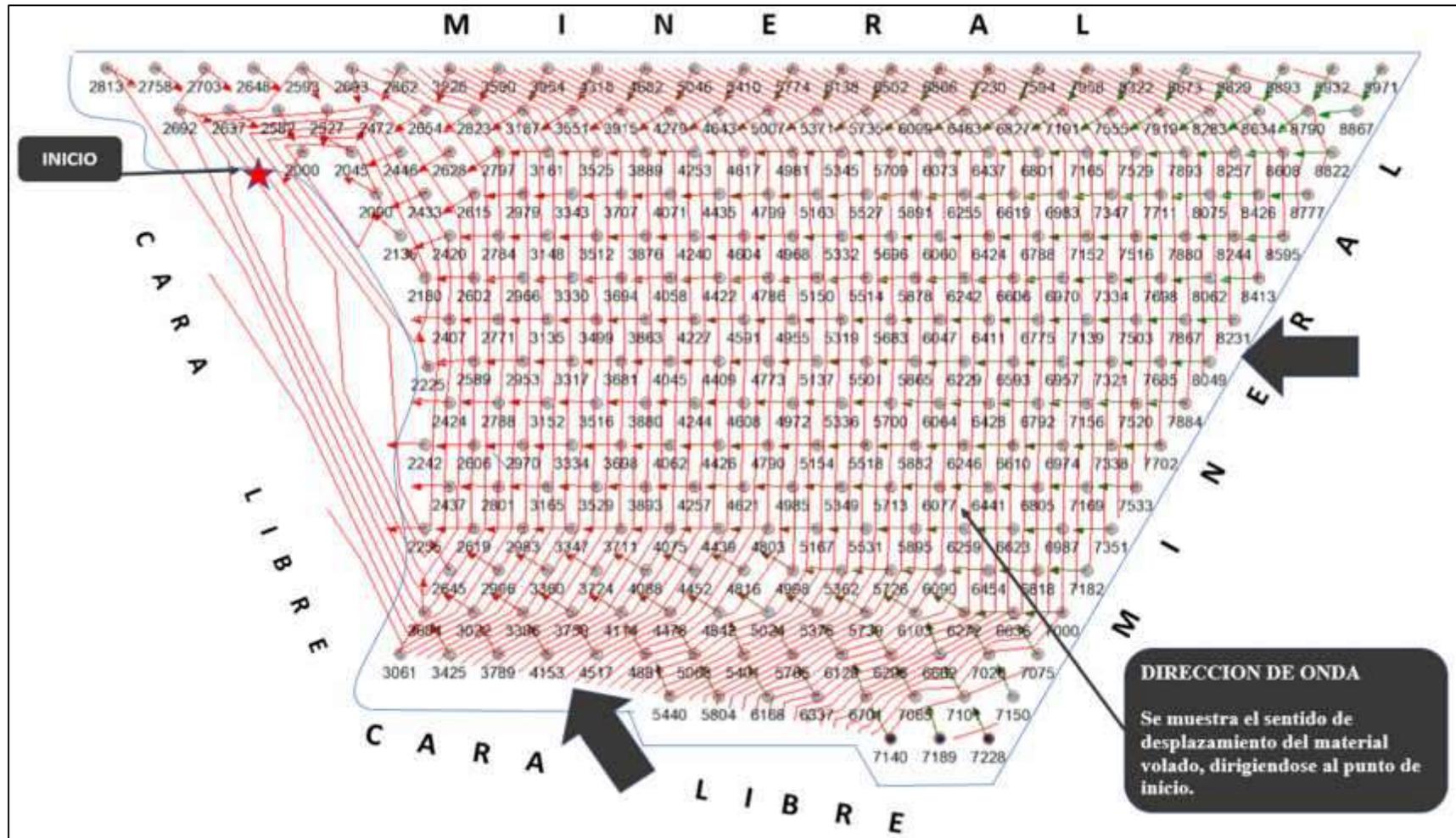


Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3 Líneas de Desplazamiento

Figura 37.

Desplazamiento del material de acuerdo al punto de inicio de detonación y dirección de onda.

