

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN-G APU
PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA
ZANJA, CAJAMARCA**

Para optar el título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

Bach. Torres Cabrera Mercedes

Asesor:

M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca – Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** TORRES CABRERA MERCEDES
DNI: 74228782
Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA DE MINAS
- Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN-G APU PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA ZANJA, CAJAMARCA
Fecha de evaluación: 16/01/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (**)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 10%
- Código Documento:** Oide:3117:421372538
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 16/01/2025

		Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 16/01/2025 18:57:10-0500
<hr/> FIRMA DEL ASESOR Roberto Severino Gonzales Yana	<hr/> UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI	

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN - G APU PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA ZANJA, CAJAMARCA"

ASESOR : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0055-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 20 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **seis días del mes de febrero de 2025**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN - G APU PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA ZANJA, CAJAMARCA", presentado por la Bachiller en Ingeniería de Minas MERCEDES TORRES CABRERA, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ³ PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : ¹¹ PTS.
EVALUACIÓN FINAL : ¹⁴ PTS. ^{CATORCE} (En letras)

En consecuencia, se la declara ^{APROBADA} con el calificativo de ^{CATORCE} acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ^{12:00 pm} horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres José Luis y Joissy, a mis hermanos José Luis y Kolvin, a mi esposo Antonio Amésquita y a mi amada hija Ainhara Mercedes, por ser mi motor y motivo en el logro de mis metas.

Mercedes Torres Cabrera

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, la salud, y por haberme guiado en todo el camino, dándome sabiduría y fortaleza para llegar a ser profesional.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a mi querida Escuela de Ingeniería de Minas, y a mis docentes.

Al Ing. Roberto Severino Gonzales Yana por asesorarme y aconsejarme durante el desarrollo de mi tesis.

Agradezco especialmente a la empresa Minera La Zanja S.R.L y a mis jefes que me apoyaron para el desarrollo del presente trabajo.

Mercedes Torres Cabrera

ÍNDICE GENERAL

	Pag
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes Teóricos de investigación.....	19
2.1.1. Internacionales	19
2.1.2. Nacionales.....	20
2.1.3. Local.....	21

2.2. Bases Teóricas.....	22
2.2.1. Perforación de rocas.....	22
2.2.2. Voladura de rocas.....	23
2.2.3. Voladura Controlada.....	24
2.2.4. Parámetros de voladura en banco.....	27
2.2.5. Variables controlables de una voladura de rocas.....	30
2.2.6. Variables no controlables de una voladura de rocas.....	33
2.2.7. Explosivos y accesorios de voladura.....	34
2.2.8. Fragmentación.....	43
2.2.9. Pasante P80.....	43
2.2.10. Categoría de humos.....	44
2.3. Definición de términos básicos.....	46
CAPÍTULO III.....	48
MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1. Ubicación.....	48
3.1.1. Ubicación geográfica.....	48
3.1.2. Accesibilidad.....	49
3.1.3. Clima y Vegetación.....	53

	Pag
3.2. Metodología de la investigación	53
3.2.1. Tipo de la investigación	53
3.2.2. Nivel de la investigación	54
3.2.3. Diseño de la investigación.....	54
3.2.4. Método de la investigación	54
3.2.5. Población de Estudio	54
3.2.6. Muestra.....	54
3.2.7. Unidad de Análisis.....	54
3.2.8. Definición de Variables.....	55
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
3.3.1. Técnicas.....	57
3.3.2. Instrumentos, materiales y equipos	58
3.4. Procedimientos.....	58
3.4.1. Etapa Preliminar de Gabinete	59
3.4.2. Etapa de Campo.....	60
3.4.3. Etapa Final de Gabinete.....	61
3.5. Geología.....	61
3.5.1. Geología Regional.....	61

	Pag
3.5.2. Geología Local.....	62
3.6. Generalidades de Minera La Zanja.....	67
3.6.1. Ciclo de minado.....	67
3.6.1.1. Perforación.....	67
3.6.2.2. Voladura.....	76
3.6.2.3. Carguío.....	77
3.6.2.4. Acarreo.....	79
3.6.2.5. Software Wipfrag.....	80
3.7. Evaluación técnica del explosivo Emulgex.....	81
3.7.1. Características técnicas del explosivo Emulgex.....	82
3.7.2. Características de malla de voladura de Emulgex.....	82
3.7.3. Kpi's de voladura de Emulgex.....	85
3.8. Evaluación técnica del explosivo SAN-G APU.....	92
3.8.1. Características técnicas de SAN-G APU.....	92
3.8.2. Características de malla de voladura de SAN-G APU.....	95
3.8.3. Kpi's de voladura de SAN-G APU.....	98
CAPÍTULO IV.....	101
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	101

	Pag
4.1. Resultados de la investigación.....	101
4.2. Contratación de la hipótesis.....	124
CAPÍTULO V	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
5.1. Conclusiones	125
5.2. Recomendaciones	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
ANEXOS.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1 Tipos de perforación.....	22
Figura 2 Esquema de Voladura.....	24
Figura 3 Esquema de Voladura de producción	27
Figura 4 Voladura de bancos – nomenclatura.....	28
Figura 5 Bancos Bajos.....	29
Figura 6 Diámetro de perforación.....	30
Figura 7 Sobreperforación.....	31

	Pag
Figura 8 Sobre perforación excesiva.....	31
Figura 9 Ángulo de perforación.....	32
Figura 10 Esponjamiento en el interior del taladro	34
Figura 11 Burbujas generadas vista de manera macroscópica.....	35
Figura 12 Emulsión No sensibilizada Sang Apu	36
Figura 13 Medición de densidades en MLZ.....	37
Figura 14 Gráfico de VOD proyecto P3432 - 055_PV SANG APU.....	40
Figura 15 Gráfico de VOD proyecto P3432 - 055_PV SANG APU.....	41
Figura 16 Gráfico de VOD proyecto P3432 - 055_PV SANG APU.....	42
Figura 17 Plano de ubicación de MLZ.....	48
Figura 18 Accesibilidad vía terrestre al proyecto minero	50
Figura 19 Accesibilidad a Minera la Zanja desde Cajamarca.....	51
Figura 20 Vista satelital de Minera La Zanja.....	52
Figura 21 Vista eventos de mineralización.	64
Figura 22 Vista de cuerpos principales	66
Figura 23 Ciclo de minado en Minera La Zanja	67
Figura 24 Malla de Perforación	68
Figura 25 Diseño de malla de Perforación.....	69
Figura 26 Secuencia de detonación P3432-055 tajo MLZ.....	70
Figura 27 Orientación de material fragmentado P3432-055 tajo MLZ.....	70
Figura 28 Revisión en campo de taladros buffer.....	72
Figura 29 Carga de taladros de producción en MLZ.....	73

	Pag
Figura 30 Malla de voladura con taladros de producción	74
Figura 31 Área de influencia de voladura.....	75
Figura 32 Carguío en minera la Zanja.....	78
Figura 33 Acarreo en minera la Zanja	79
Figura 34 Análisis del P80 con el Software WipFrag de la voladura.....	81
Figura 35 Tiempo de secuencia de detonación.....	85
Figura 36 Forma de apilamiento de material	86
Figura 37 Verificación en campo del diseño de malla.....	87
Figura 38 Sismógrafo Instantel.....	89
Figura 39 Reporte de Instantel de resultados de vibraciones	90
Figura 40 Malla de voladura controlada con San G – APU.....	97
Figura 41 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	103
Figura 42 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	104
Figura 43 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	106
Figura 44 Colocación de esferas rojas para análisis granulométrico	106
Figura 45 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	107
Figura 46 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	108
Figura 47 Variación del tamaño de la partícula después de la voladura.....	110
Figura 48 Análisis Granulométrico voladura 1.....	112
Figura 49 Análisis Granulométrico voladura 2.....	113
Figura 50 Variación del tamaño de la granulometría.....	114
Figura 51 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	116

	Pag
Figura 52 Análisis de partículas con el software en campo.....	117
Figura 53 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	118
Figura 54 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	119
Figura 55 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	120
Figura 56 Análisis de partículas con el software Wipfrag en campo.....	121
Figura 57 Análisis de partículas con el software Wipfrag.....	122
Figura 58 Análisis de partículas con el software Wipfrag en campo.....	123
Figura 59 Malla de perforación antes de la detonación.....	133
Figura 60 Malla de perforación después de la detonación	133
Figura 61 Equipo de trabajo en campo	134

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag
Tabla 1 Acceso terrestre al área del proyecto	35
Tabla 2 Acceso aéreo al área del proyecto.....	37
Tabla 3 Operacionalización de Variables	42
Tabla 4 Perforadoras usadas en MLZ	57
Tabla 5 Diseño de carga en Taladros de Producción.....	59
Tabla 6 Características técnicas explosivo Emulgex	68
Tabla 7 Carga operante	69
Tabla 8 Características de distancia horizontal e inclinada.....	70

	Pag
Tabla 9 Características del PPV y AIR BLAST.....	77
Tabla 10 Características del PPV y AIR BLAST.....	78
Tabla 11 Características técnicas explosivo SAN-G APU.....	80
Tabla 12 Diseño de carga P3432-055– Taladro 9764.....	82
Tabla 13 Características de la malla de perforación.....	86
Tabla 14 Características de PPV y Air Blast.....	87
Tabla 15 Características de frecuencia ZC y Frecuencia dominante.....	88
Tabla 16 P80 real y P80 Target.....	90
Tabla 17 Cuadro de fragmentación.....	91
Tabla 18 Cuadro de fragmentación.....	92
Tabla 19 Cuadro de fragmentación.....	94
Tabla 20 Cuadro de fragmentación.....	95
Tabla 21 Resultados de mediciones de granulometría.....	100
Tabla 22 Cuadro de fragmentación.....	106
Tabla 23 Cuadro de fragmentación.....	108
Tabla 24 Cuadro de fragmentación.....	110
Tabla 25 Cuadro de fragmentación.....	112
Tabla 26 Comparación de ambos explosivos.....	114

LISTA DE ABREVIACIONES

DTH	: Martillo de fondo (Down-The-Hole)
BHT	: Temperatura de fondo de pozo (Bottom Hole Temperature)
ROP	: Tasa de Penetración (Rate of Penetration)
WOB	: Peso sobre la broca (Weight on Bit)
BOP	: Presión de fondo (Bottom Hole Pressure)
MWD	: Medición Mientras Perfora (Measurement While Drilling)
ABF	: Agujero Avanzado con Fluido (Advanced Borehole Fluid)
BPU	: Unidad de Bombeo de Pulso (Pulse Pumping Unit)
VOD	: Velocidad de Detonación (Velocity of Detonation)
BEP	: Emulsión Explosiva de Base de Petróleo (Oil-based Explosive Emulsion)
PSD	: Distribución del Tamaño de Partículas (Particle Size Distribution)
BFS	: Fondo del Pozo con Sonda (Bottom of the Hole with Probe)
BH	: Barreno Horizontal
SEF	: Energía Específica de Fragmentación
RTI	: Rock Type Index (Índice de Tipo de Roca)
WI	: Índice de Molienda (Work Index)
D50	: Tamaño de partícula para el 50% de la masa fragmentada
D80	: Tamaño de partícula para el 80% de la masa fragmentada
KPI	: Indicador Clave de Rendimiento (Key Performance Indicator)
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global

RESUMEN

La investigación tuvo lugar en la U.M. La Zanja, perteneciente a la compañía Buenaventura, ubicada en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz en Cajamarca. Trata de la evaluación técnica de los explosivos Emulgex y San-G Apu para optimizar la fragmentación de la roca en Minera La Zanja mediante métodos numéricos, los cuales se ejecutan con fórmulas conocidas y programas propios de la unidad minera. La presente tesis se inició con la siguiente interrogante: ¿Cuál de los dos explosivos Emulgex y San-G Apu es el más óptimo para fragmentar la roca en Minera La Zanja, de acuerdo a lo requerido por planta? Siendo nuestro principal objetivo encontrar el explosivo más óptimo para fragmentar la roca y el que mejor se adapte a las condiciones de la operación. La metodología se basa en las etapas de campo y gabinete. En la primera etapa de gabinete, se revisó la planificación de la perforación y voladura con todo el equipo, validando los diseños para asegurar que estén ajustados a las necesidades en cuanto a burden y espaciamiento. En la etapa de campo, tras la validación preliminar de los diseños, se procedió a la ejecución práctica de la perforación y voladura en el sitio minero. Se realizaron las perforaciones conforme a los diseños establecidos, considerando las condiciones geológicas reales. Además, se llevaron a cabo pruebas de campo para validar la respuesta real de los explosivos. Como resultado de la evaluación técnica, se encontró que el explosivo San-G Apu tiene un P80 (80 % de material pasante) de 4.44 pulgadas, mientras que el Emulgex presenta un P80 de 5.23 pulgadas. Por lo tanto, se decidió cambiar al explosivo San-G Apu por su mejor rendimiento y cumpliendo con lo requerido por planta.

Palabras Claves: Burden, espaciamiento, velocidad de detonación, fragmentación, P80 (porcentaje pasante).

ABSTRACT

The research took place at the U.M. La Zanja, belonging to the Buenaventura company, located in the district of Pulán, province of Santa Cruz in Cajamarca. It deals with the technical evaluation of the Emulgex and San-G Apu explosives to optimize the fragmentation of the rock in Minera La Zanja using numerical methods, which are executed with known formulas and programs of the mining unit. This thesis began with the following question: Which of the two explosives Emulgex and San-G Apu is the most optimal to fragment the rock in Minera La Zanja, according to what is required per plant? Our main objective is to find the most optimal explosive to fragment the rock and the one that best adapts to the conditions of the operation. The methodology is based on the field and cabinet stages. In the first cabinet stage, the drilling and blasting planning was reviewed with all the equipment, validating the designs to ensure that they are adjusted to the needs in terms of burden and spacing. In the field stage, after the preliminary validation of the designs, the practical execution of the drilling and blasting at the mining site was carried out. The drilling was carried out according to the established designs, considering the real geological conditions. In addition, field tests were carried out to validate the actual response of the explosives. As a result of the technical evaluation, the San-G Apu explosive was found to have a P80 (80% through-material) of 4.44 inches, while the Emulgex has a P80 of 5.23 inches. Therefore, it was decided to change to the explosive San-G Apu due to its better performance and compliance with the requirements per plant.

Keywords: Burden, spacing, detonation velocity, fragmentation, P80 (passing percentage).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la minería, se presentan diferentes problemas, siendo la selección del tipo de explosivo uno de los más relevantes. Los yacimientos minerales poseen diversas características geomecánicas, hidrogeológicas y mineralógicas, las cuales son cruciales para definir el explosivo adecuado. Una vez determinado el tipo de explosivo, se evalúan las distintas mezclas explosivas disponibles en el mercado y sus propiedades de detonación para lograr una fragmentación óptima.

Esta tesis pone énfasis en la selección del tipo de explosivo que cumple con un desempeño ideal para los requerimientos de la operación. Se consideran tanto el factor de potencia como la fragmentación de la roca, entre otras características de la voladura.

Así mismo, en la presente investigación, se pone énfasis en la parte técnica del alcance, teniendo como objetivo general la evaluación técnica de los explosivos Emulgex y San-G Apu para optimizar la fragmentación de la roca en Minera La Zanja. Los objetivos específicos son: describir los parámetros de perforación y voladura para la carga de taladros de producción con los explosivos Emulgex y San-G Apu, analizar la granulometría de la roca fracturada con los explosivos Emulgex y San-G Apu, y evaluar los parámetros de perforación y voladura de los explosivos Emulgex y San-G Apu, los cuales son muy importantes para la operación minera.