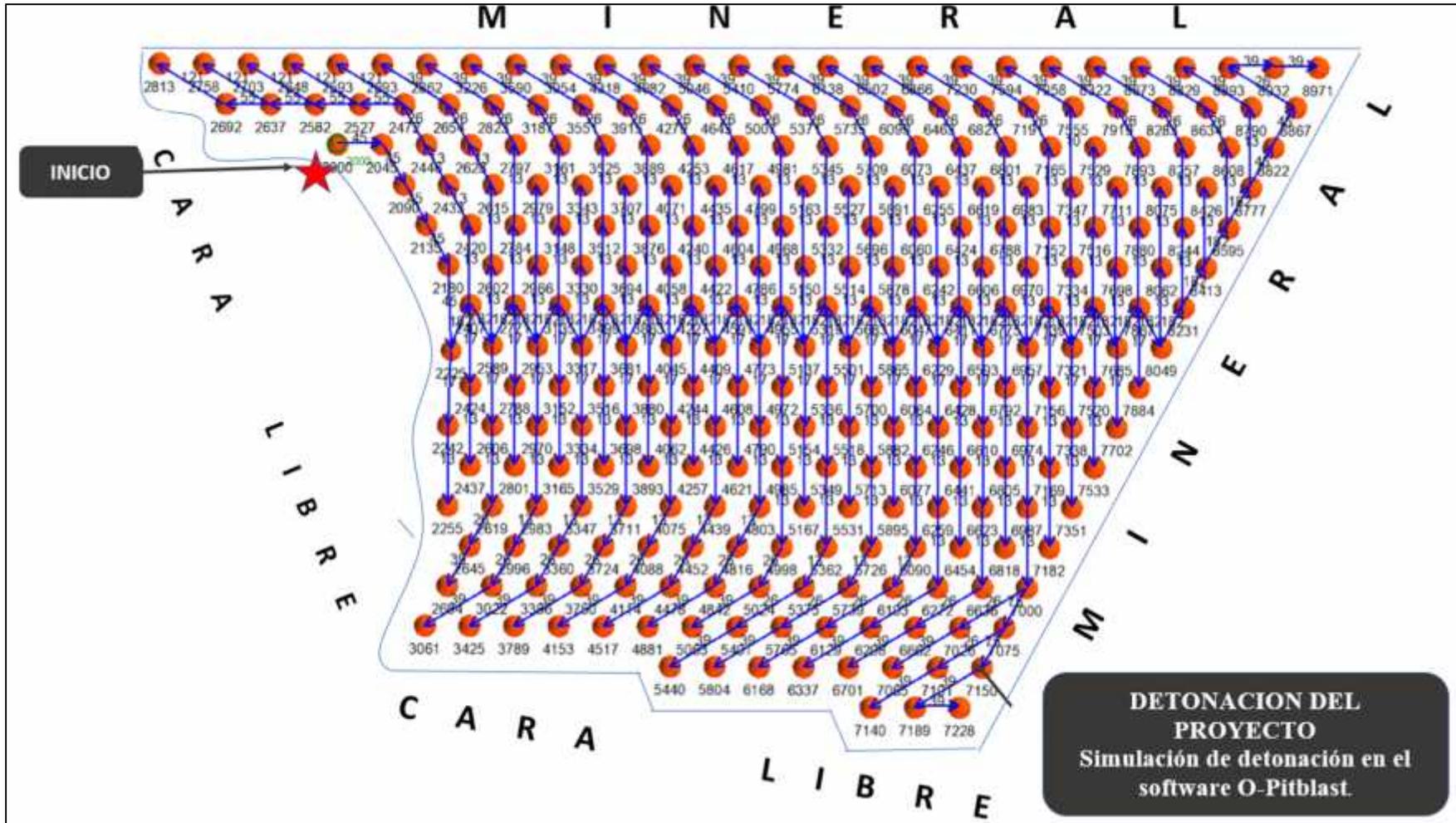


Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4 Simulación en el Software O-Pitblast

Figura 38.

Simulación del proyecto en el software O-Pitblast, donde el proyecto detona completamente en 9 segundos.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Análisis de fragmentación

Para el análisis de la fragmentación se aplica el modelo predictivo de fragmentación de Kuz-Ram, aplicando todos los modelos y ecuaciones.

Calculando el **factor de roca** de Cunningham (A):

$$A = 0.0 (R + J_1 + J_2 + R + H)$$

De donde los parámetros de la ecuación del factor de roca se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26.

Parámetros para determinar el factor de roca.

PARAMETRO	RANKING
RMD (Descripción de la masa rocosa)	
Pulvurulento/quebradizo.	10
Diaclasado verticalmente.	JPS + JPA
Masiva.	50
JPS (Espaciamiento de fracturas)	
0.1m	10
0.1m a sobre tamaño.	20
Sobre tamaño a tamaño de la malla.	50
JPA (Angulo del plano de fractura)	
Buzamiento fuera de la cara.	20
Rumbo perpendicular a la cara.	30
Buzamiento hacia la cara.	50
RDI (Influencia del peso específico)	
	25(Pe) - 50
	E/3 para E < 50GPa
	UCS/5 para E > 50GPa
HF (Factor de dureza)	
	E: Modulo de Young.
	UCS: Resistencia a la compresión uniaxial.

Nota. Adaptado de (Enaex, 2019)

$$A = 0.0 (1 + 1 + 2 + 1.7 + 1.4)$$

$$A = 3.13$$

Sin embargo, al ser este parámetro uno de los más importantes lo que se ha hecho es trabajar con el factor que se ha estado calibrando según datos históricos, por lo que el factor calibrado es de $A = 2.9$

Hallando el X50 mediante la relación de **Kuznetsov**:

$$X_{50} = A \left(\frac{V_o}{Q_e} \right)^{0.8} Q_e^{1/6} \left[\frac{1}{E_f \frac{\%C_f}{1} + E_c \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right)} \right]^{0.6}$$

Donde:

X_{50} : Tamaño medio de los fragmentos (cm).

A: Factor de roca.

V_o : Volumen de roca quebrado por pozo (m^3)

Q_e : Cantidad de explosivo por taladro excepto el de la sobreperforación (kg).

E_f y E_c : Potencia en peso de los explosivos de fondo y columna respectivamente (%).

$\%C_f$: Porcentaje de carga de fondo c/r al total (%).

$$V_o = 2.2m(2.5m)5m = 27.5 m^3$$

$$Q_e = 2.3m(4.97kg/m) + 2(3.125kg) = 17.68kg$$

$$E_f = 88\%$$

$$E_c = 100\%$$

$$\%C_f = 1.8m / 4.1m = 43.9\%$$

$$X_{50} = 2.9 \left(\frac{27.5}{17.68} \right)^{0.8} 17.68^{1/6} \left[\frac{1}{8 \frac{43.9}{1} + 100 \left(1 - \frac{43.9}{1} \right)} \right]^{0.6}$$

$$X_{50} = 7.54 \text{ cm} = 2.97 \text{ pulgadas}$$

Hallando el índice de uniformidad de **Cunningham**:

$$n = \left(2.2 - \frac{1}{d} \right) \left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{z} \right)^{0.5} \left(1 - \frac{w}{B} \right) \left[\frac{A \left[\gamma \frac{\%C_f}{1} - \gamma \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right) \right]}{\gamma c \frac{\%C_f}{1} + \gamma \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right)} + 0.1 \right]^{0.1} \left[(Q + (K) B) \left[\frac{\%C_f}{1} + \frac{1}{\gamma c} \left(1 - \frac{\%C_f}{1} \right) \right] - K \right] \frac{1}{H}$$

Donde:

B: Burden (m).

d: Diámetro de taladro (mm).

S: Espaciamiento (m).

W: Desviación de la exactitud de perforación (m).

γ , γ_c : Densidades lineales de carga de fondo y columna (kg/m).

%Cf: Porcentaje de carga de fondo c/r al total (%).

Kj: Constante de pasadura o sobre perforación.

Qe: Cantidad de explosivo por pozo excepto el de la pasadura (kg).

H: Altura de banco (m).

$$\gamma = 3.125 \text{ kg} / 24 \text{ pulgadas} = 5.12 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_c = 4.97 \text{ kg/m}$$

$$K = 0.3$$

$$W = 0.1 \text{ m}$$

$$n = \left(2.2 - 1 \frac{2.2}{8.9} \right) \left(\frac{1+2.5}{2} \right)^{0.5} \left(1 - \frac{0.1}{2.2} \right) \left[\frac{49 \frac{4.9}{1} - 5.1 \left(1 - \frac{4.9}{1} \right)}{49 \frac{4.9}{1} + 5.1 \left(1 - \frac{4.9}{1} \right)} + 0.1 \right]^{0.1} \left[\left(1.6 + (0.3 \right. \right. \\ \left. \left. 2.2) 2.2 - 5.1 \right) \left[\frac{4.9}{1 - 5.1} + \frac{1}{49} \left(1 - \frac{5.1}{1} \right) \right] - 0.3 - 2.2 \right] \frac{1}{5}$$

$$n = 1.37$$

Hallando el tamaño característico (Xc):

$$X_c = \frac{X_{50}}{0.6^{1/n}}$$

Donde:

Xc: Tamaño característico (cm).

X₅₀: Tamaño medio de los fragmentos (cm).

n: Factor de roca.

$$X_c = \frac{2.9 \text{ p}}{0.6^{1/1.37}}$$

$$X = 3.88 \text{ pulgadas}$$

Desarrollando la ecuación de **Rosin-Rammler**:

$$R = e^{-\left(\frac{x}{X_c}\right)^n}$$

Linealizando la ecuación de Rosin-Rammler se tiene:

$$X = X_c (-\ln R)^{1/n}$$

Donde:

R: Porcentaje de material retenido (%).

X: Tamaño pasante de los fragmentos (pulgadas).

X_c: Tamaño característico (pulgadas).

n: Factor de roca.

El análisis del porcentaje de material retenido en la Tabla 27.

Tabla 27.

Porcentaje de material retenido y pasante.

X (pulgadas)	R	P
0	100.00%	0.00%
0.75	90.00%	10.00%
1.30	80.00%	20.00%
1.83	70.00%	30.00%
2.37	60.00%	40.00%
2.97	50.00%	50.00%
3.64	40.00%	60.00%
4.44	30.00%	70.00%
5.49	20.00%	80.00%
7.12	10.00%	90.00%
15.88	0.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia. Porcentaje de material retenido (R) en un tamiz de abertura (X) y porcentaje de material pasante (P).

Y la curva de fragmentación se muestra en la **Figura 39**, en donde se grafica e identifica el P80.

Figura 39.
Curva de fragmentación.



Fuente: Elaboración propia. Análisis de tamaño de fragmentación, teniendo un P80 de 5.49 pulgadas.

-) El **porcentaje de fragmentos menores e iguales a 10 pulgadas** se calculan interpolando de la siguiente manera:
 - 97% es a 9.68 pulgadas
 - X% es 10 pulgadas

98.00% es a 10.49 pulgadas

Resolviendo se tiene $x = 97.40\%$ el cual representa un tonelaje de 18224.51 TM.

) Eso quiere decir que el **porcentaje de fragmentos entre 10-16 pulgadas** es:

$100\% - 97.40\% = 2.60\%$ representando un tonelaje de 486.49 TM, el cual se redujo mediante rompebanco.

) Finalmente, ya no se tiene fragmentación por encima de las 16 pulgadas, en consecuencia, no se tiene voladura secundaria.

El resumen de análisis de fragmentación post voladura se observa en la Tabla 28.

Tabla 28.

Análisis de fragmentación post voladura.

DESCRIPCIÓN	VALOR
P80	5.49 pulg
Fragmentos < a 10 pulg	97.40%
Primera recuperación	18224.51 TM
Fragmentos entre (10 – 16) pulg	2.60%
Rompe banco	486.49 TM
Fragmentos > a 16 pulg	0%
Voladura secundaria	0 TM

Fuente: Elaboración propia. El P80 es de 5.49 pulgadas, y fragmentos entre 10 - 16 pulgadas es de 2.60 % se redujo mediante rompebanco.

4.3.3 Costos de Voladura Aplicando el Sistema de Iniciación Electrónica Fametronic

El costo de voladura primaria se calcula mediante el producto de la cantidad de explosivo y su precio unitario, y el costo de voladura se determina sumando el costo de voladura primaria, costo por rompebanco y voladura secundaria, para luego el resultado dividir entre el tonelaje roto.

El resumen de costo de voladura se detalla en las Tablas 29 y 30.

Tabla 29.*Costo de voladura.*

INSUMO	CANTIDAD	PU (US\$)	COSTO
Anfo Superfam Dos	3,200.68 kg	0.50	1,600.34
Emulfan	2,625.00 kg	1.23	3,228.75
Booster HDP 1/2	280.00 und	1.78	498.40
Detonador electrónico Fametronic	280.00 und	20.00	5,600.00
Fanel dual 8 m 800/17 ms	280.00 und	2.00	560.00
Cable dúplex	1500.00 m	0.17	255.00
Costo de explosivos (US\$)			11,742.49
COSTO DE VOLADURA PRIMARIA (US\$/ton)			0.63

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 30.***Resumen de costo de voladura.*

DESCRIPCION	COSTO
Voladura primaria (US\$/ton)	0.63
Rompebanco (US\$/ton)	0.13
Voladura secundaria (US\$/ton)	0.00
COSTO DE VOLADURA (US\$/ton)	0.76

Fuente: Elaboración propia. El costo de voladura empleando el sistema de voladura electrónica Fametronic es de 0.76 US\$/ton