En esta investigación, se busca analizar la fragmentación de la roca con cada uno de los parámetros utilizados, así como evaluar los parámetros de perforación típicos de la operación minera, teniendo en cuenta la perforación y voladura como operaciones unitarias, las cuales representan una de las actividades más costosas de todo el proyecto. A partir de ello, la hipótesis general planteada es que la evaluación técnica de los explosivos Emulgex y San-G Apu indica que

el explosivo San-G Apu optimiza significativamente la fragmentación de la roca en Minera La Zanja. Como hipótesis específica: la descripción de parámetros de perforación y voladura para la carga de taladros de producción, con los explosivos Emulgex y San-G Apu, definirá de manera más concisa la evaluación técnica. Además, el análisis granulométrico de la roca fragmentada con los explosivos Emulgex y San-G Apu indicará qué explosivo optimiza significativamente la fragmentación de la roca en Minera La Zanja. Finalmente, al evaluar los parámetros de perforación y voladura de los explosivos San-G Apu y Emulgex, se contrastará cuál de ellos optimiza la fragmentación de la roca en Minera La Zanja. En la presente investigación, se constató que la evaluación técnica para el cambio de explosivo es factible, al reducir el tamaño del fragmento de la roca disparada, lo que valida la hipótesis de la tesis. Así mismo, se realizaron las mediciones en campo y se observó material con tamaño de 4.44 pulgadas como granulometría promedio, resultado de las mallas de voladura de la mezcla explosiva San-G Apu. La presente investigación se desarrolla en cinco capítulos los mismos que se explican a continuación. Capítulo I, se presenta una descripción detallada del planteamiento y formulación del problema central de la investigación, seguido de la hipótesis planteada y su justificación. Asimismo, se delimitan los alcances de la investigación y se establecen los objetivos específicos que guiarán la investigación. Capítulo II, se desarrolló el marco teórico. Aquí se destacan las bases teóricas relevantes de diferentes fuentes y autores, quienes fueron citados por sus aportes significativos a esta investigación. Además, se definieron los términos básicos necesarios para facilitar una mejor comprensión del estudio. Capítulo III, se proporciona una descripción detallada de los materiales y métodos utilizados en esta investigación. Se inicia con la ubicación geográfica del área de estudio y su accesibilidad. Luego, se detallan los procedimientos, tanto de gabinete como de campo. También se incluye una descripción de la geología estructural local del yacimiento, una evaluación técnica exhaustiva, y cada uno de los parámetros de perforación para determinar la fragmentación

y el óptimo P80. Además, se ha realizado la comparación entre ambos explosivos y se han tomado medidas de la granulometría para encontrar los índices técnicos. Capítulo IV, se llevó a cabo un análisis y discusión exhaustiva de los resultados obtenidos en esta investigación. Esto incluyó la evaluación técnica con el propósito de contrastar y verificar la hipótesis planteada. Se examinaron los datos y se interpretaron los hallazgos en relación con los objetivos de la investigación. Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones: se presentaron las conclusiones y recomendaciones derivadas de esta investigación. Se resumieron los hallazgos principales, se evaluó el grado de cumplimiento de los objetivos y se ofrecieron sugerencias para futuras investigaciones o mejoras en los procesos evaluados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de investigación

2.1.1. Internacionales

Altamirano (2014) en su tesis: “Diseño de tronadura en una fase - aplicación a minería continua - CODELCO - División andina”. La alternativa de diseño muestra una zona de ruptura considerable. Se dispusieron los disparos de manera estratégica para intensificar la interacción entre las áreas de fractura. El diseño propuesto indica una fragmentación más fina del material. El porcentaje de sobre fragmentación alcanza el 58.5%, superando ampliamente el 53.01% del caso base, Canalón Andina. Este resultado concuerda con análisis efectuados en operaciones mineras distintas. En la segunda fase, se procede a establecer las características del explosivo, centrándose especialmente en la densidad.

Diaz (2022) en su artículo denominado: “Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada”. Señala como objetivo dar a conocer el algoritmo empleado que permite realizar los cálculos de los parámetros fundamentales en el diseño de perforación y voladura, se concluye que el algoritmo utilizado a diferencia del método tradicional ofrece la posibilidad de diseñar la operación unitaria.

Llerena (2021) en la tesis denominada: “Optimización del proceso de Perforación y Voladura en una mina dedicada a la extracción metálica a pequeña escala en la comunidad La Fortuna, Ponce Enríquez”. Presenta como objetivo analizar el proceso que se efectúa durante la realización de la perforación y voladura mediante la toma de datos in situ, concluyeron que, la aplicación de una buena malla de perforación, con una distribución de carga geométrica racional alineada con las bondades y

limitaciones del macizo rocoso, características de los explosivos y una configuración de carga enriquecida con la experiencia empírica de los mineros artesanales permite mejorar las operaciones subsecuentes a la voladura.

2.1.2. Nacionales

Chugá (2017) en su tesis: “Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú en Ecuador”. Manifiesta que el análisis comparativo de voladura para sistemas convencionales y técnicas gasificadas de voladura obtienen voladuras controladas, buenos montículos de pila en el material, fragmentación adecuada y no existe roca soplada.

Beraun (2019) en su tesis que lleva por nombre: “Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336-Sociedad Minera El Brocal - Colquijirca”. Tiene por objetivo encontrar el explosivo más óptimo al fragmentar la roca, que los costos del explosivo sean menores e inclusive que mejoren factores de seguridad y medio ambiente. Entre las conclusiones más importantes se tiene que, las 5 pruebas analizadas, para los 02 últimos disparos, enfocados en mejorar la fragmentación, se tiene una mejora promedio del 26% en el P80.

Alcázar (2017) en su investigación: “Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro”. Afirma que mediante la implementación de la emulsión se comparan los resultados y se evidencia que una emulsión presenta alta velocidad de detonación; concluyendo así que el ANFO 73 en base a emulsión gasificable optimiza todo el proceso.

2.1.3. Local

Ugaz (2021) en su tesis que lleva por nombre: “Influencia económica por la aplicación de la emulsión gasificada San G Apu en los taladros de voladura de minera Coimolache S.A”. Obtuvo como resultados de la investigación que se logró reducir en un 6.8 % el nivel de fragmentación durante los periodos del 20 junio al 14 de julio donde se utilizó la emulsión gasificada San G Apu, un factor de potencia de 0.27 kg/Ton. optimizando el proceso.

García (2017) en su tesis: “Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San- G en el tajo Chalarina de la mina Shauindo – Cajabamba”, llegó a la conclusión que la mejor granulometría incidió en la operación de voladura, ya que al variar el tipo de explosivo de ANFO 46 a emulsión gasificada, San-G, se obtuvo mejor granulometría.

Gutiérrez (2022), en su tesis: “Aplicación de la emulsión gasificable para mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa 2022”. En la minera Santa Rosa se busca mejorar el desempeño de las emulsiones gasificables al reaccionar con soluciones básicas químicamente sensibilizadas justo antes de que sean cargadas en la perforadora por la vía de la fábrica. Luego se inicia la gasificación y se completa con un taladro, se reduce la densidad de 1,35-1,38 a 0,90-0,93 g/cm³. Se reduce el consumo de explosivo hasta en un 18% respecto al ANFO PESADO. Aproximadamente 30 minutos después de la carga, se alcanza la altura final deseada de la columna explosiva con la carga final y el hinchamiento logrados de acuerdo con el diseño del bloque. Además, su fuerza destructiva permite expandir la malla de perforación y aumentar el diámetro de la broca. Lo más importante es que estos dos parámetros reducen los costos y reducen el consumo de explosivos San G.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Perforación de rocas

La perforación de rocas es un proceso fundamental en la industria minera, la construcción de túneles, la explotación de canteras y otras aplicaciones geotécnicas. Consiste en crear orificios o perforaciones en la roca para diversos propósitos, como la extracción de minerales, la instalación de anclajes, la construcción de cimientos, entre otros. Aquí hay algunos aspectos clave sobre la perforación de rocas (Explosivos S.A, 2019).

La perforación es la primera fase crucial antes de una tronadura. Esta operación tiene como objetivo crear cavidades cilíndricas en la roca, conocidas como barrenos, donde se depositará el explosivo Emulgex o SAN-G APU junto con sus iniciadores. La perforación se basa en la aplicación de técnicas mecánicas que combinan percusión y rotación para fracturar y pulverizar la roca, abriendo un espacio equivalente al diámetro de la broca y alcanzando la profundidad deseada según el diseño del barreno (Condori, 2021).

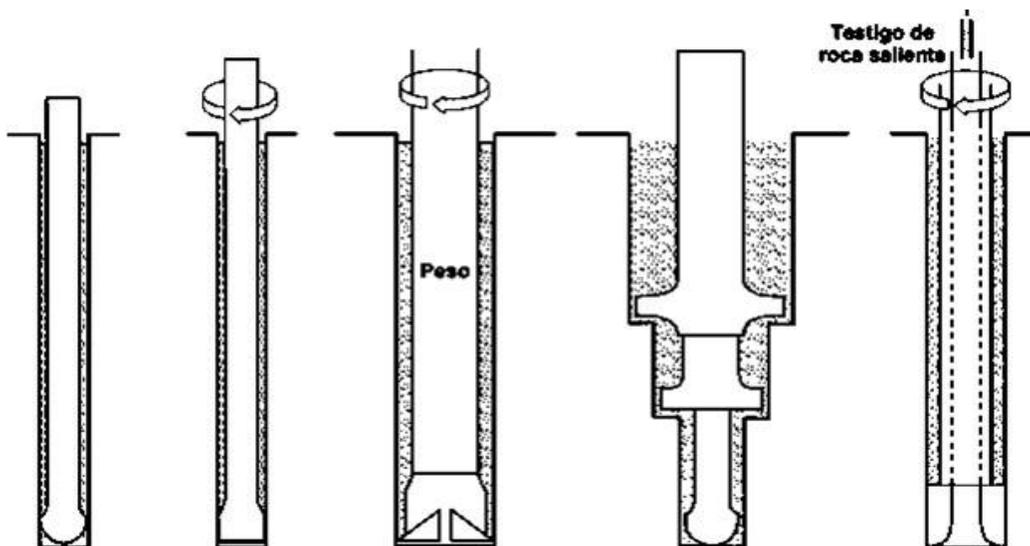


Figura 1

Tipos de perforación.

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

2.2.1.1 Percusión

Este término se emplea en la perforación y la construcción para referirse a una técnica que utiliza un martillo o herramienta de impacto con el propósito de romper o atravesar materiales resistentes, como roca, concreto o suelo compacto. Este método se basa en la aplicación de impactos repetitivos para progresar y formar un agujero o perforación en el material deseado (López, 2021).

2.2.1.2 Percusión/ rotación

Movimiento giratorio de una herramienta de perforación o una broca para crear un agujero o una abertura en un material, como tierra, roca, concreto o madera. La perforación por rotación es un método comúnmente utilizado en una variedad de aplicaciones, desde la construcción de cimientos hasta la perforación de pozos de agua y exploración geológica (Condori, 2021).

2.2.2. Voladura de rocas

La voladura de rocas en superficie comprende trabajos de explotación minera en bancos de canteras y tajos abiertos, obras de ingeniería civil y vial como excavaciones, canales, zanjas, cortes a media ladera y trabajos especiales como rotura secundaria de pedrones, demoliciones y voladuras controladas (Smooth blasting) pero fundamentalmente se concreta en bancos (Explosivos S.A, 2019).

2.2.3. Voladura Controlada

Técnica de voladura controlada que se utiliza para reducir las vibraciones y las ondas de choque resultantes de una explosión. Esta técnica se emplea en situaciones en las que es importante minimizar los efectos adversos de la explosión en estructuras cercanas, el medio ambiente y la seguridad de las personas (García, 2017).

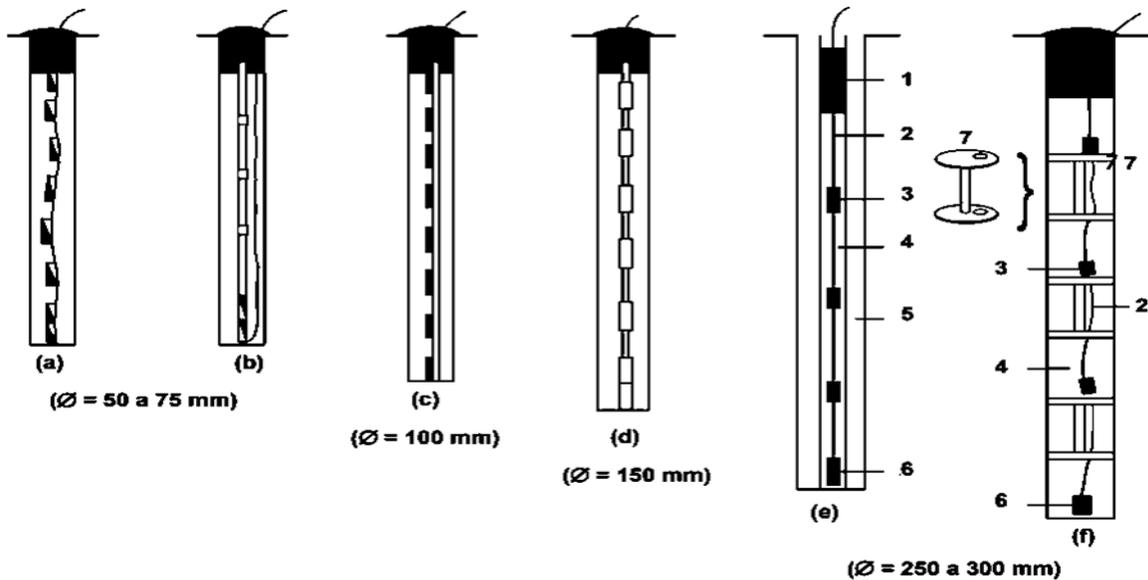


Figura 2

Esquema de Voladura

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019).

2.2.3.1. Voladura precorte

El proceso consiste en generar una discontinuidad o plano de fractura en la roca, creando una grieta continua antes de llevar a cabo la voladura de producción. Esto se logra mediante una fila de taladros de pequeño diámetro, colocados muy cerca entre sí, que contienen cargas explosivas desacopladas y se disparan de manera instantánea. Aunque estos taladros de precorte pueden detonarse al mismo tiempo que los de producción, se adelantan entre 90 y 120 milisegundos, efectuando así el disparo en dos etapas (Ugaz, 2021).

El factor de carga por pie de taladro debe ser suficiente para aplicar la presión necesaria que provoque el corte sin dañar la roca. Este se calcula de la siguiente manera

$$q = \frac{\emptyset^2}{28}$$

donde:

q: Carga de explosivo por pie de taladro (lb/pie).

\emptyset : Diámetro de los taladros vacíos (pulgadas).

Cuando se aplica el factor de carga, el espaciamiento entre los taladros de precorte se determina utilizando la siguiente ecuación matemática:

$$E = 10 \times \emptyset$$

La constante matemática 10 se utiliza para estar seguros que la distancia no sea demasiada y que el corte se realice, pero por experiencia puede llevarse a un valor de 12 o 14. Existen diferentes criterios respecto a las necesidades de taquear o no los taladros, y sobre la longitud del taco teniendo en cuenta la necesidad de mantener retenidos los gases de explosión en los taladros. Usualmente las rocas competentes no requieren taco mientras que sí son necesarios en las rocas fisuradas e incompetentes (Ugaz, 2021).

2.2.3.2. Voladura buffer o amortiguada

Es quizás la forma más simple de control de paredes. Consiste en modificar la última fila de la tronadura, para limitar la energía hacia la pared final. Se reduce el explosivo y también el Burden y el Espaciamiento. Se usa en forma independiente y también en asociación con las otras técnicas. (Gutiérrez, 2022).

2.2.3.3. Voladura de producción.

Las tronaduras realizadas a una distancia considerable de la caja, aproximadamente a 50 metros (variable según la faena), no forman parte del diseño final del pit y no se encuentran en contacto con las paredes del mismo. En el contexto de la evaluación técnica del explosivo Emulgex y SAN-G APU para optimizar la fragmentación de la roca en Minera La Zanja, es relevante destacar que las tronaduras de producción pueden llevarse a cabo tanto en mineral como en estéril, siempre que se respete la distancia de seguridad respecto a la caja. Su principal objetivo es separar el mineral de interés del macizo rocoso y reducir el tamaño de las rocas, asegurando una granulometría adecuada que facilite su transporte y satisfaga los requisitos de chancado y molienda. Cuando estas tronaduras se ejecutan en mineral, generan residuos que deben ser gestionados por las palas, y el tiempo de exposición es limitado. Aunque la fragmentación es el objetivo principal, es crucial que estas tronaduras cumplan con los estándares de seguridad establecidos por la empresa, en términos de la cantidad de material a volar, el nivel máximo de vibraciones permitido y la liberación de material particulado (Díaz, 2022).

En este sentido, la tronadura de producción se caracteriza por estar orientada a volúmenes mayores de roca, consistir únicamente en pozos de producción (los de mayor diámetro disponibles en la mina), tener un único diseño y un alto factor de carga, lo que genera un elevado nivel de vibraciones. Además, los pozos de producción se utilizan tanto en tronaduras de contorno como en tronaduras de producción. En el caso de las primeras, su secuencia de detonación ocurre después de la tronadura de pre corte, lo que es fundamental para garantizar una fragmentación efectiva y controlada en el contexto de la optimización de la operación minera (Baca, 2021).