4.4 Análisis

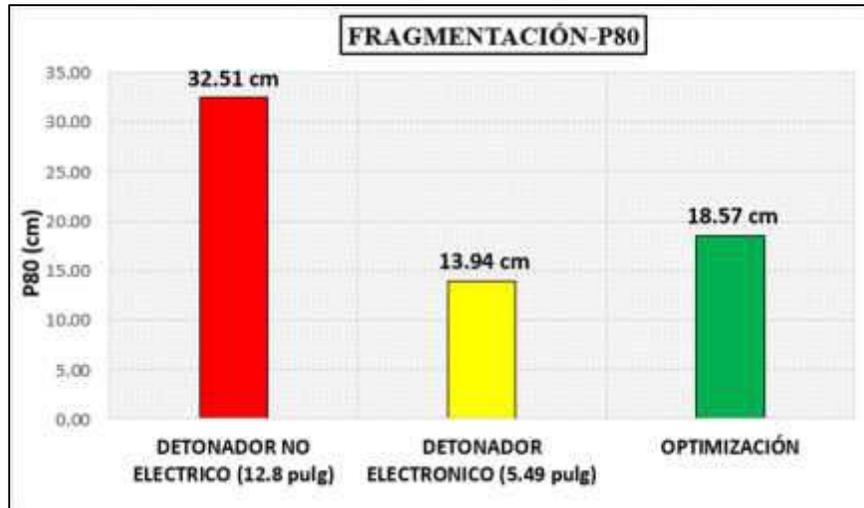
4.4.1 Análisis de las Voladuras Primarias con los Sistemas de Iniciación no Eléctrico y Electrónico

4.4.1.1 Fragmentación-P80

Se basan en los resultados obtenidos anteriormente en la voladura N°48 con iniciación no eléctrica y la voladura N°52 con iniciación electrónica (ver Figura 40.)

Figura 40.

Comparación de P80 entre los detonadores no eléctricos y electrónicos.



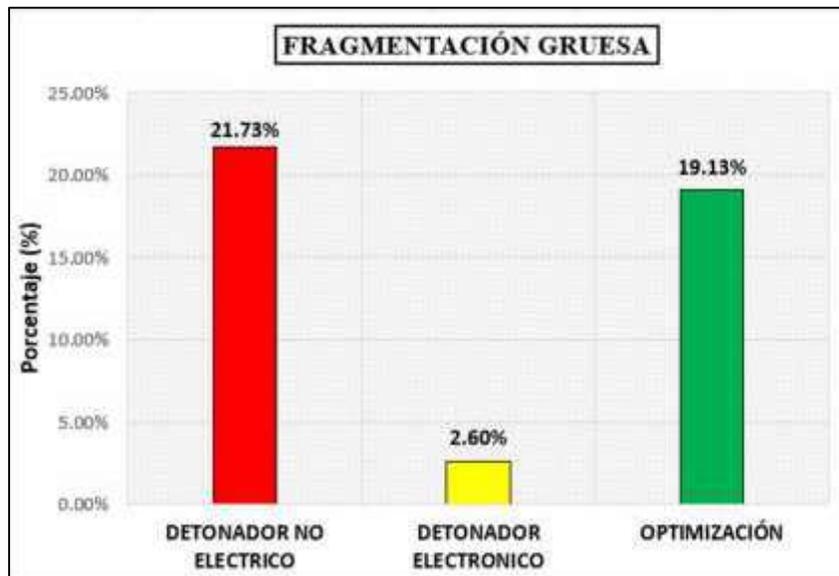
Fuente: Elaboración propia. P80 (no eléctrico vs electrónico)

4.4.1.2 Porcentaje de Fragmentación Gruesa

Estos resultados se sustentan de acuerdo a los intervalos de fragmentación obtenidos, en este caso fragmentos entre (10-16) pulgadas se fragmentan con rompebancos (ver Figura 41.)

Figura 41.

Porcentaje de fragmentación gruesa obtenido post voladura.



Fuente: Elaboración propia. Fragmentación gruesa (no eléctrico vs electrónico).

4.4.1.3 Voladuras Secundarias

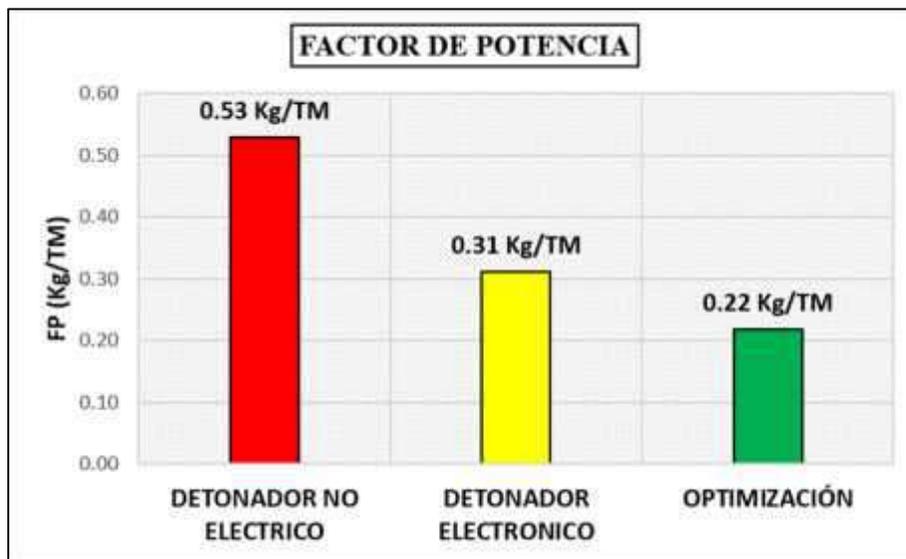
De acuerdo a los resultados del análisis de fragmentación post voladura de los proyectos de voladura N°48 y N°52 con iniciación no eléctrica y electrónica respectivamente. Se observó que, el proyecto N°48 sí demandó realizar voladura secundaria con un costo de 0.10 US\$/TM, mas no en el proyecto de voladura N°52.

4.4.1.4 Factor de Potencia

La comparación del factor de potencia entre ambos detonadores se visualiza en la Figura 42.

Figura 42.

Factor de potencia empleando el sistema no eléctrico y electrónico.