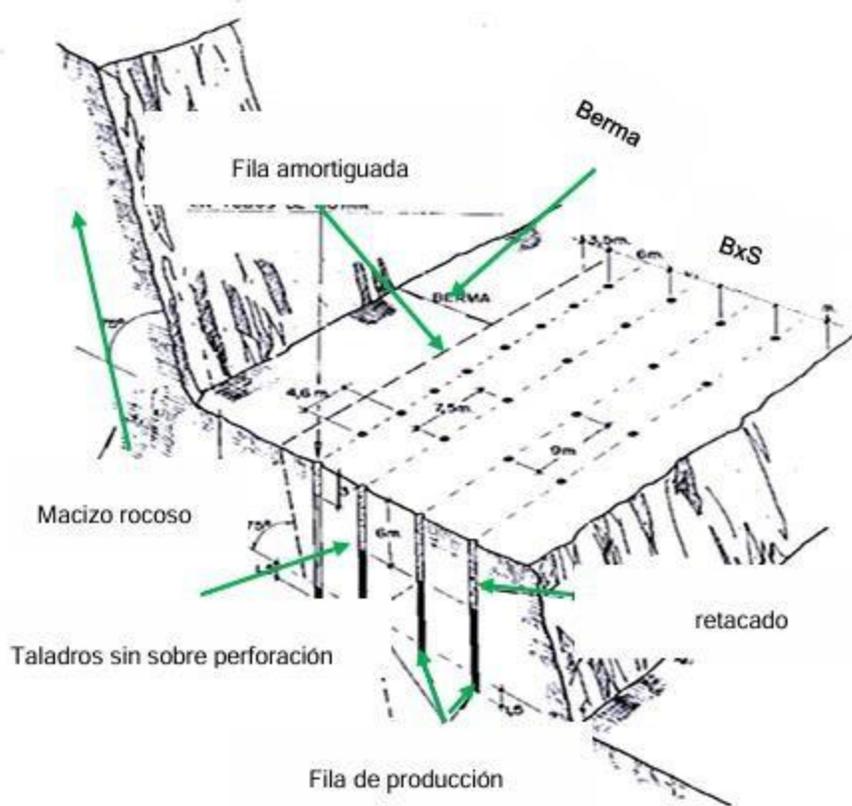


Figura 3

Esquema de Voladura de producción

Nota: Fuente (Baca, 2021).

2.2.4. Parámetros de voladura en banco

Para lograr un diseño efectivo de tronadura en el contexto de la evaluación técnica del explosivo Emulgex y SAN-G APU en Minera La Zanja, es fundamental integrar conceptos de geomecánica, geología y termoquímica. Al llevar estos conceptos a un enfoque matemático, se obtiene el principio esencial para seleccionar el diseño final que se utilizará en futuras verificaciones y mejoras. Los parámetros de la tronadura presentan diversas variantes que deben ser cuidadosamente verificadas. Entre estas variantes se incluyen factores químicos y físicos, como la potencia, el tipo de explosivo, la densidad y la energía. Asimismo, se deben considerar aspectos

geométricos, tales como el burden, el diámetro, la longitud de carga y el espaciamiento. Por último, la iniciación de la tronadura es un elemento crucial, que implica la selección del retardo y la secuencia de iniciación (Condori, 2021).

Al abordar estos aspectos de manera integral, se pueden optimizar las características de la tronadura, mejorando la fragmentación de la roca y, por ende, aumentando la eficiencia de las operaciones mineras en Minera La Zanja. Esto no solo contribuye a un mejor aprovechamiento de los recursos, sino que también garantiza el cumplimiento de los estándares de seguridad y eficiencia operativa (Lopez, 2021).

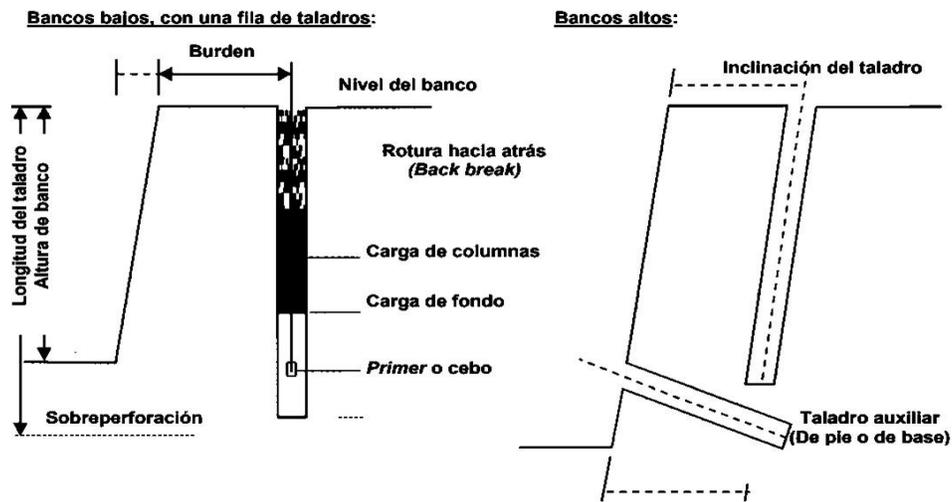


Figura 4

Voladura de bancos – nomenclatura

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

A. Banco

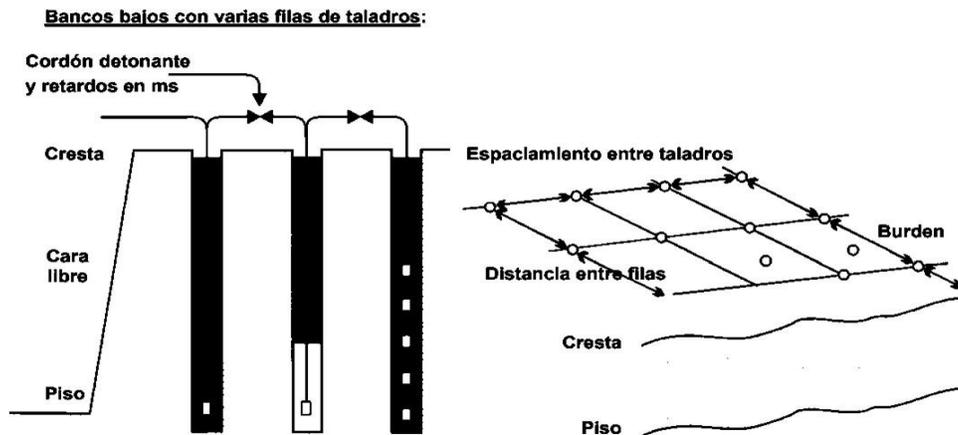


Figura 5

Bancos Bajos

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

B. Altura de banco

La altura de banco se determina en función de varios factores, como la naturaleza del material a extraer, las condiciones geológicas, la estabilidad del terreno, los equipos de excavación disponibles y los requisitos del proyecto.

C. Angulo del frente

El ángulo del frente se refiere al ángulo de inclinación de la superficie frontal de un banco o pared de material excavado. Se mide en grados y generalmente se describe como el ángulo de talud (Condori, 2021).

D. Piedra o Burden

Distancia horizontal entre un taladro o un conjunto de taladros cargados con explosivos y la cara de la roca o el frente de la excavación en un banco o pared. El burden es un parámetro importante en la planificación y ejecución de las voladuras, ya que afecta la distribución de la

energía explosiva y, por lo tanto, la fragmentación de la roca y la eficacia de la voladura (Condori, 2021).

E. Espaciamiento

Determina la distancia entre los taladros donde se colocan los explosivos. Una distribución adecuada de la carga explosiva en función del espaciamiento es esencial para lograr una fragmentación uniforme de la roca (Ugaz, 2021).

2.2.5. Variables controlables de una voladura de rocas

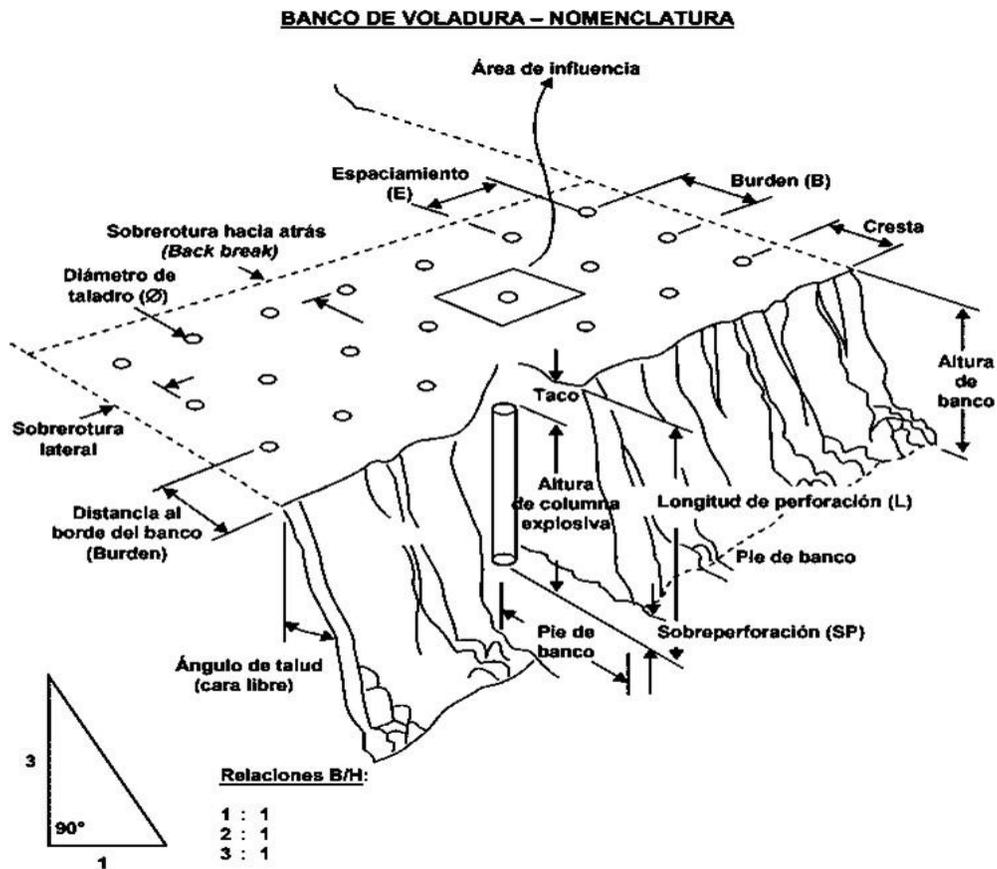


Figura 6

Diámetro de perforación

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

B. Retacado

En el proceso de retacado, se colocan explosivos adicionales en los taladros previamente perforados. Este procedimiento se realiza con precisión para asegurar un control adecuado en la distribución de la energía explosiva (Ugaz, 2021).

C. Sobreperforación

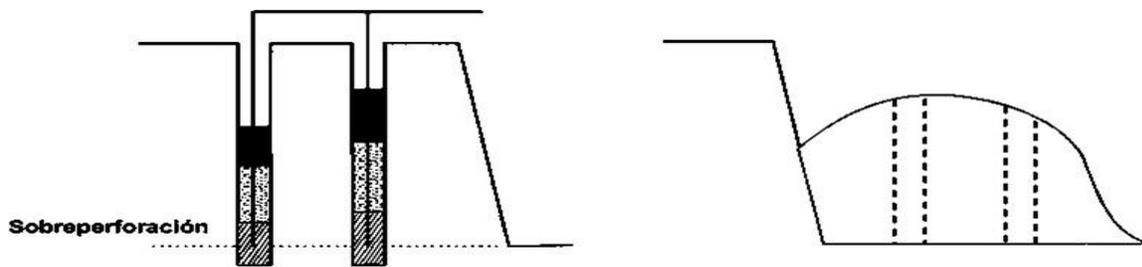


Figura 7

Sobreperforación

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

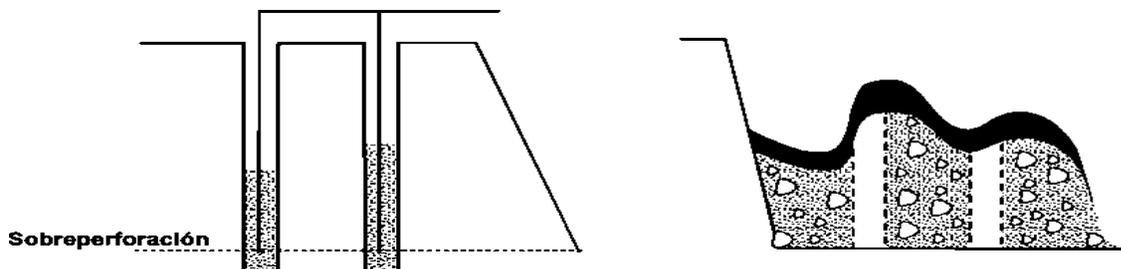


Figura 8

Sobre perforación excesiva

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

D. Inclinación de perforación

Se refiere al ángulo en el que se perfora un agujero o taladro con respecto a la vertical. En el contexto de la perforación, es común encontrar taladros con diferentes inclinaciones, y esta inclinación se puede controlar y ajustar según los requisitos específicos de la aplicación. La inclinación de perforación es un parámetro importante en varias industrias, como la minería, la geología, la construcción y la perforación de pozos (Altamirano, 2014).

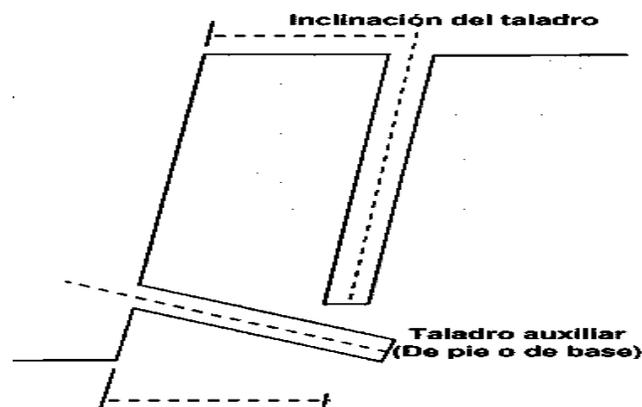


Figura 9

Ángulo de perforación

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

E. Cara libre

Apunta a la superficie expuesta de un bloque de material mineral o roca que no está confinada ni limitada por otro material. Es un concepto fundamental en actividades de perforación, voladura y excavación, ya que influye directamente en la eficiencia y efectividad de los procesos.

F. Longitud de carga

Se refiere a la distancia medida a lo largo de un taladro o agujero o hoyo, donde se carga el explosivo en una voladura. Esta medida es importante en la planificación y ejecución de

voladuras controladas (Ugaz, 2021).

G. Secuencia de detonación

Se refiere al orden en el que los explosivos se activan o detonan en una voladura controlada, como las utilizadas en la minería, la construcción y la demolición. La secuencia de detonación es un elemento crucial en la planificación de voladuras y se utiliza para lograr resultados específicos en términos de fragmentación de roca, seguridad y eficiencia.

H. Tipo de explosivo

Existen varios tipos de explosivos, cada uno con propiedades y aplicaciones específicas. Los explosivos se utilizan en una variedad de industrias, como la minería, la construcción, la industria militar y la pirotecnia.

2.2.6. Variables no controlables de una voladura de rocas

A. Litología

Estudio descriptivo y sistemático de las rocas, especialmente enfocado en su composición, origen y características estructurales. Es la disciplina de la geología que se ocupa del análisis de la composición y las características de las rocas que conforman la corteza terrestre. (Diccionario de Geología, 2020).

B. Estratificación

Se refiere al proceso y a la disposición de capas de rocas sedimentarias que se forman de manera sucesiva a lo largo del tiempo. Cada capa puede presentar características diferentes, como su composición, textura, color o tipo de material.

C. Fracturamiento

En todo yacimiento mineral se encuentra fracturamiento el mismo que es el resultado de las fuerzas externas e internas, las mismas que causan deslizamientos en las estructuras y estratos. La

consecuencia es la formación de grietas y diaclasas las mismas que pueden estar o no rellenas de materiales (Baca, 2021).

2.2.7. Explosivos y accesorios de voladura

2.2.7.1. Emulgex

EMULGEX tiene como característica principal utilizar un solo agente gasificante. La presente emulsión es suministrada desde la Planta en Vegueta – Huacho la cual cuenta con la tecnología para la entrega de un producto con la calidad y controles respectivos.

La gasificación aumenta el volumen de la mezcla y eso se le conoce como “esponjamiento”. El factor de esponjamiento dentro del taladro está determinado por las condiciones del terreno como: fracturamiento, presencia de agua, ensanchamiento, imperfecciones del taladro, diámetro del taladro.

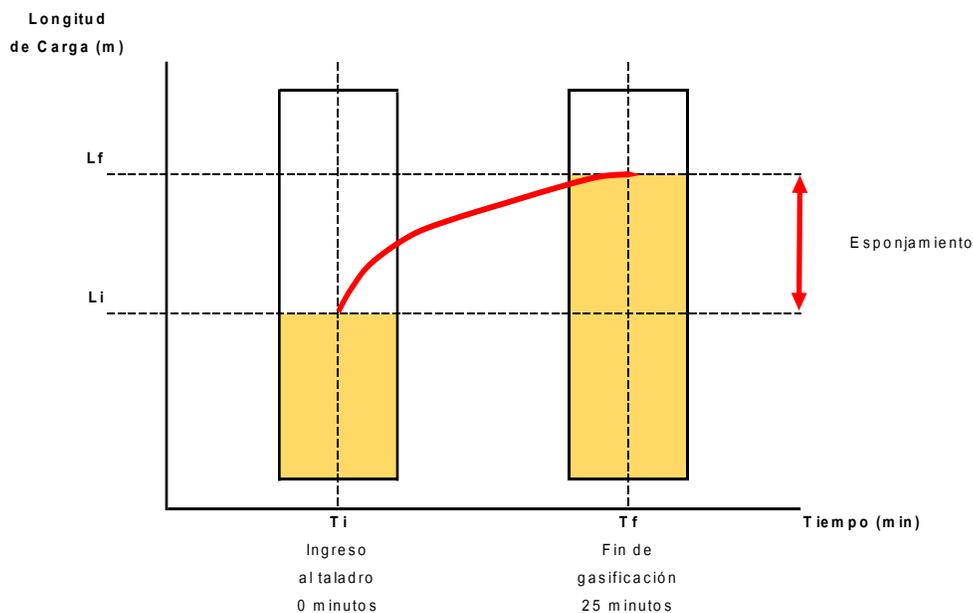


Figura 10

Esponjamiento en el interior del taladro

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)



Figura 11

Burbujas generadas vista de manera macroscópica

Nota: Fuente (Explosivos S.A, 2019)

2.2.7.2. SAN-G APU

SAN-G APU es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante.

Esta emulsión matriz ha sido especialmente diseñada para su aplicación en minería a tajo abierto en macizos rocosos, en temperaturas que oscilan entre 0°C y 40°C. La emulsión SAN-G APU debe ser transportada mediante camiones de fábrica, los cuales, a diferencia de los camiones tradicionales que cargan ANFO, están equipados con un sistema de gasificación de la emulsión matriz. Este sistema incluye un equipo de programación lógica (PLC) que permite programar y planificar la proporción de emulsión, ANFO, solución gasificante y agua a distribuir, además de controlar en tiempo real la temperatura y la presión de bombeo

El sistema cuenta con medidas de seguridad automatizadas, que detienen el proceso de bombeo y gasificación si la presión de la bomba de trabajo supera los 160 psi. La emulsión gasificable puede ser introducida en los barrenos mediante bombeo o por gravedad desde los camiones de fábrica. Una vez que los barrenos están cargados, es necesario esperar 20 minutos antes de colocar el taco en el barreno (Ugaz, 2021).

Entre las virtudes más destacadas del uso de SAN-G APU se encuentran:

- Ofrece un excelente desempeño en diversas condiciones, incluyendo áreas húmedas, secas o inundadas, y en diferentes tipos de roca.
- Al llenar los taladros, las columnas explosivas se acoplan completamente, lo que maximiza la energía generada en el proceso.
- Su uso garantiza un trabajo seguro, ya que la emulsión matriz se sensibiliza únicamente al final del proceso; es importante señalar que se trata de un producto químico no explosivo hasta su introducción en los taladros.
- Permite cargar a diferentes densidades y energías, lo que facilita alcanzar la granulometría deseada y mejorar la eficiencia desde la mina hasta la molienda en la planta o su disposición en las canchas de lixiviación.
- Gracias a su gran poder rompedor, se pueden ampliar las mallas de perforación, lo que contribuye a reducir los costos asociados.
- Además, disminuye el tiempo de carga de los taladros debido a su facilidad de manejo.



Figura 12

Emulsión No sensibilizada Sang Apu

Nota: Fuente propia

La solución N 30 es una mezcla acuosa de nitrato, resultante de combinar la emulsión matriz con diferentes proporciones de esta solución gasificante. Esta mezcla genera una emulsión de menor densidad. La solución N 30 se introduce en el mezclador estático, donde fluye junto con la emulsión matriz, lo que permite su homogeneización. A continuación, se inyecta agua para reducir la resistencia a la fricción en la manguera durante el proceso de bombeo.

El resultado de la combinación química entre la emulsión matriz y el N 30 es la generación de gas nitroso, que queda atrapado en forma de burbujas en la emulsión. Estas burbujas de nitrógeno son las que sensibilizan la emulsión matriz (López, 2021)

A. Verificación de densidad de emulsión gasificada San G - Apu.

Se lleva a cabo la medición de la densidad de la emulsión gasificable SAN-G APU utilizando un kit de densidades que incluye las tablas correspondientes.



Figura 13

Medición de densidades en MLZ

Nota. Fuente propia

La densidad de la emulsión está estrechamente vinculada a la temperatura y la concentración del componente N30, lo que permite ajustar la densidad según la clase de roca en la que se esté trabajando. Después de 20 minutos de haber llenado el taladro, la densidad final suele variar entre 0.90 y 1.10 g/cm³, dependiendo del tipo de roca. Para rocas más blandas, se utiliza una densidad

de 0.90 g/cm^3 , mientras que, para rocas más duras, se aplica una densidad comprobada de 1.10 g/cm^3 . (Ugaz, 2021).

La densidad de la emulsión gasificable SANG APU 100% se comporta de manera variable, dependiendo de la temperatura y el porcentaje de N-30 agregado a la emulsión matriz. Sin embargo, existen valores óptimos para que el explosivo alcance su mayor efectividad, a los cuales debemos apuntar en el campo.

El explosivo SANG APU 100% alcanza su mayor rendimiento cuando la densidad se encuentra en el rango de $(1.08 - 1.12) \text{ g/cm}^3$ (Explosivos S.A, 2019).

B. Proceso de gasificación

Durante el proceso de llenado de los taladros, el explosivo se expande como resultado de la reacción química entre la emulsión matriz gasificable y el N30. Esta reacción genera burbujas de nitrógeno, que al momento de la voladura actúan como "puntos calientes", iniciando la detonación y propagando la onda a lo largo de toda la columna explosiva. Todos los procedimientos de gasificación conllevan una disminución de la densidad a lo largo del tiempo, lo cual se evidencia cuando el volumen del explosivo supera la capacidad del envase que lo contiene (Ugaz, 2021).

C. Tiempo de gasificación

El tiempo de gasificación explosivo hace referencia al intervalo en el que un material, generalmente combustible o explosivo, se transforma en gases a una velocidad rápida y violenta, lo que provoca una liberación significativa de energía. Este proceso ocurre cuando los compuestos del material sufren una descomposición rápida, liberando grandes volúmenes de gas que pueden ocasionar una explosión. El tiempo de gasificación es fundamental para comprender la intensidad y el alcance de la explosión, así como para evaluar los riesgos

asociados al manejo de materiales explosivos o combustibles.

D. Velocidad de detonación

Esta es la velocidad a la que la onda explosiva atraviesa el pilar del explosivo. Por definición, esta velocidad excede la velocidad del sonido que pasa a través de los explosivos. La velocidad de detonación de un explosivo es una cantidad importante que se utiliza para calcular la presión explosiva de un explosivo. La velocidad de detonación se mide en pies por segundo (p/s) o metros por segundo (m/s). Muchos factores afectan la tasa de explosión explosiva, incluido el tipo de explosivo, el diámetro de la columna, el confinamiento y la temperatura. (Gutiérrez, 2022).

Existen diversos métodos para medir la velocidad de detonación, los cuales varían según su propósito. Estas mediciones pueden realizarse tanto en laboratorio como en campo. Aunque se espera que los resultados sean similares, las mediciones en campo son particularmente útiles para evaluar la evolución de la velocidad de detonación a lo largo del barreno, proporcionando una visión más precisa del comportamiento del explosivo en condiciones reales de operación.

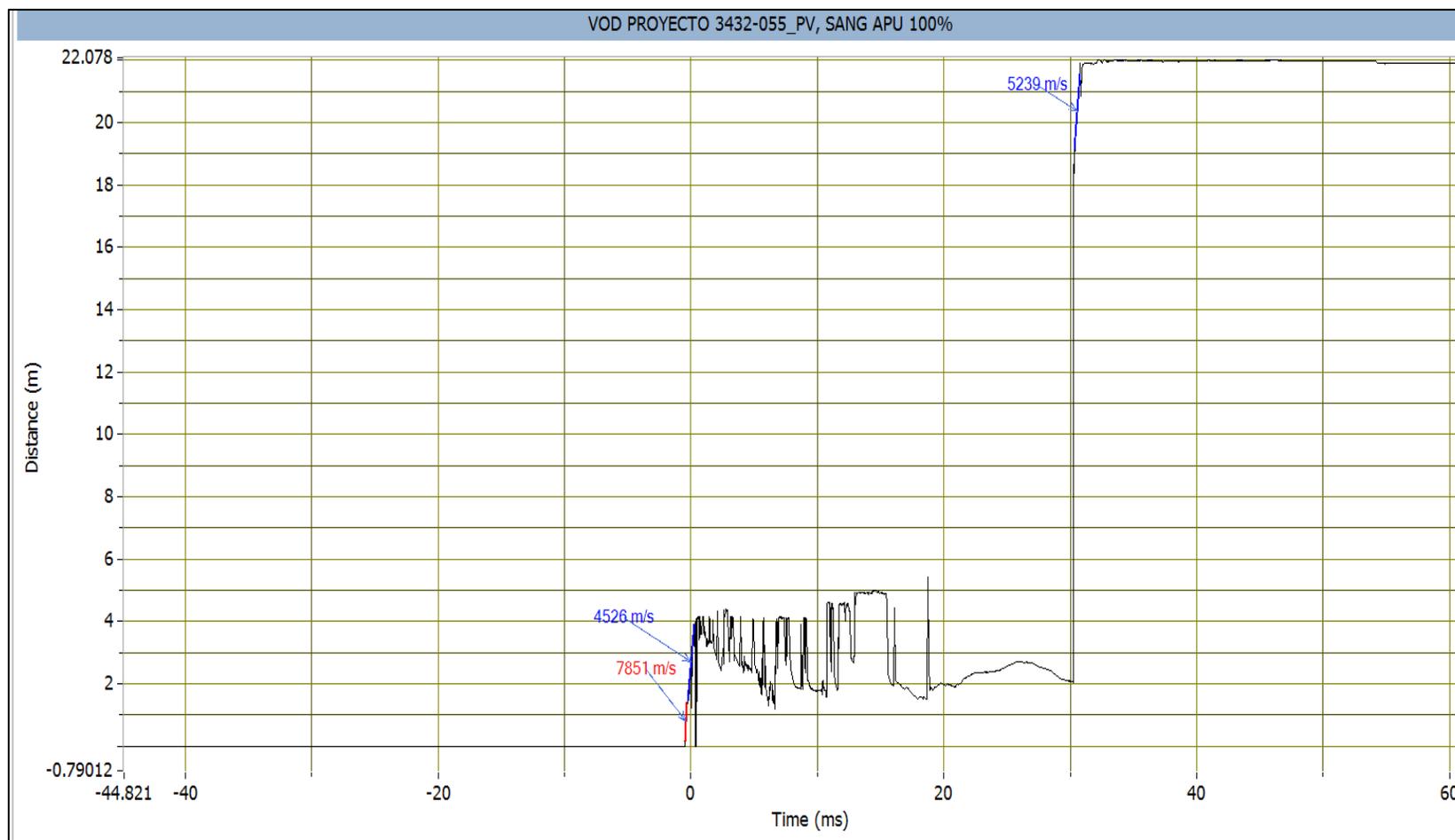


Figura 14

Gráfico de VOD proyecto P3432 - 055_PV SANG APU

Nota: Fuente Famesa explosivos.

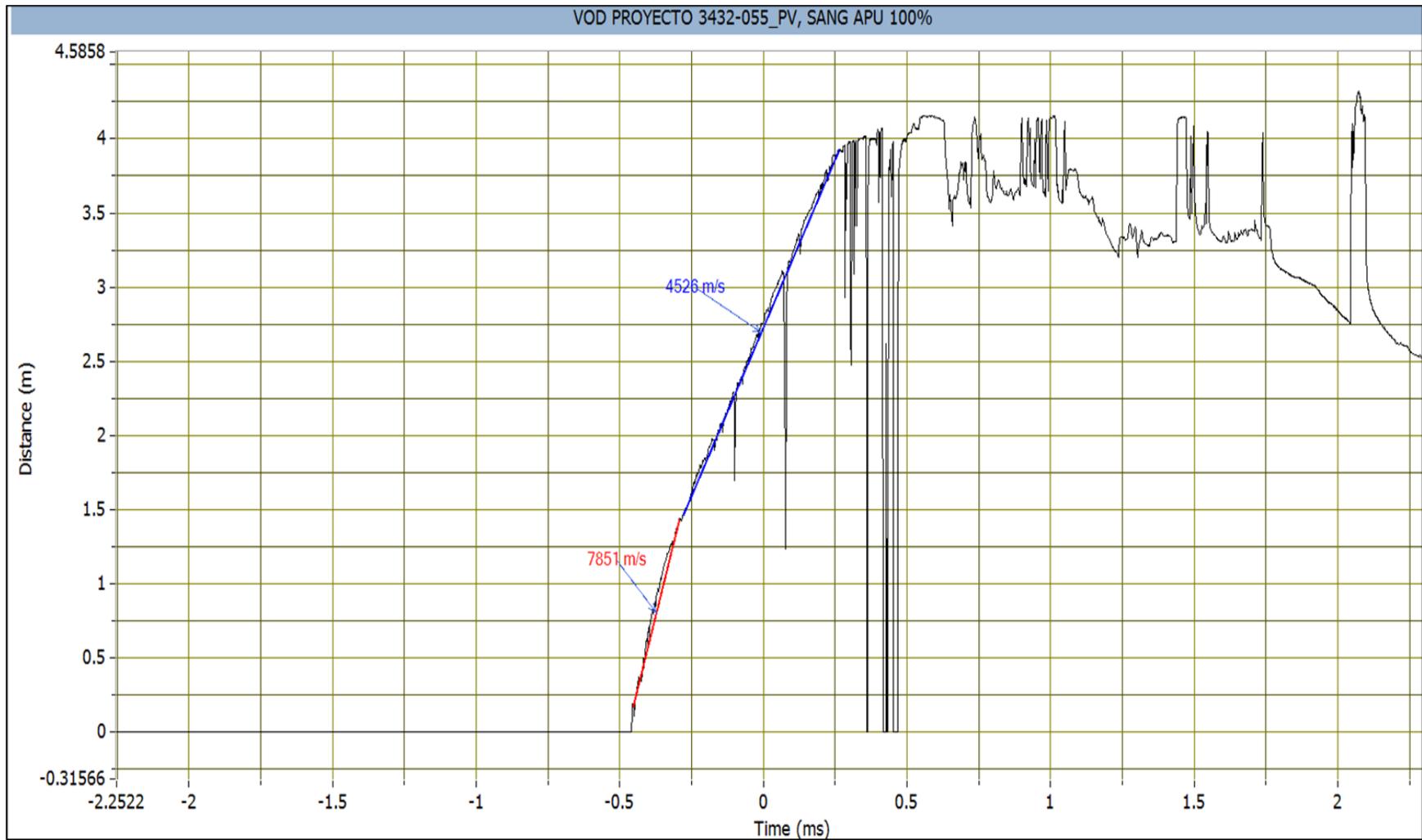


Figura 15

Gráfico de VOD proyecto P3432 - 055_PV SANG APU

Nota: Fuente Famesa explosivos

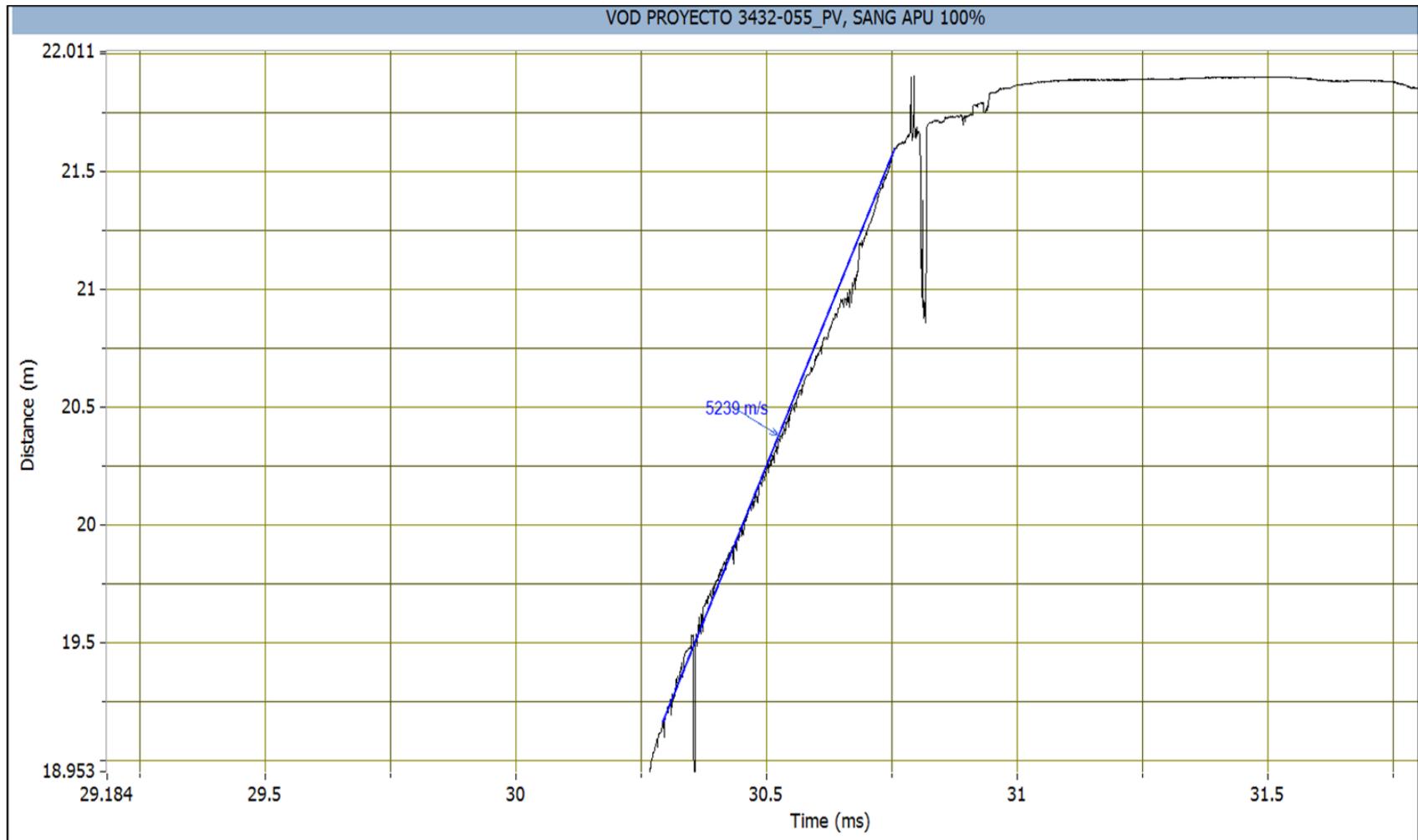


Figura 16

Gráfico de VOD proyecto P3432 - 055_PV SANG APU

Nota: Fuente Famesa explosivos

2.2.7.3. Booster

Un "booster" (también conocido como "iniciador" o "cebador") es un componente crucial utilizado para iniciar la detonación de un explosivo principal. El booster es un explosivo altamente sensible y de alta velocidad que se coloca en contacto directo con el explosivo principal para amplificar la onda de choque y asegurar que la detonación ocurra de manera rápida y uniforme.