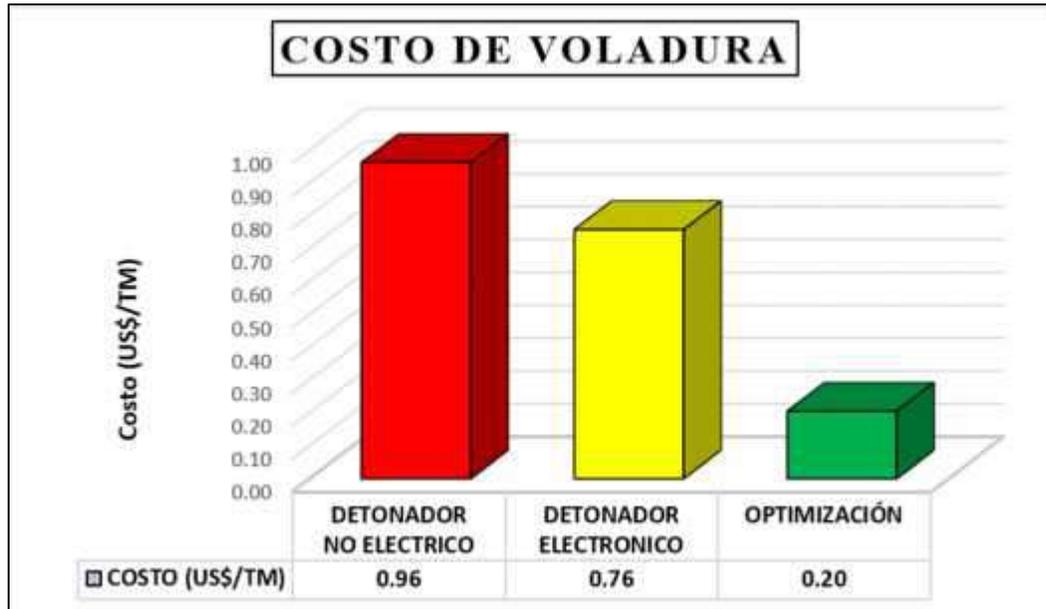
Fuente: Elaboración propia. Factor de potencia (no eléctrico vs electrónico).

4.4.1.5 Costo de Voladura.

A continuación, en la Figura 43. se muestra los costos de voladura obtenido para los proyectos N°48 con iniciación no eléctrica y el proyecto N°52 con iniciación electrónica.

Figura 43.

Costos de voladura con detonadores no eléctricos y electrónicos.



Fuente: Elaboración propia. Costos de voladura (detonador no eléctrico vs detonador electrónico) de los proyectos de voladura N°48 y N°52.

4.4.2 Discusión de Resultados de los Detonadores no Eléctricos y Electrónicos

De acuerdo con los gráficos mostrados, se realiza el análisis e interpretación de todos los parámetros evaluados:

4.4.2.1 Fragmentación-P80

En la voladura con detonadores no eléctricos se obtuvo un P80 de 32.51 cm y el proyecto con detonadores electrónicos se obtuvo un P80 de 13.94 cm, es decir se disminuyó la fragmentación en 18.57 cm.

4.4.2.2 Porcentaje de Fragmentación Gruesa

En la voladura con detonadores no eléctricos se obtuvo 21.73% y en el proyecto con detonadores electrónicos se obtuvo 2.60%, es decir disminuyó en 19.13% la fragmentación gruesa.

4.4.2.3 Factor de Potencia

Con los detonadores no eléctricos se tuvo un factor de potencia de 0.53 Kg/TM, mientras que con los detonadores electrónicos se obtiene 0.31 Kg/TM, logrando disminuir en 0.22 Kg/TM, lo cual indica que se consumió menos explosivo por tonelada de mineral roto.

4.4.2.4 Costo de Voladura

Los costos de voladura con los detonadores no eléctricos considerando el costo de voladura primaria, de rompebancos y voladura secundaria ascendió a 0.96 US\$/TM, mientras que el costo de producción de mineral empleando el sistema electrónico alcanzó a 0.76 US\$/TM, en este último ya no se realizó voladura secundaria. Viéndose reducido el costo en 0.20 US\$/TM.