E. Detonador electrónico

"Detonador eléctrico" o "iniciador eléctrico," es un dispositivo utilizado para iniciar la detonación de explosivos de manera precisa y controlada mediante una corriente eléctrica. Estos dispositivos son comunes en diversas aplicaciones, como la minería, la construcción, la demolición y la industria militar, donde se requiere una detonación precisa y segura (Explosivos S.A, 2019).

F. Detonador no eléctrico

Un detonador no eléctrico, a menudo denominado "detonador no eléctrico" o "iniciador no eléctrico," es un dispositivo utilizado para iniciar la detonación de explosivos sin la necesidad de una corriente eléctrica. Estos dispositivos son esenciales en diversas aplicaciones donde la seguridad y la precisión son fundamentales, pero donde no se pueden utilizar sistemas eléctricos debido a condiciones ambientales peligrosas o restricciones específicas (Ugaz, 2021).

2.2.8. Fragmentación

Se refiere a la ruptura o división de un objeto o material en partes más pequeñas o fragmentos. Este término se utiliza en varios campos y contextos para describir procesos y fenómenos diferentes (García, 2017).

2.2.9. Pasante P80

Refiere al 80% de roca que tiene una medida determinada la misma que es requerida por la planta metalúrgica y se pueda recuperar el mineral (Ugaz, 2021).

- 80% de Roca:

Se refiere a la fracción de material rocoso que satisface ciertos criterios específicos y que representa el 80% del total. Este porcentaje puede ser crítico para garantizar una alimentación eficiente y rentable a la planta metalúrgica (Ugaz, 2021).

- Medida Determinada:

Indica que esta fracción de roca debe cumplir con dimensiones o características específicas que son requeridas por la planta metalúrgica en este caso es de 4.2 pulgadas. Estas medidas podrían estar relacionadas con el tamaño de partícula, composición mineralógica, o cualquier otro criterio relevante para el proceso metalúrgico (Ugaz, 2021).

- Requerida por la Planta Metalúrgica:

Destaca la importancia de esta fracción específica de roca para el funcionamiento óptimo de la planta metalúrgica. La planta puede tener requisitos específicos para procesar eficientemente el mineral contenido en esta fracción de roca (Condori, 2021).

- Recuperar el Mineral:

Implica que el objetivo principal de este enfoque es recuperar los minerales valiosos presentes en la roca. La calidad y composición de la roca son esenciales para lograr una recuperación eficiente de los minerales durante el proceso metalúrgico (Ugaz, 2021).

2.2.10. Categoría de humos

Factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y NO en diferentes proporciones) por ello clasificamos los gases.

Factor de Seguridad: En esta investigación, el "Factor de Seguridad" se utiliza como una medida que califica la toxicidad de los explosivos. Este factor puede ser una evaluación de qué tan seguro es el uso de un explosivo en términos de la generación de gases tóxicos durante su detonación

(Díaz, 2022).

Toxicidad de los Gases:

Se menciona que todos los explosivos generan gases de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO) en diferentes proporciones durante la detonación los mismos que se ubican dependiendo de su peso específico. Estos gases son conocidos por ser potencialmente tóxicos (Jeremías, 2020).

Evaluación de Riesgos:

En la investigación sugiero una evaluación detallada de los riesgos asociados con la toxicidad de los gases generados por los explosivos. Este análisis puede tener en cuenta las proporciones relativas de CO y NO y su impacto potencial en la salud y el medio ambiente, la misma que recomiendo a la unidad minera (García, 2017).

Consideraciones de Seguridad:

La evaluación del factor de seguridad también puede incorporar medidas y precauciones específicas para mitigar los riesgos asociados con la toxicidad de los gases producidos. Esto podría incluir la selección cuidadosa de explosivos o la implementación de medidas de seguridad durante el manejo y detonación (Jeremías, 2020).

2.2.11. Factor de potencia

El factor de potencia en explosivos se calcula generalmente como la relación entre la velocidad de detonación del explosivo en cuestión y la velocidad de detonación de un explosivo de referencia, que se considera un estándar. A menudo, la nitroglicerina se utiliza como explosivo de referencia y se le asigna una velocidad de detonación de 1000 m/s (metros por segundo) como punto de referencia (Explosivos S.A, 2019).

La fórmula general para calcular el factor de potencia (FP) de un explosivo es:

$$\text{FACTOR DE POTENCIA (FP)} = \frac{\text{Velocidad de detonación del explosivo en cuestión}}{\text{Velocidad de detonación del explosivo de referencia}}$$

2.3. Definición de términos básicos

Voladura: Liberación controlada de energía explosiva para fragmentar rocas y facilitar su remoción (García, 2017).

Barreno: Agujero perforado en la roca para cargarlo con explosivos (Explosivos S.A, 2019)

Explosivo: Sustancia capaz de liberar energía en forma de calor, luz, sonido y presión en una reacción química rápida (Condori, 2021).

Carga de Voladura: Cantidad y disposición de explosivos utilizados en un barreno (García, 2017).

Densidad de Carga: Relación entre la cantidad de explosivo y la longitud del barreno (Explosivos S.A, 2019).

Patrón de Voladura: Disposición y diseño específico de los barrenos en una superficie para lograr una fragmentación eficiente (Condori, 2021).

Detonación: Proceso de propagación rápida de la onda de choque a través de un explosivo (Explosivos S.A, 2019).

Retardadores: Sustancias utilizadas para controlar el tiempo de retardo entre la detonación de los explosivos (Condori, 2021).

Efecto Túnel: Fenómeno en el cual la onda de choque de la voladura se enfoca en lugar de dispersarse, mejorando la fragmentación (Explosivos S.A, 2019).

Malla de Perforación: Disposición geométrica de los barrenos en una superficie para optimizar la fragmentación y el rendimiento (Baca, 2021).

Diámetro del Barreno: Dimensión del agujero perforado, crucial para determinar la eficacia de la voladura (Condori, 2021).

Cordón Detonante: Cable que contiene explosivos y se utiliza para iniciar la secuencia de detonación en una voladura (García, 2017).

Eficiencia de Fragmentación: Grado en que una voladura produce fragmentos de roca del tamaño deseado para facilitar su manejo (Baca, 2021).

Sobreperforación: Fenómeno donde la perforación excede la longitud necesaria, afectando negativamente la eficiencia de la voladura (Condori, 2021).

Densidad: Es un parámetro físico en los explosivos, importante para su uso en diferentes características del terreno (García, 2017).

Burden: Longitud que hace referencia a la separación de la cara libre a taladro (Explosivos S.A, 2019).

Stemming: Es el material obtenido a partir de la perforación del taladro (Condori, 2021).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Ubicación geográfica

El Proyecto Minero La Zanja se encuentra localizado en el caserío La Zanja, dentro del distrito de Pulán, en la provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca, con altitudes que varían entre los 2,800 y 3,811 metros sobre el nivel del mar, y limita con los distritos de Catache (provincia de Santa Cruz) y Calquis y Tongod (provincia de San Miguel de Pallaques).

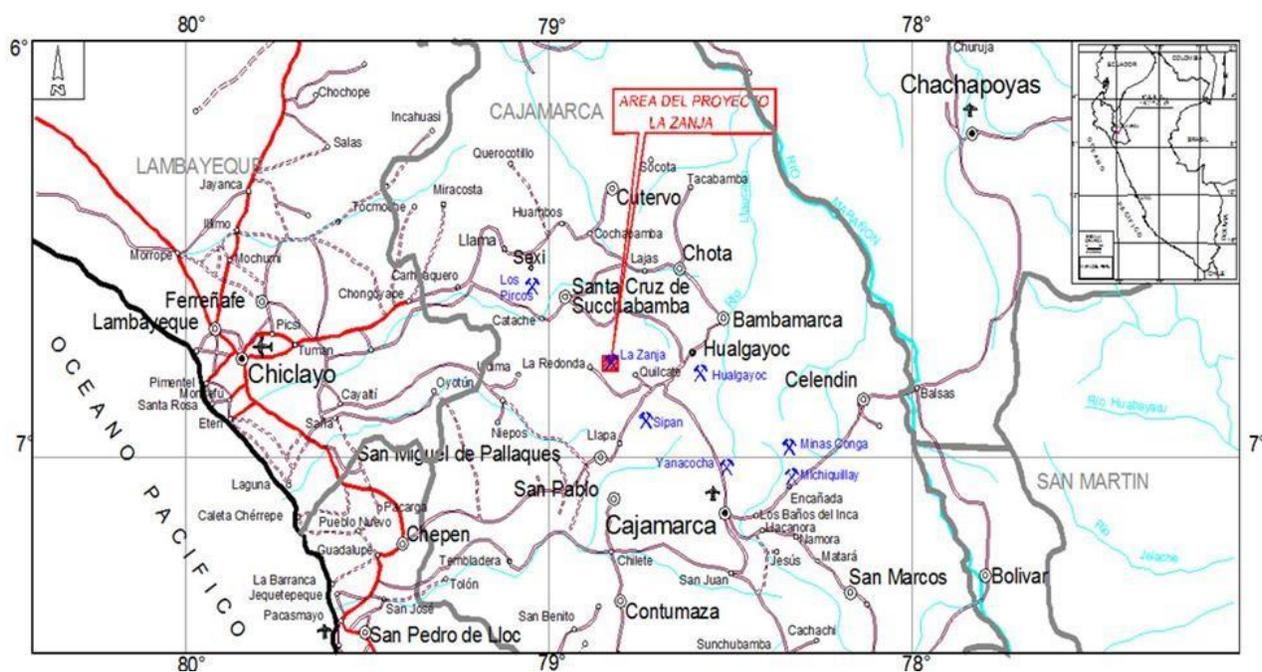


Figura 17

Plano de ubicación de MLZ

Fuente: Minera La Zanja

3.1.2. Accesibilidad

El acceso al área del proyecto desde la ciudad de Lima se puede realizar de dos formas. Por vía terrestre, tomando la carretera Panamericana Norte hasta Pacasmayo, continuando luego hasta el Desvío hacia Cajamarca, por las rutas de San Miguel o El Empalme.

Tabla 1

Acceso terrestre al área del proyecto

Tramo	Distancia (km)	Tiempo	Estado de la carretera
Lima – Pacasmayo - Desvío Cajamarca	741	14 horas	Carretera Asfaltada
Desvío Cajamarca – Desvío Chilete - Cajamarca	180		Carretera Asfaltada
Cajamarca – El empalme	70	2 horas	Carretera Asfaltada
Empalme - Mina La Zanja	32	1.30 horas	Carretera Afirmada 20% Trocha 80%

Fuente: Elaboración propia

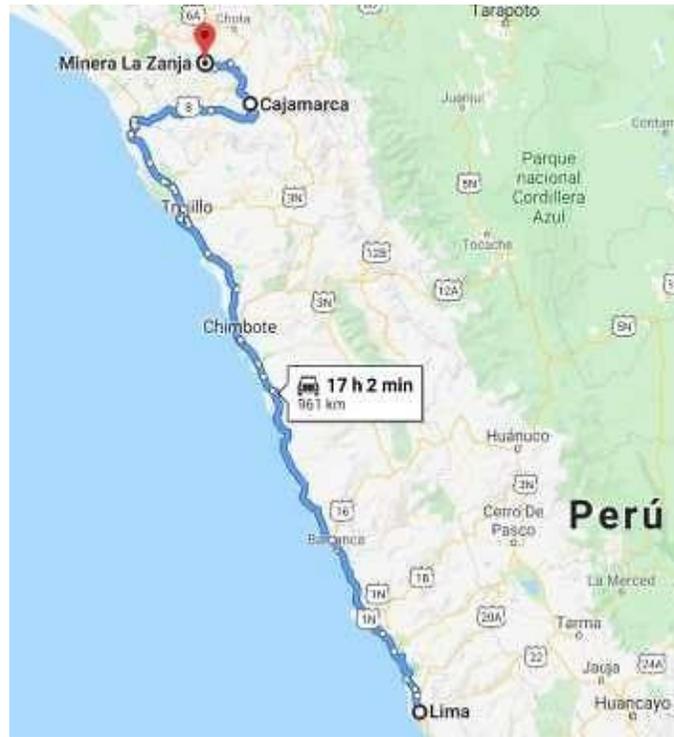


Figura 18

Accesibilidad vía terrestre al proyecto minero

Fuente: Revisión geográfica de Google Maps

Otra forma de llegar a la UM La Zanja es por vía aérea, siguiendo las rutas Lima-Cajamarca mediante vuelos comerciales, Lima – Cajamarca, para luego continuar por vía terrestre desde Cajamarca hacia El Empalme por una vía asfaltada continuando hacia el proyecto por una carretera afirmada y de trocha. Esta última vía es la más utilizada.

Tabla 2

Acceso aéreo al área del proyecto

Localidad	Distancia (km)	Tiempo	Tipo de vía
Lima – Cajamarca	921	1 hora y 10 Min.	Aérea
Cajamarca - El Empalme	70.00	2 horas	Carretera Asfaltada
El Empalme – Mina La Zanja	32.00	1.30 horas	Carretera Afirmada 20% Trocha 80%

Fuente: Elaboración propia

Por vía aérea se parte desde Lima hacia Cajamarca haciendo 1 hora con 10 minutos aproximadamente, luego se toma la ruta hacia el proyecto descrita en el párrafo anterior.

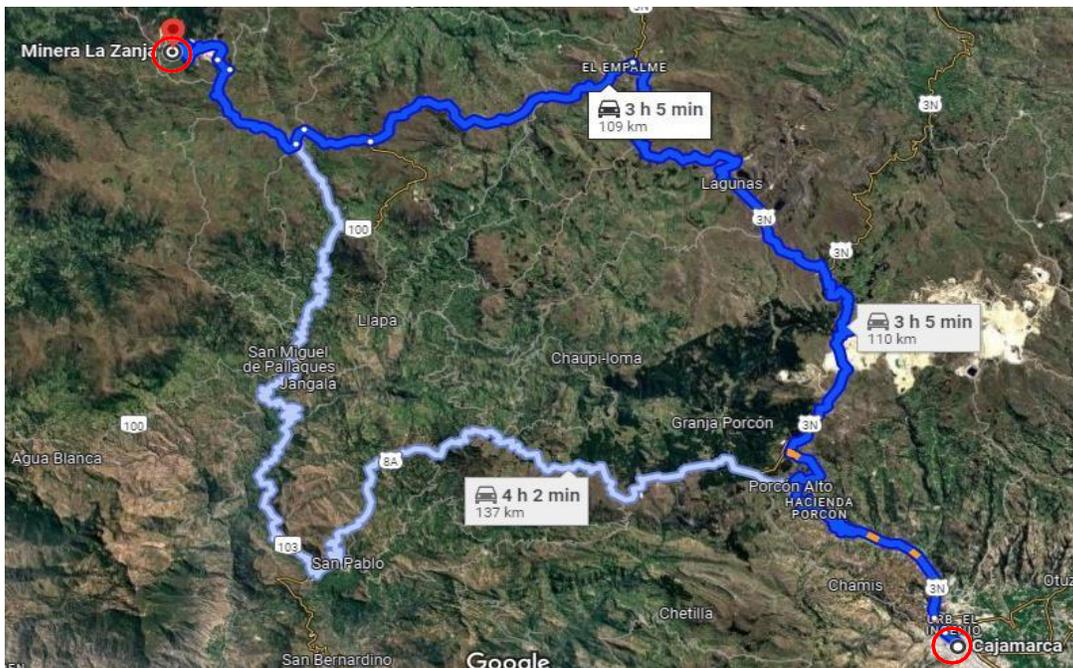


Figura 19

Accesibilidad a Minera la Zanja desde Cajamarca

Nota: Fuente Google Earth 2024



Figura 20

Vista satelital de Minera La Zanja

Nota: Fuente Geocatmin 2021

3.1.3. Clima y Vegetación.

A. Clima

La Zanja se encuentra en una región de altitud variable, entre los 3200 y 4100 metros sobre el nivel del mar en la provincia de Cajamarca, Perú. Asimismo, dada la altitud, la mina experimenta un clima típico de los Andes peruanos, donde solea por la mañana y llueve por la tarde.

La cantidad de precipitación puede variar según la temporada. En la región andina, se observa una temporada de lluvias, típicamente entre los meses de noviembre y marzo. Durante este período, la precipitación puede ser significativa, lo que podría tener implicaciones en las operaciones mineras.

B. Vegetación

En la zona de La Zanja, entre los 3200 y 4100 metros sobre el nivel del mar en la provincia de Cajamarca, Perú, la vegetación puede ser diversa debido a la transición entre los pisos altitudinales. Aquí presento la variedad dependiendo a las altitudes:

Altitudes más Bajas (quechua - 3200 a 3500 metros):

Bosques secos y semisecos: Puede haber árboles como el aliso, molle y Queñual.

Arbustos y hierbas: Variedades de arbustos y plantas herbáceas adaptadas a climas templados.

3.2. Metodología de la investigación

3.2.1. Tipo de la investigación

La investigación llevada a cabo es de tipo descriptivo, ya que se enfoca en la descripción de eventos específicos y en el análisis de las características de los objetos estudiados dentro del proceso.

3.2.2. Nivel de la investigación

La investigación se sitúa en un nivel descriptivo-correlacional. Es descriptiva porque se analizan y detallan las condiciones del contexto actual, y correlacional debido a que se examinan las relaciones entre las variables en un momento específico, considerando la conexión entre ellas.

3.2.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, dado que no incluye la manipulación de las condiciones o variables. Se fundamenta en la observación de los hechos tal como ocurren para posteriormente proceder a su análisis.

3.2.4. Método de la investigación

El método es deductivo – inductivo, esto significa que se parte de principios generales o fórmulas ya establecidas (deducción) para aplicarlos a casos específicos, y, a su vez, se analiza la información obtenida de los casos particulares para identificar patrones o generar conclusiones.

3.2.5. Población de Estudio

La población del estudio estuvo conformada por dos tipos de explosivos que se utilizan en la voladura de rocas.

3.2.6. Muestra

La muestra de estudio estuvo conformada por la realización de quince voladuras con Emulgex y San G Apu en U.M. La Zanja.

3.2.7. Unidad de Análisis

Conformado por los resultados obtenidos en el diámetro de roca post voladura utilizando Emulgex y San G Apu.

3.2.8. Definición de Variables

3.2.8.1. Variables Independientes

Evaluación técnica de los explosivos Emulgex y San G Apu: el resultado de la eficiencia de un explosivo se mide en sus características de voladura tales como fragmentación de la roca y los gases que emiten.

3.2.8.2. Variables Dependientes

Optimización de la fragmentación: mejorar la fragmentación para llegar a la granulometría ideal que necesita planta para poder absorber el mineral en su proceso.

Tabla 3

Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Sub indicadores	Índice	Técnicas de recolección de datos	Instrumento de recolección de datos	Instrumento de medición
Evaluación técnica de los explosivos	Evaluación técnica	Propiedad Física	Velocidad de detonación	m/s	Observación	Guía de Observación	Registador VOD
Emulgex y San G Apu			Potencia de explosivo	kJ/kg			Bloque de plomo
			Densidad	g/m ³			Picnómetro
		Propiedades químicas	Presión de detonación	kbar		Hoja de Campo	Leyes de los gases
			Calidad de los humos	litros/ kg		Fotos de fragmentación	Formato técnico
Optimización de la fragmentación de roca	Parámetros de la roca		Densidad de carga	kg/m		n del Software	Hojas de Campo
		Propiedades dinámicas	Resistencia mecánica	n/m²	Análisis de fragmentación		Software Wipfrag 3.1

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas

- **Observación directa:** Se convierte en una parte esencial de la recolección de datos en este proyecto. Esta fase implica la recopilación de información directamente en el campo es decir de la unidad minera, centrándose en las mallas de perforación y las características resultantes de la roca después de la voladura. Se lleva a cabo una detallada observación de la manera en que los disparos de la voladura de roca se manifiestan en el terreno, considerando variaciones en diferentes días y condiciones. Este enfoque proporciona una comprensión práctica y tangible de la efectividad de las perforaciones y del proceso de voladura en sí. La observación directa permite capturar elementos que podrían escapar a métodos puramente analíticos, contribuyendo así a una evaluación más completa y precisa de la dinámica de la voladura y sus impactos en la formación rocosa circundante.
- **Análisis de datos:** Se lleva a cabo una revisión detallada de las imágenes generadas por el software. Este proceso implica la extracción y evaluación de diversos parámetros que han sido previamente definidos en el marco del proyecto, siendo estos elementos centrales en la investigación desarrollada en la presente tesis. Además, se incorpora la medición de las características específicas de la roca obtenida a partir de las imágenes analizadas. Este análisis de datos no solo proporciona una comprensión más profunda de los resultados obtenidos, sino que también permite extraer conclusiones significativas en relación con los objetivos planteados en el proyecto de investigación. La minuciosa revisión de las

imágenes y la consideración de los parámetros clave son pasos fundamentales para asegurar la calidad y la validez de los datos recopilados en el contexto de esta tesis.

3.3.2. Instrumentos, materiales y equipos

- Cámara digital: Fue empleada para capturar fotografías del explosivo, permitiendo documentar tanto sus condiciones como la manera en que se utiliza durante las operaciones.
- Laptop: Se utilizó en la recolección, análisis y procesamiento de los datos obtenidos en campo.
- Libreta de campo y lapicero: para recopilar información tomando notas y apuntes.
- Equipo MicroTrap (Medición de VOD): Se utilizó para poder determinar la velocidad de detonación (VOD), con la que los explosivos trabajan en el área de estudio.
- Kit de medición de densidades: Se utilizó para obtener los resultados de la toma de muestra de las densidades del explosivo Sang Apu y Emulgex.
- Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instantel: Se utilizó para determinar la magnitud de las vibraciones que se generan por la voladura y verificar que se encuentren dentro de los parámetros aceptables.
- Fichas técnicas.
- Formatos de recolección de datos.

3.4. Procedimientos

La investigación en curso se ha estructurado en dos etapas esenciales: una de campo y otra de gabinete, con el objetivo de evaluar técnicamente el rendimiento de un explosivo. La fase de campo implica la recolección de datos directamente en el lugar de acción, mientras que la etapa de

gabinete se centra en un análisis más detallado utilizando información recopilada y otras fuentes relevantes.

La decisión de llevar a cabo estas dos etapas se basa en la necesidad de obtener una comprensión integral del rendimiento del explosivo bajo diferentes condiciones. La fase de campo proporcionará datos prácticos y situacionales, mientras que la etapa de gabinete permitirá un análisis más profundo y la aplicación de métodos específicos.

La información recopilada en ambas etapas se utilizará para realizar un cálculo preciso destinado a determinar la eficiencia en términos de fragmentación de los dos explosivos en evaluación. Este enfoque integral busca proporcionar resultados sólidos y respaldados por datos concretos, permitiendo una evaluación técnica completa del rendimiento de los explosivos en consideración.

3.4.1. Etapa Preliminar de Gabinete

Durante la etapa actual, se llevará a cabo un exhaustivo análisis paramétrico de la planificación relacionada con la perforación y voladura. Este proceso implica la revisión detallada junto con el equipo de planeamiento, por ello buscamos validar la coherencia de nuestros diseños. Nos enfocaremos especialmente en aspectos clave como la granulometría, el burden y el espaciamiento, buscando asegurándonos de que se alineen de manera óptima con las necesidades específicas del proyecto.

Además, se procederá a enviar las especificaciones para la adquisición de los explosivos y sus accesorios necesarios. Esta fase también incluirá la realización de simulaciones de los explosivos propuestos, utilizando herramientas especializadas. Estas simulaciones tienen como objetivo principal obtener datos precisos sobre el comportamiento esperado de los explosivos en condiciones específicas.

Una vez completadas estas actividades, presentaremos los resultados a la gerencia para obtener su aprobación. Este proceso de validación y revisión garantizará que nuestros planes de perforación y voladura estén no solo bien planificados en papel, sino también respaldados por simulaciones y validaciones prácticas, asegurando así la calidad y eficiencia de las operaciones planificadas.

3.4.2. Etapa de Campo

En la Etapa de Campo, que sigue a la validación de los diseños en la fase preliminar, nos sumergiremos en la ejecución práctica de la perforación y voladura en el sitio minero. Este proceso marca la transición desde la planificación teórica hasta la implementación real de las estrategias concebidas. La movilización de equipos y la ejecución de las estrategias planificadas son pasos cruciales en este proceso.

Durante esta fase, se llevarán a cabo las perforaciones de acuerdo con los diseños previamente establecidos, tomando en cuenta las condiciones geológicas reales del sitio. Se prestará una atención cercana a la calidad y precisión de la perforación, permitiendo realizar ajustes en tiempo real para optimizar la eficiencia y garantizar la seguridad de las operaciones.

Adicionalmente, se llevarán a cabo pruebas de campo para validar la respuesta real de los explosivos utilizados. En caso de ser necesario, se realizarán ajustes en los parámetros de la carga de voladura para asegurar un rendimiento óptimo. Este enfoque práctico y adaptativo durante la Etapa de Campo busca garantizar la alineación entre los planes teóricos y la realidad operativa, contribuyendo a la eficacia y seguridad general del proceso de perforación y voladura en el sitio minero.

3.4.3. Etapa Final de Gabinete

La Etapa Final de Gabinete representa la culminación del ciclo de perforación y voladura. Durante este período, se llevará a cabo una revisión exhaustiva que implica un análisis detallado de los datos recopilados durante la fase de campo. En esta fase, se evaluará la eficiencia de la fragmentación, la distribución de tamaños de los materiales resultantes y se identificarán posibles variaciones con respecto a los diseños iniciales.

3.5. Geología

3.5.1. Geología Regional

El Volcánico Llama está compuesto principalmente por una gruesa secuencia de piroclásticos y flujos volcánicos. Su litología se caracteriza por brechas andesíticas de color morado oscuro, flujos o lavas andesíticas porfiríticas de tonalidades gris verdoso y gris azulado, además de tufos dacíticos de variados colores. Por su parte, el Volcánico Porculla incluye un espesor significativo de lavas dacíticas afaníticas, intercaladas con tufos piroclásticos, que resultan ser más abundantes que los flujos volcánicos.

El Volcánico Huambo está formado por tobas y brechas de composición mayormente ácida, en las que se encuentran minerales de cuarzo con diámetros de hasta 3 mm, junto a cristales de biotita en una matriz feldespática, probablemente asociada a una toba dacítica. Sobre esta secuencia volcanoclástica, y bajo la influencia de cuerpos subvolcánicos, se han desarrollado yacimientos metálicos como el de San Pedro Sur, clasificado como un depósito epitermal de tipo "High Sulfidation". Este tipo de yacimiento se caracteriza por un marcado zonamiento de alteración hidrotermal, con silicificación en la parte central que gradualmente se transforma en rocas argílicas hacia los márgenes.

3.5.2. Geología Local

En el área del Proyecto La Zanja, a nivel local, se encuentran predominantemente afloramientos de rocas volcánicas piroclásticas y derrames pertenecientes a la Formación Llama, así como rocas volcánicas de la Formación Porculla. Por otro lado, las rocas de la Formación Huambo afloran al noroeste del proyecto, fuera de los límites destinados a las operaciones. Dado que se ha identificado la ubicación de la caldera de un volcán activo durante el Paleógeno en la quebrada El Cedro.

En el sector norte, también se observa la presencia de brechas hidrotermales que contienen una carga significativa de óxidos, como jarosita y hematita. Estas brechas hidrotermales actualmente contribuyen con leyes minerales elevadas, y se está llevando a cabo una estrategia de blending durante el proceso de minado para optimizar la calidad del material extraído.

La geología local de Minera La Zanja muestra una mezcla compleja de volcanismo, intrusiones y estructuras hidrotermales. Las brechas hidrotermales, junto con los sistemas de pórfidos y las estructuras de mineralización (Au-Cu, Au-Ag), indican un entorno geológico favorable para la acumulación de metales preciosos, particularmente oro y cobre. Las estructuras y las edades relativas sugieren un entorno de mineralización epitermal y de pórfidos típico de sistemas de subducción en zonas andinas.

Estructuras Geológicas:

- Estructura Au-Cu (14.29 Ma):

Representada en color morado, esta estructura está relacionada con la presencia de oro y cobre, posiblemente un sistema de mineralización que involucra fluidos hidrotermales asociados con la formación de la estructura a esta edad (Ma = millones de años).

- Estructuras bn - Cpy:

Corresponde a estructuras vinculadas a bornita (bn) y calcopirita (Cpy), minerales típicos de depósitos de sulfuros, indicando una relación con mineralización de cobre.

- Estructuras Au - Ag, sistema NE:

Representada en color rojo, esta estructura corresponde a una orientación noreste y está asociada con mineralización de oro y plata. Podría corresponder a vetas epitermales.

- Estructura Bx hidrotermal:

Asociada a la presencia de brechas hidrotermales, generalmente vinculadas a la actividad de fluidos hidrotermales que fragmentaron la roca huésped, creando un entorno propicio para la deposición de minerales valiosos.

Mineralización Au en óxidos:

Corresponde a zonas con mineralización aurífera en óxidos, típicas de yacimientos oxidados cerca de la superficie, lo que implica procesos de meteorización y oxidación de los sulfuros primarios.

Cartoon Esquemático: Eventos de mineralización

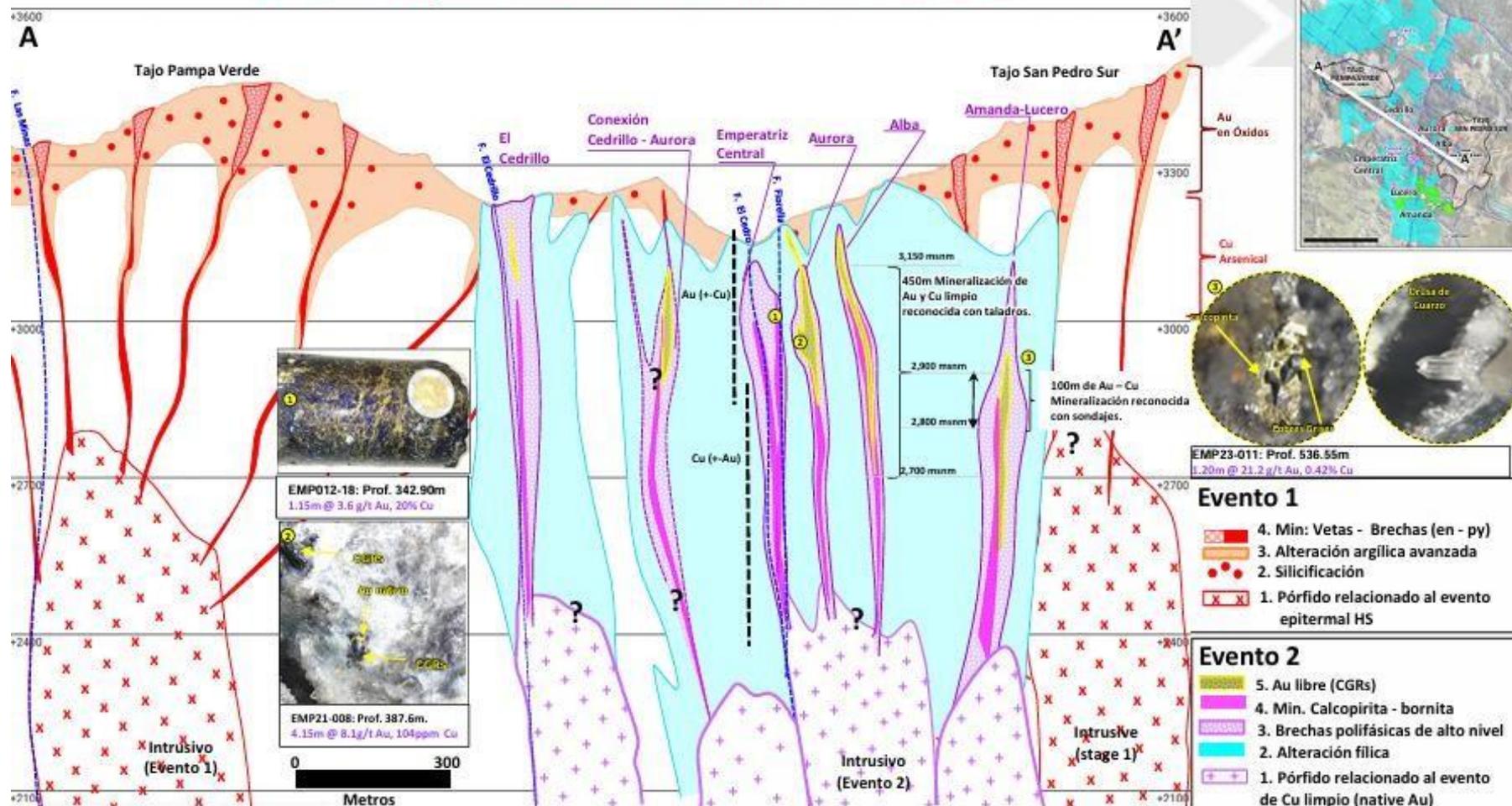


Figura 21

Vista eventos de mineralización.