CONCLUSIONES

1. En los proyectos de voladura con detonadores no eléctricos en la Unidad Minera Tacaza – Lampa – Puno, se emplean como iniciador faneles duales de 8m con retardo en el fondo del taladro (800 ms) y superficie (17 ms), y conectores de troncales (CTD) con retardos de 25, 42, 65 ms, estos sistemas no ofrecen una óptima secuencia en la salida de los taladros, sumado a ello la alta dispersión que tienen (+/-7%), generando detonaciones simultáneas, y dando como resultado una deficiente fragmentación. En el proyecto de voladura N°48 se tuvo un P80 real de 12.8 pulgadas y un costo de voladura de 0.96 US\$/TM.
2. El sistema de voladura electrónica Fametronic ofrece una flexibilidad en el diseño de voladuras, así como una precisión óptima y dispersión casi nula en los tiempos asignados, y seguridad mejorada en todo el sistema. Permitiendo realizar un secuenciamiento y sincronización óptima en los tiempos de salida de los taladros, en consecuencia, permite optimizar la fragmentación de rocas. En el proyecto de voladura N°52 se asignaron tiempos entre taladros (13 ms) y filas (182 ms), y cada taladro se cargó con un detonador electrónico Fametronic y, un detonador no eléctrico de respaldo para evitar tiros cortados.
3. La fragmentación se redujo de un P80 = 32.51 cm a P80 = 13.94 cm, lo cual se optimizó en un 57.12% viéndose reflejado en la cantidad de fragmentación gruesa, el cual disminuyó en 19.13%. Así mismo con los detonadores no eléctricos se tuvo un factor de potencia de 0.53 Kg/TM, mientras que con los detonadores electrónicos se obtuvo 0.31 Kg/TM, logrando disminuir en 0.22 Kg/TM, lo cual indica que se consumió menos explosivo por tonelada de mineral roto. Finalmente, el costo de voladura con los detonadores no eléctricos considerando el costo de voladura primaria, de rompebancos y voladura secundaria ascendió a 0.96 US\$/TM, mientras que el costo de voladura empleando el sistema electrónico Fametronic alcanzó a 0.76 US\$/TM, en este último ya no se realizó voladura secundaria. Viéndose reducido el costo en 0.20 US\$/TM.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a futuros investigadores del área de perforación y voladura de rocas en minería superficial de mediana escala la aplicación de los detonadores electrónicos Fametronic por ofrecer mayor precisión y versatilidad que los detonadores no eléctricos, para optimizar proyectos de voladura.
2. Se recomienda a la empresa Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros Sociedad Anónima (CIEMSA) realizar el análisis de los beneficios técnicos y económicos en los procesos de carguío, acarreo, chancado y molienda, de tal manera mejorar los costos de productividad.
3. A la empresa Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros Sociedad Anónima (CIEMSA) se recomienda continuar con los trabajos de investigación y de mejora continua, para realizar las voladuras de forma segura y lograr una fragmentación adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- Ames Lara, V. (2019). *Perforación y voladura de rocas I*. Victor Alejandro Ames Lara.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación*. Cracaras-Republica Bolivariana de Venezuela: Episteme.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *Perforacion y voladura de rocas en minería*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering rock mass clasification*. Pensylvania-E.E.U.U.: WILEY.
- Empresa Editora Macro EIRL. (2024). *Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería*. Lima - Perú: MACRO.
- Enaex. (2019). *Manual de tronadura*. ENAEX S.A.
- EXSA. (2019). *Manual práctico de voladura*. Exsa.
- Famesa Explosivos. (2019). *Manual de perforación y voladura*. Famesa Explosivos S.A.C.
- Famesa Explosivos. (2019). *Sistema de iniciación electrónica fametronic*. Famesa Explosivo S.A.C.
- Famesa explosivos. (29 de Julio de 2024). *Famesa*. Obtenido de www.famesaexplosivos.com/productos/agentes-de-voladuras/
- Famesa explosivos. (29 de Julio de 2024). *Famesa*. Obtenido de www.famesaexplosivos.com/productos/altos-explosivos/
- Famesa explosivos. (29 de Julio de 2024). *Famesa*. Obtenido de www.famesaexplosivos.com/productos/sistemas-de-iniciacion/
- Flames Gonzales, A. V. (2012). *Trabajo de grado cuantitativo y cualitativo*. Caracas, Venezuela: Universidad Bolivariana de Venezuela.
- Gutierrez, K. (2020). *Presentación fametronic*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/477719598/Presentacion-Fametronic-v2#>
- Hualla Huayhua, F. (2016). *Impementación y aplicación del sistema de iniciación electrónica para la optimización de voladura a tajo abierto caso Antamina-Ancash*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Huamán Ubillús, A. (2010). *Implementación de un nuevo sistema de Iniciación electrónica en Perú-seguridad y versatilidad*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Instituto Geologico y Minero de España. (1987). *Manual de perforacion y voladura de rocas*. ETIMSA.
- Konya, C., & Albarrán N., E. (1998). *Diseño de voladuras*. EDICIONES CUICATL.

- López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermúdez, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Carlos López Jimeno.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., García Bermudez, P., Cebrián Romo, B., & Rocha Gil, M. (2019). *Manual de perforación y voladura*. Famesa Explosivos.
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Decreto Supremo N.º 024-2016 E.M., Modificatoria DS N.º 023-2017 E.M., Modificatoria DS N.º 034-2023-E.M.* Obtenido de Plataforma digital única del Estado Peruano: <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/4990975-034-2023-em>
- Romero Paucar, R. (2016). *Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo toromocho-Minera Chinalco Perú S.A.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Tipo Chambi, R. (2019). *Optimización de fragmentación de rocas modificando los parámetros de perforación en la Unidad Minera Tacaza-CIEMSA*. Puno-Perú.
- Urday Diaz, P. (2022). *Optimización de perforación y voladura de rocas volcanoclasticas para reducción de costos en carguío, acarreo y aumento de eficiencia en chancado*. Arequipa-Perú.
- Villalba Montoya, I., & Luisa Delgado, M. (2021). *Modelos predictivos de fragmentación*. Centro de Investigación Tecnológica Cintex-Enaex.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

“OPTIMIZACION DE LA FRAGMENTACION DE ROCAS EMPLEANDO EL SISTEMA DE VOLADURA ELECTRONICA FAMETRONIC EN LA UNIDAD MINERA TACAZA-LAMPA-PUNO”				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES
¿En qué medida influye la utilización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la optimización de voladuras primarias en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno?	Determinar el nivel de influencia con la utilización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la optimización de voladuras primarias en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno.	Si se utiliza de manera pertinente los parámetros del sistema de voladura electrónica Fametronic en el cálculo y diseño de voladuras primarias, entonces la fragmentación de la roca se verá optimizada de manera significativa en la Unidad Minera Tacaza-Lampa-Puno.	SISTEMA DE VOLADURA ELECTRONICA FAMETRONIC	Disparo remoto.
				Voladuras masivas.
				Diseño de voladura.
				Configuración de tiempos.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES
¿Cuáles son los parámetros técnicos de la voladura no eléctrica en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno?	Determinar los parámetros técnicos de la voladura no eléctrica en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno.	Con un análisis detallado de los parámetros técnicos de la voladura no eléctrica, se planteó la utilización del sistema electrónico Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno.	OPTIMIZACION DE LA FRAGMENTACION DE ROCAS	Fragmentación-P80
				Factor de potencia (Kg/TM)
¿Cuáles son las características y parámetros de optimización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno?	Determinar las características y parámetros de optimización del sistema de voladura electrónica Fametronic en la Unidad Minera Tacaza-Lampa – Puno.	Con un estudio detallado de las características y parámetros de optimización del sistema de voladura electrónica Fametronic, se obtuvo mejores resultados en las voladuras primarias de la Unidad Minera Tacaza - Lampa - Puno.		Costo de voladura (\$/TM)
¿Cuál será los resultados de la voladura con el sistema electrónico Fametronic frente a la voladura no eléctrica, en la Unidad Minera Tacaza – Lampa – Puno?	Determinar los resultados de la voladura con el sistema electrónico Fametronic frente a la voladura no eléctrica en la Unidad Minera Tacaza – Lampa – Puno.	1. Con un análisis detallado de los resultados de la voladura con el sistema electrónico Fametronic frente a la voladura no eléctrica, se optimizaron los proyectos de voladura en la Unidad Minera Tacaza – Lampa – Puno.		Numero de voladuras secundarias

Anexo 2: Ficha técnica del detonador electrónico Fametronic.