Nota: Información de MLZ.

Estructuras py – En sistema NO (15.61 Ma):

Indicada con líneas rojas punteadas, estas estructuras muestran orientaciones de fallas o fracturas con mineralización de pirita, ubicadas en un sistema de orientación noroeste. La edad aproximada de estas estructuras es de 15.61 millones de años.

Unidades Litológicas:

Lava Andesítica:

Rocas volcánicas andesíticas, típicas de ambientes volcánicos en subducción, formadas a partir de flujos de lava.

Domos Dacíticos (11.67 Ma):

Cúpulas de rocas volcánicas más evolucionadas (dacitas), asociadas a erupciones magmáticas ácidas que forman domos de lava.

Diques Tardíos e Intrusivos:

Rocas intrusivas y diques tardíos que podrían estar relacionados con la actividad magmática posterior en la región.

Brechas (Bx):

Se observan varios tipos de brechas: freáticas (relacionadas con explosiones volcánicas), de magnetita y turmalina (indicando un entorno hidrotermal), y asociadas a sistemas mineralizados.

Porfido Generador – Sistema Epitermal:

Estas unidades están relacionadas con sistemas de pórfidos, que a menudo están acompañados de mineralización epitermal en zonas más superficiales.

Tobas Cristaloclásticas y Toba Lítica:

Depósitos volcánicos compuestos por fragmentos de cristales y líticos, posiblemente relacionados con eventos explosivos. Estas capas de tobas indican períodos de actividad volcánica importante en la región.

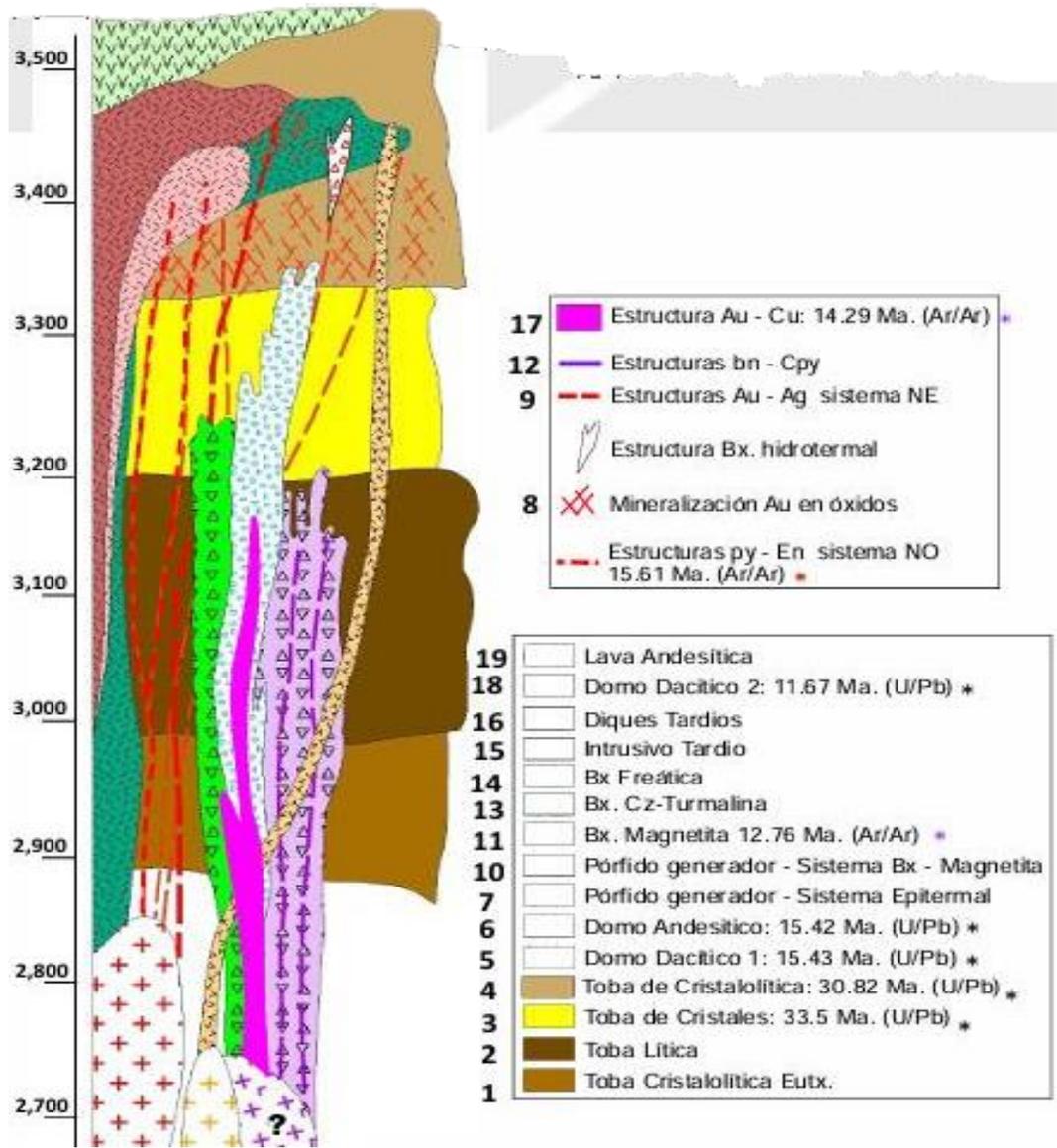


Figura 22

Vista de cuerpos principales

Nota. Columna estratigráfica de MLZ. Fuente (Buenaventura, 2023).

3.6. Generalidades de Minera La Zanja

3.6.1. Ciclo de minado

Minera La Zanja opera mediante una secuencia de cuatro procesos interdependientes que siguen un orden específico en conformidad con el plan de minado. Estos procesos incluyen la perforación, la voladura, el carguío y el acarreo, cada uno desempeñando un papel crucial en la ejecución eficiente del plan minero.

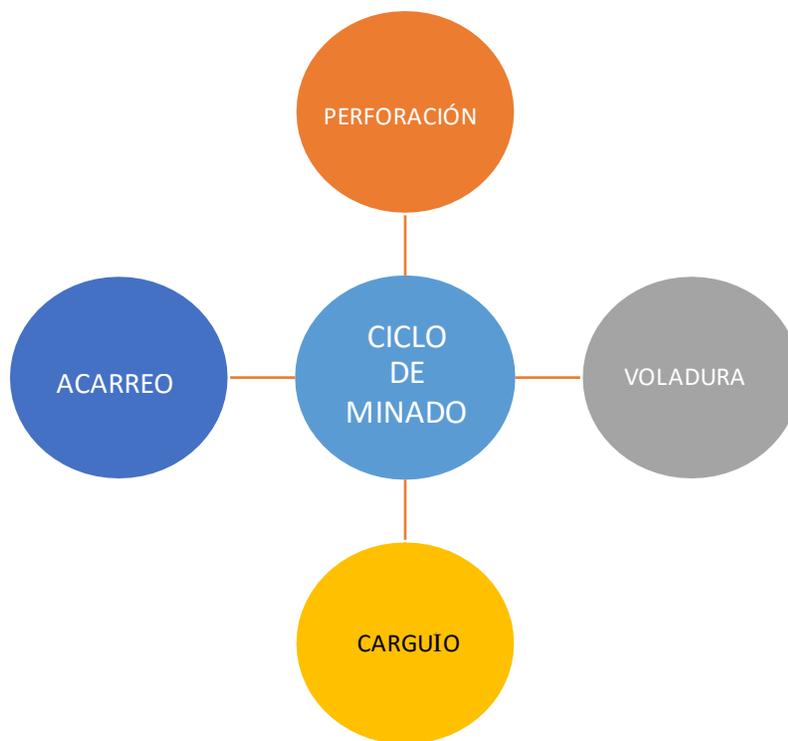


Figura 23

Ciclo de minado en Minera La Zanja

Nota: Fuente propia

3.6.1.1. Perforación

En el desarrollo operativo de Minera La Zanja, el ciclo comienza con la perforación de taladros, siguiendo la malla de perforación diseñada previamente y suministrada por el área de Perforación y Voladura. Luego, se procede con la carga de los taladros, seguida por la ejecución

de la voladura o detonación mediante un sistema electrónico. Una vez concluida la voladura, se procede a cargar el material resultante en camiones de gran tamaño, los cuales se encargan del transporte del material hacia destinos específicos según la naturaleza del material que están trasladando.



Figura 24

Malla de Perforación

Nota: Fuente propia

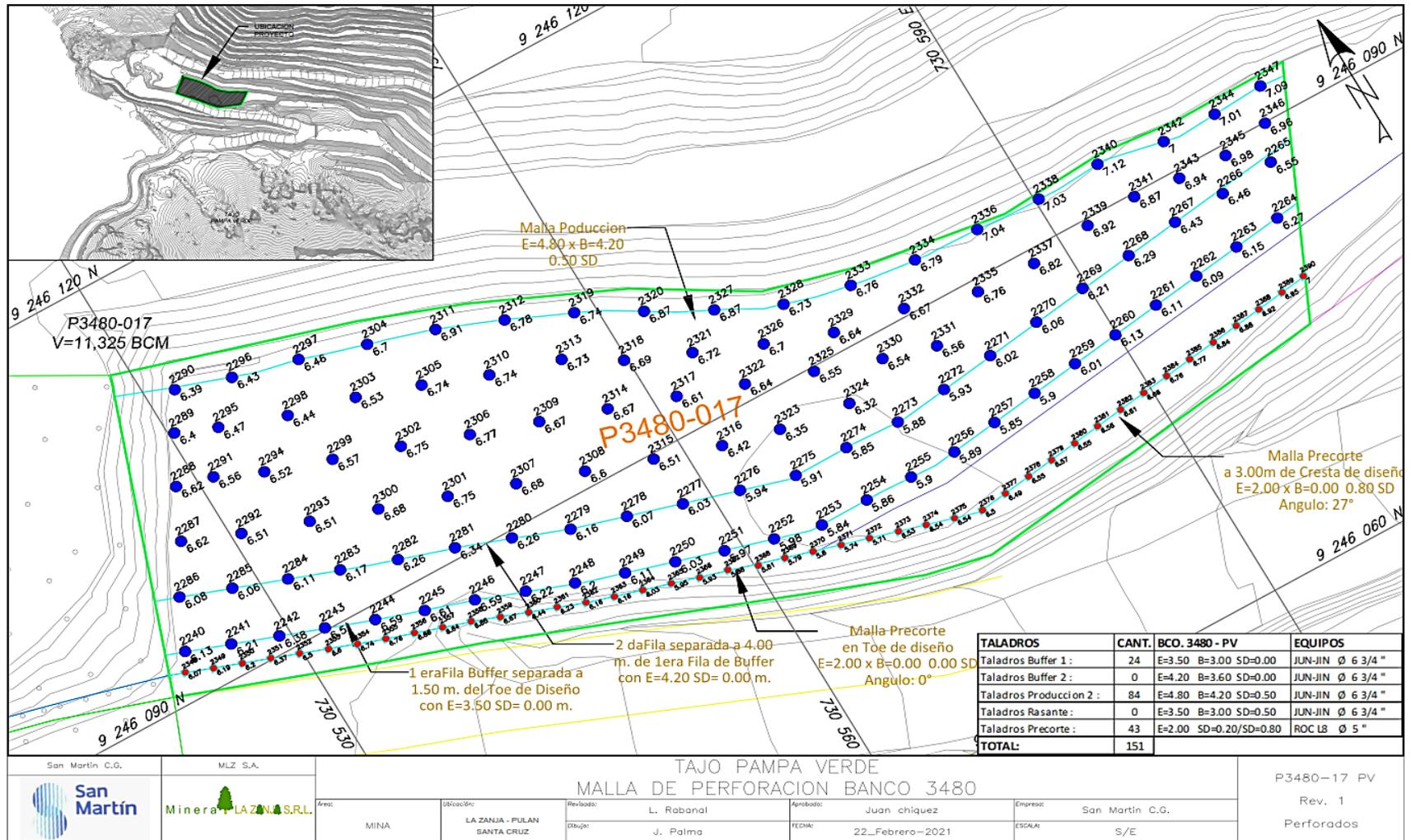


Figura 25

Diseño de malla de Perforación

Nota. Fuente MLZ

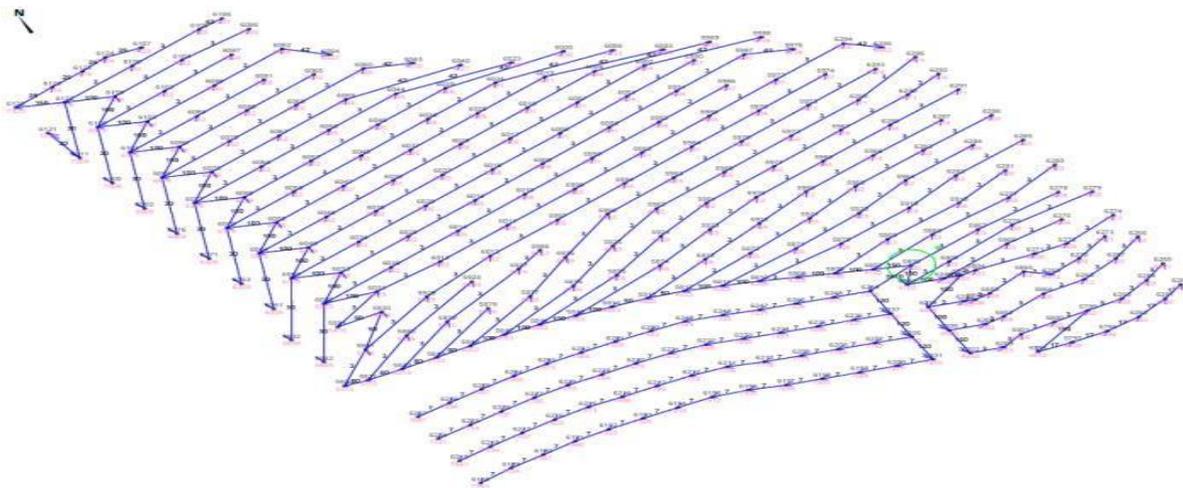


Figura 26

Secuencia de detonación P3432-055 tajo MLZ

Nota. Enaex – La Zanja

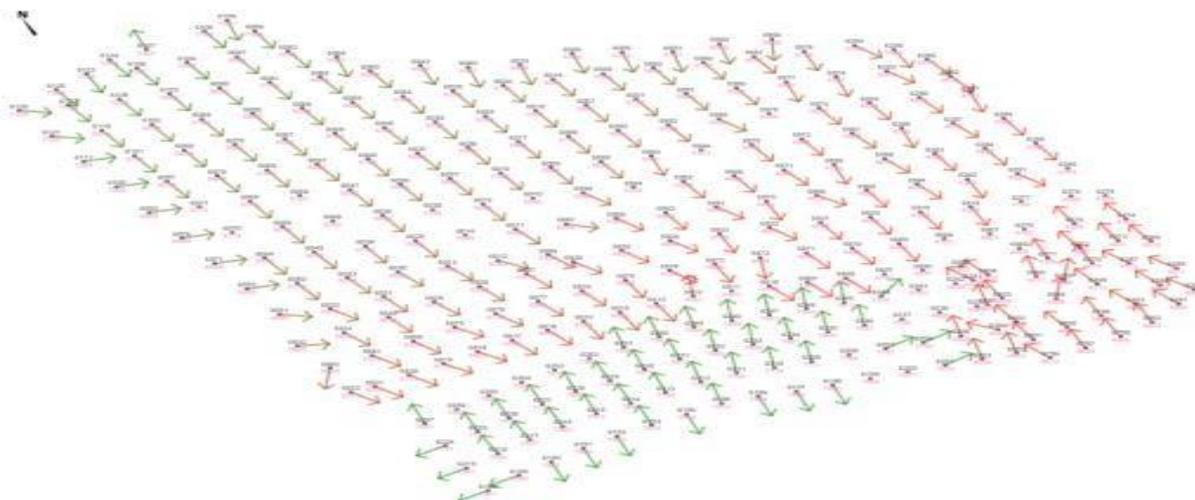


Figura 27

Orientación de material fragmentado P3432-055 tajo MLZ

Nota. Enaex – La Zanja

Minera La Zanja dispone de tres perforadoras, de las cuales dos están destinadas a la producción y una específicamente asignada para llevar a cabo la perforación de pre corte. La información detallada sobre los modelos y diámetros de perforación se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 4

Perforadoras usadas en MLZ

PERFORACIÓN EN MLZ		
Perforadora JUN JIN 2000 (Producción)	1	UND
Perforadora ROC-L8 (Producción)	1	UND
Perforadora DX-800 (Pre Corte)	1	UND
Altura de Banco	6	M
Diámetro de Perforación Producción	6 3/4	PULG.
Velocidad de perforación	32	m/h
Diámetro de Perforación Pre Corte	3 1/2	PULG.