FAMETRONIC® BAC DETONADOR ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

Descripción y composición

El FAMETRONIC® BAC conformado por un fulminante, un botón de plástico, un cable blindado, dos etiquetas: la primera etiqueta de identificación numérica con código de barras y la segunda etiqueta de trazabilidad, y por último un conector de doble contacto por conductor para realizar la conexión a la línea principal de disparo de forma más segura.

El FAMETRONIC® BAC presenta los siguientes componentes:

• **FULMINANTE FAMETRONIC® BAC:** conformado por una cápsula de aluminio con una carga de fulminante N° 12, en su interior lleva un explosivo primario y uno secundario, de alto poder explosivo. Asimismo contiene una tarjeta electrónica con un código de identificación (ID) único en memoria, este código es idéntico al código de la etiqueta de identificación numérica.

• **CABLE BLINDADO FAMETRONIC® BAC:** lleva 2 conductores aislados revestidos de cobre con una primera cubierta de PVC y con un núcleo de polipropileno lo cual le permite dotar al producto de una superior resistencia a la abrasión y tracciones mecánicas durante su utilización en el campo, en cuyo extremo lleva el fulminante Fametronic® BAC y en el otro lleva su etiqueta de identificación junto a un conector.

Usos

El FAMETRONIC® BAC es un detonador de retardo electrónico usado en sistemas de inspección electrónica para velocidades de aplicación en minería superficial, subterránea, canchales y otras aplicaciones, que ofrece los beneficios de alta seguridad frente a corrientes eléctricas, mejora de la fragmentación, disminuye la vibración y la programación bidireccional de los tiempos de retardo requeridos con alta exactitud.

El FAMETRONIC® BAC ha sido diseñado para trabajar en temperaturas cuya temperatura se encuentren entre 0°C y 60°C.

Transporte

Clase : 1
División : 1.4B
N° ONU : 0205



Características Técnicas

Del Fulminante Fametronic® Bac

	Unidad	Fametronic® Bac
Diámetro del fulminante	mm	7,3
Longitud del fulminante	mm	80
Potencia del fulminante	N°	12
Material del fulminante	-	Aluminio
Resistencia a la presión hidrostática por 2 horas	Kg/cm ²	6,8
Volumen Trasud	cm ³	34
Resistencia al impacto	J/kg/m ³	No Detona
Tiempo de retardo	ms	De 0 a 20000
Resistencia a la descarga electrostática 30KV/2000pF	-	No Detona
Resistencia a radiofrecuencia	-	SI
Trazabilidad	-	Número ID único
Vida útil	-	2 años

Características Técnicas

Del Cable Fametronic® Bac

	Unidad	Fametronic® Bac
Material del conductor	-	Acero cubierto de cobre
Cobertura	-	Cobertura de polipropileno y PVC
Cable	-	Amatillo
Diámetro total	mm	3,5
Resistencia a la abrasión	Ciclos	2000
Resistencia a la ruptura	Kg-f	Mín. 35

Presentación

Embalaje tipo 1.4B

	Material de caja	Capacidad de caja (Pza.)	Peso Neto (kg)	Peso Bruto (kg)	Dimensiones externas (cm)
FAMETRONIC® BAC 6 m	Cartón	75	7,3	8,7	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 10 m	Cartón	65	9,0	10,4	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 12 m	Cartón	50	6,8	10,2	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 15 m	Cartón	45	9,9	11,3	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 20 m	Cartón	35	10,0	11,4	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 30 m	Cartón	23	9,3	10,6	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 35 m	Cartón	20	9,7	11,1	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 40 m	Cartón	18	10,0	11,4	30,3 x 56,7 x 27,5
FAMETRONIC® BAC 60 m	Cartón	12	9,9	11,3	30,3 x 56,7 x 27,5

FAMESA
EXPLOSIVOS



Anexo 3: Ficha técnica del detonador no eléctrico Fanel dual.



Descripción y composición

El FANEL DUAL es un sistema de iniciación no eléctrico que fue desarrollado para minería subterránea, superficial y obras civiles. Su principal característica radica en eliminar la necesidad de mantener y almacenar varios tiempos de retardo, lo cual permite al usuario reducir costos.

El FANEL DUAL está compuesto de los siguientes elementos:

• **Fulminante de superficie:** Se encuentra ensamblado en uno de los extremos de la Manguera Fanel, lleva un bloque plástico tipo mango y posee un elemento de retardo en un Fulminante N° 3.

• **Fulminante de profundidad:** Este se encuentra ensamblado en el otro extremo de la Manguera Fanel y posee un elemento de retardo en un Fulminante N° 13.

• **Manguera Fanel® a tubo de choque:** Está fabricada con un material termoplástico de alta resistencia mecánica e igualmente está cubierta por una sustancia reactiva que al ser activada conduce una traza de choque capa ancha y temperatura son suficientes para iniciar al Fulminante.

• **Etiqueta:** Indica el tiempo de retardo en milisegundos, primero se encuentra el tiempo de retardo del Fulminante de profundidad, seguido por el de superficie. Adicionalmente, tenemos un código de barras que permite la trazabilidad del producto.

• **Conector plástico tipo "Mango":** Es un bloque plástico especialmente diseñado para facilitar la conexión y asegurar el contacto entre la Manguera Fanel® y el Fulminante de Superficie, permitiendo ensamblar hasta 6 mangueras.

Uso

El FANEL DUAL se utiliza preferentemente en minería superficial y sus ventajas son:

- Fácil y rápido armado de la mala de detonación.
- Reducción del costo de los inventarios.
- Bajo nivel de ruido durante su detonación.

Características técnicas

DEL FULMINANTE DE SUPERFICIE	FANEL DUAL
Diámetro (mm)	7,3
Longitud (mm)	80
Peso de mango	Mín. 4
Diámetro de perforación (mm)	Mín. 2,5
Volumen total (cm ³)	Mín. 2,5
Resistencia al impacto 2kg / 1m	No detona

DE LA MANGUERA FANEL	FANEL DUAL
Materia	Termoplástico flexible y de gran resistencia mecánica
Diámetro (mm)	3,3 ± 0,2
Longitud (m)	Variable
Color	Rojo - Naranja
Velocidad de onda (m/s)	2 000 ± 200
Otras longitudes en rollos o pedales	

Características técnicas

DEL FULMINANTE DE PROFUNDIDAD	FANEL DUAL
Diámetro (mm)	7,3
Longitud (mm)	80 / 80
Peso de mango	Mín. 11
Diámetro de perforación (mm)	
Volumen total (cm ³)	Mín. 34
Resistencia al impacto 2kg / 1m	No detona

DEL LA ETIQUETA	FANEL DUAL
Materia	Plástico
Color de letra	Negro
Color de fondo	En función del color de bloque plástico

Tabla de tiempos totales de retardo

Fulminante de profundidad (milisegundos)	Fulminante de superficie (milisegundos)
300	17
330	20
360	23
390	26
420	29
450	32
480	35
510	38
540	41
570	44
600	47
630	50
660	53
690	56
720	59
750	62
780	65
810	68
840	71
870	74
900	77
930	80
960	83
990	86
1020	89
1050	92
1080	95
1110	98
1140	101
1170	104
1200	107
1230	110
1260	113
1290	116
1320	119
1350	122
1380	125
1410	128
1440	131
1470	134
1500	137
1530	140
1560	143
1590	146
1620	149
1650	152
1680	155
1710	158
1740	161
1770	164
1800	167
1830	170
1860	173
1890	176
1920	179
1950	182
1980	185
2010	188
2040	191
2070	194
2100	197
2130	200
2160	203
2190	206
2220	209
2250	212
2280	215
2310	218
2340	221
2370	224
2400	227
2430	230
2460	233
2490	236
2520	239
2550	242
2580	245
2610	248
2640	251
2670	254
2700	257
2730	260
2760	263
2790	266
2820	269
2850	272
2880	275
2910	278
2940	281
2970	284
3000	287
3030	290
3060	293
3090	296
3120	299
3150	302
3180	305
3210	308
3240	311
3270	314
3300	317
3330	320
3360	323
3390	326
3420	329
3450	332
3480	335
3510	338
3540	341
3570	344
3600	347
3630	350
3660	353
3690	356
3720	359
3750	362
3780	365
3810	368
3840	371
3870	374
3900	377
3930	380
3960	383
3990	386
4020	389
4050	392
4080	395
4110	398
4140	401
4170	404
4200	407
4230	410
4260	413
4290	416
4320	419
4350	422
4380	425
4410	428
4440	431
4470	434
4500	437
4530	440
4560	443
4590	446
4620	449
4650	452
4680	455
4710	458
4740	461
4770	464
4800	467
4830	470
4860	473
4890	476
4920	479
4950	482
4980	485
5010	488
5040	491
5070	494
5100	497
5130	500
5160	503
5190	506
5220	509
5250	512
5280	515
5310	518
5340	521
5370	524
5400	527
5430	530
5460	533
5490	536
5520	539
5550	542
5580	545
5610	548
5640	551
5670	554
5700	557
5730	560
5760	563
5790	566
5820	569
5850	572
5880	575
5910	578
5940	581
5970	584
6000	587
6030	590
6060	593
6090	596
6120	599
6150	602
6180	605
6210	608
6240	611
6270	614
6300	617
6330	620
6360	623
6390	626
6420	629
6450	632
6480	635
6510	638
6540	641
6570	644
6600	647
6630	650
6660	653
6690	656
6720	659
6750	662
6780	665
6810	668
6840	671
6870	674
6900	677
6930	680
6960	683
6990	686
7020	689
7050	692
7080	695
7110	698
7140	701
7170	704
7200	707
7230	710
7260	713
7290	716
7320	719
7350	722
7380	725
7410	728
7440	731
7470	734
7500	737
7530	740
7560	743
7590	746
7620	749
7650	752
7680	755
7710	758
7740	761
7770	764
7800	767
7830	770
7860	773
7890	776
7920	779
7950	782
7980	785
8010	788
8040	791
8070	794
8100	797
8130	800
8160	803
8190	806
8220	809
8250	812
8280	815
8310	818
8340	821
8370	824
8400	827
8430	830
8460	833
8490	836
8520	839
8550	842
8580	845
8610	848
8640	851
8670	854
8700	857
8730	860
8760	863
8790	866
8820	869
8850	872
8880	875
8910	878
8940	881
8970	884
9000	887
9030	890
9060	893
9090	896
9120	899
9150	902
9180	905
9210	908
9240	911
9270	914
9300	917
9330	920
9360	923
9390	926
9420	929
9450	932
9480	935
9510	938
9540	941
9570	944
9600	947
9630	950
9660	953
9690	956
9720	959
9750	962
9780	965
9810	968
9840	971
9870	974
9900	977
9930	980
9960	983
9990	986

DEL CONECTOR PLÁSTICO TIPO "MANGO"	FANEL DUAL
Materia	Plástico
17ms	Beige
25ms	Rojo
35ms	Verde
42ms	Café
50ms	Azul
60ms	Blanco
75ms	Naranja
100ms	Magenta
120ms	Magenta
150ms	Anaranjado
200ms	Anaranjado
300ms	Negro
Color del bloque plástico	

Presentación

Embalaje 1.1B:	Materia de caja	Capacidad de caja (Pzs.)	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
FANEL DUAL 12 m	Cartón	30	5,7	6,5	36,0 x 30,0 x 18,0
FANEL DUAL 14 m	Cartón	40	8,2	9,0	36,0 x 30,0 x 18,0
FANEL DUAL 17 m	Cartón	30	5,3	6,0	36,0 x 30,0 x 18,0
FANEL DUAL 23 m	Cartón	30	6,2	7,0	36,0 x 30,0 x 18,0

Embalaje tipo 1.4B	Materia de caja	Capacidad de caja (Pzs.)	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
FANEL DUAL 12 m	Cartón	60	10,00	10,90	36,0 x 33,0 x 33,0
FANEL DUAL 14 m	Cartón	30	6,40	14,90	36,0 x 33,0 x 33,0

Transporte

Clase: 1 División: 1.1 B N° ONU: 6360		Clase: 1 División: 1.4 B N° ONU: 1381	
---	--	---	--