Taladros Buffer

Estos taladros, que constituyen la última fila en el diseño de voladura para producción, experimentan modificaciones en su diseño para restringir la energía dirigida hacia la cara de la pared final del tajo. Se reduce la carga explosiva, resultando en una disminución tanto del burden como del espaciamiento. En Minera La Zanja, donde el tajo se encuentra en una ladera, se identifica una zona de crestas que lleva a adaptar el diseño de proyectos ubicados en esa área mediante el uso de 2 filas de taladros buffer. Esto tiene como objetivo controlar la proyección de material hacia el bosque en la parte inferior. Los taladros buffer tienen un diámetro de 6 3/4", un espaciamiento de 4.8 m y un burden de 4.2m, siendo perforados con las perforadoras JUN JIN.



Figura 28

Revisión en campo de taladros buffer

Nota. Fuente propia

Taladros de Producción

El propósito principal de este tipo de taladros es fragmentar el macizo rocoso, requiriendo la generación de energía suficiente para superar la resistencia a la tracción del material y lograr una fragmentación efectiva. Los taladros de producción 6 3/4 pulgadas. Estas perforaciones son llevadas a cabo mediante el uso de las perforadoras JUN JIN – 2000.



Figura 29

Carga de taladros de producción en MLZ

Nota. Fuente propia

Tabla 5

Diseño de carga en Taladros de Producción

Taco	3.0 m	Datos de taladro	
		ID taladro	9764
		Longitud (m)	6.60
		Taco inicial (m)	3.60
Esponjamiento	0.60 m	características del explosivo	
		mmu	ask-776
		explosivo	sang apu 100%
		marca explosivo	famesa
		kilogramos de explosivo	100
		densidad inicial (g/cm ³)	1.303
		densidad final (g/cm ³)	1.072
		esponjamiento	0.60
Mezcla Explosiva	3.0 m	Datos del iniciador	
		Detonador	INTELLISHOT 4G
		Tipo iniciador	BOOSTER 1LB
		Altura de Booster (m)	0.20
		Densidad de la roca	2.52
SD	0.5 m	Factor de potencia (kg/ton)	0.3594

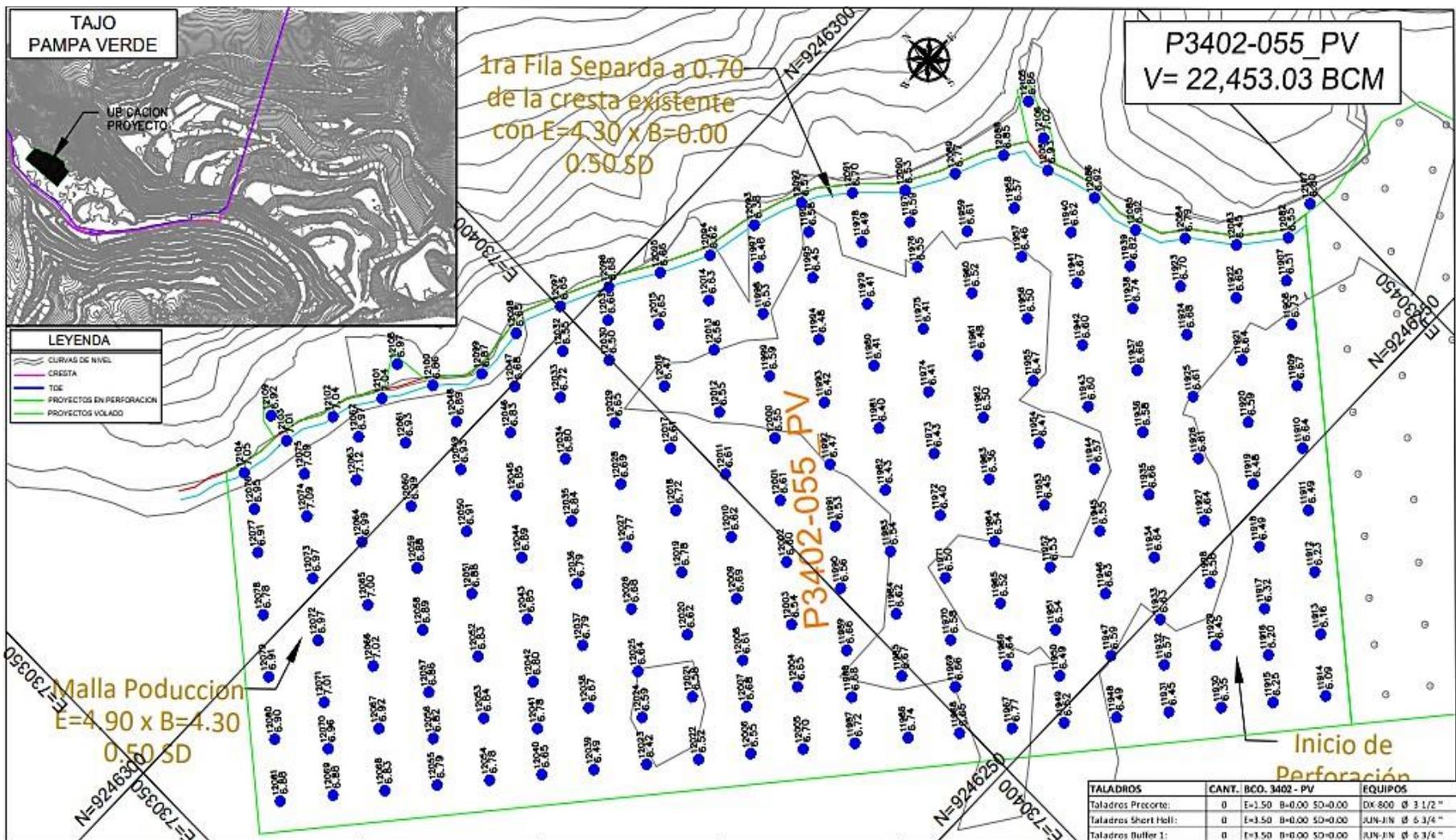


Figura 30

Malla de voladura con taladros de producción

Fuente: Información de MLZ (2021)

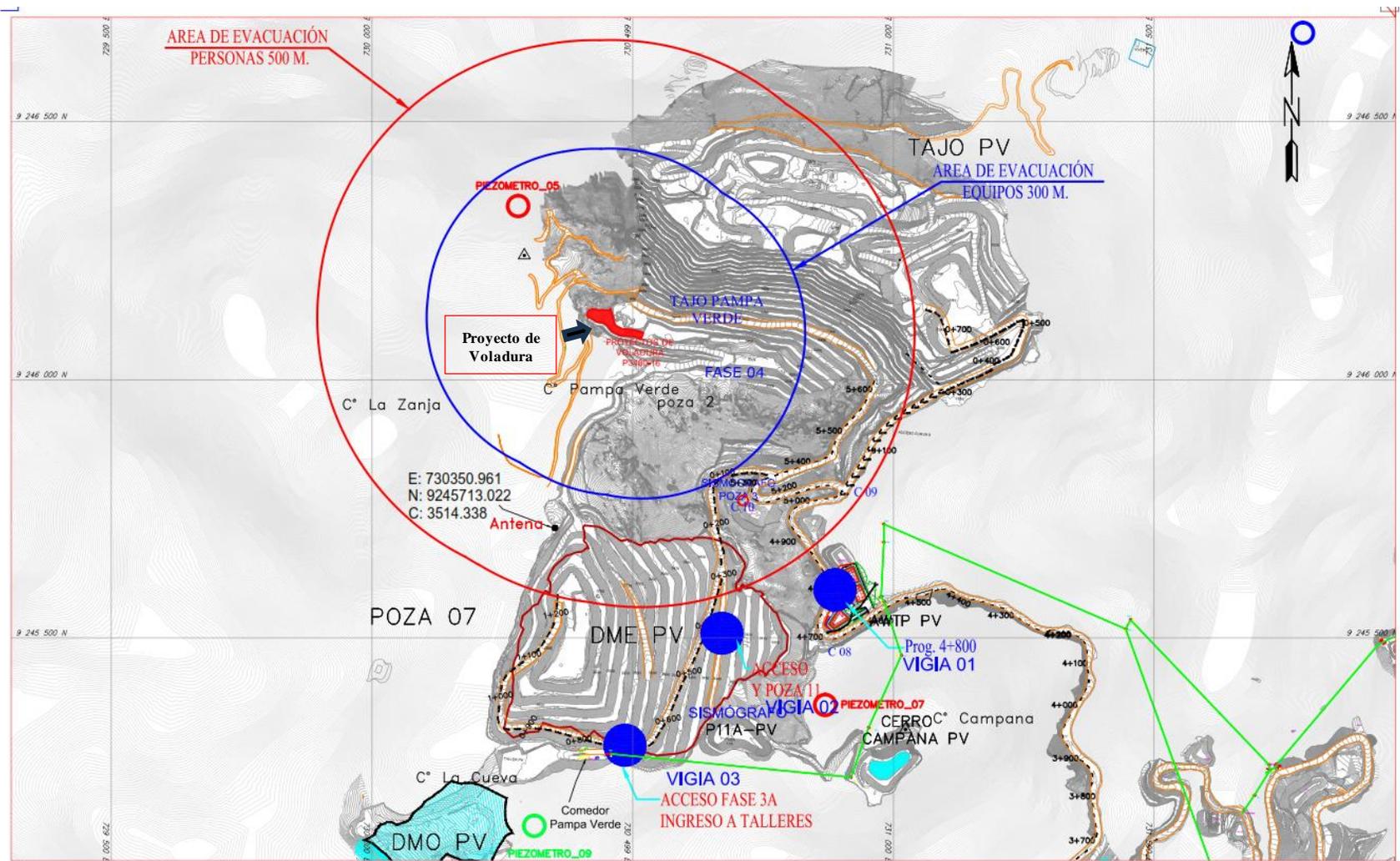


Figura 31

Área de influencia de voladura

Fuente: Información de MLZ (2021)

3.6.2.2. Voladura

La detonación de rocas constituye otra operación unitaria fundamental en el proceso de extracción de minerales. Su propósito principal es alcanzar un tamaño apropiado de las rocas con un impacto mínimo en el entorno circundante. Cualquier resultado desfavorable impulsa la necesidad de llevar a cabo extracciones selectivas, lo que conlleva un aumento en los costos operativos.

Emulsión matriz

La emulsión matriz se define como un producto químico precursor utilizado en la fabricación de explosivos, compuesto principalmente por una mezcla de fase acuosa y fase oleosa, estabilizada mediante un agente emulsionante. Esta sustancia se caracteriza por ser altamente densa, homogénea y sensible a procesos de gasificación o aditivación, los cuales permiten modificar sus propiedades para adaptarla a distintas aplicaciones en minería y obras civiles.

Anfo pesado

El ANFO pesado se define como una mezcla explosiva compuesta por nitrato de amonio (AN), combustible (FO, por sus siglas en inglés) y una proporción de emulsión matriz. Esta combinación mejora las propiedades energéticas del ANFO tradicional, aumentando su densidad, resistencia al agua y potencia explosiva, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en condiciones más exigentes

Adaptándose a las condiciones específicas de cada proyecto, se llevan a cabo mezclas para desarrollar un Anfo Pesado que se ajuste a las necesidades operativas. Entre las mezclas más utilizadas se encuentran:

HA 37 (30% emulsión y 70% de ANFO)

HA 46 (40% emulsión y 60% de ANFO)

HA 64 (60% emulsión y 40% de ANFO)

Accesorios de voladura

Los accesorios de voladura se definen como los dispositivos y herramientas auxiliares utilizados en la ejecución de voladuras para garantizar el encendido, control y sincronización de los explosivos. Estos incluyen cordones detonantes, detonadores eléctricos o no eléctricos, retardos, boosters y mechas de seguridad, entre otros. Su función principal es facilitar el manejo seguro y eficiente de los explosivos, asegurando una detonación controlada y efectiva según los requerimientos específicos.

Los accesorios empleados en MLZ incluyen elementos como:

- Booster
- Retardo de fondo
- Retardos de superficie
- Cordón detonante
- Detonadores electrónicos
- Cable de disparo
- Detonador ensamblado

Estos elementos cumplen funciones específicas y son esenciales para el proceso de voladura, facilitando la iniciación controlada y segura de los explosivos (Ugaz, 2021).

3.6.2.3. Carguío

La carga del mineral se lleva a cabo mediante las excavadoras de Producción CAT 374D, identificadas con los códigos Ex -11 y Ex -12, que cuentan con una capacidad de cuchara de 4.6 m³. No obstante, en determinadas circunstancias operativas, se recurre a la excavadora CAT 336 DL, con el código Ex 336, y una cuchara de 2.4 m³.

Estas excavadoras operan sobre una plataforma de material estable, la cual debe mantenerse horizontal. Es crucial que la parte superior de la carrilera esté al nivel de la tolva del volquete. Además, se realiza la verificación de que los carriles del volquete estén nivelados para prevenir daños innecesarios en los muelles y problemas de volteo. Se estima que se requieren 5 pases para completar el llenado de la tolva del volquete.



Figura 32

Carguío en minera la Zanja

Fuente: Información de MLZ (Buenaventura, 2023).

3.6.2.4. Acarreo

El transporte del mineral desde el área de carga hasta el Pad se lleva a cabo utilizando volquetes de las marcas Volvo y Scania, con una capacidad de 20 m³ cada uno. La flota actual está compuesta por 31 unidades, de las cuales 10 están asignadas al movimiento de desmonte y 21 al traslado de mineral. Cada volquete recorre una distancia de 10 km por ciclo, con un tiempo promedio de 61 minutos.



Figura 33

Acarreo en minera la Zanja

Fuente: Información de MLZ (Buenaventura, 2023)

3.6.2.5. Software Wipfrag

El uso del WipFrag fue fundamental para analizar la fragmentación de las rocas generada por las voladuras en el estudio. Este software permitió evaluar con precisión la granulometría a partir de imágenes digitales capturadas directamente en el campo. Las fotografías de las pilas de rocas fragmentadas fueron procesadas en el programa, que proporcionó un análisis detallado y generó curvas granulométricas.

Gracias al WipFrag, se pudo determinar con exactitud si se cumplía con el objetivo del P80 establecido en la investigación. Por ejemplo, al comparar los resultados obtenidos con explosivos como Emulgex y San G-APU, el software mostró diferencias claras en el tamaño promedio de los fragmentos, lo que permitió identificar cuál de los explosivos optimizaba mejor la fragmentación desde los puntos de vista operativo y económico.

Además, el WipFrag fue utilizado para ajustar los parámetros de perforación y voladura, como el burden y el espaciamiento. La disponibilidad de datos en tiempo real sobre la granulometría facilitó la realización de ajustes durante las operaciones, lo que mejoró los resultados. Esto fue especialmente relevante en el contexto de la Minera La Zanja, donde era necesario garantizar que la fragmentación cumpliera con los estándares requeridos para un manejo eficiente del mineral.

El software también permitió ahorrar tiempo y esfuerzo al eliminar la necesidad de realizar tamizados manuales, que suelen ser más lentos y menos precisos. Asimismo, se aprovechó su capacidad para generar reportes que respaldaron los resultados de la investigación, fortaleciendo así las conclusiones del trabajo. En resumen, el uso de WipFrag facilitó el análisis y contribuyó significativamente a la optimización de los procesos evaluados.

Sistema de Iniciación - Electrónico

WipFrag 2010 Build 11 San Martin CGSA - La Zanja - 0196

Fusionada Análisis (4 Imágenes) March 16, 2021, 05:12:31 PM Hora est. del Pacífico de SA

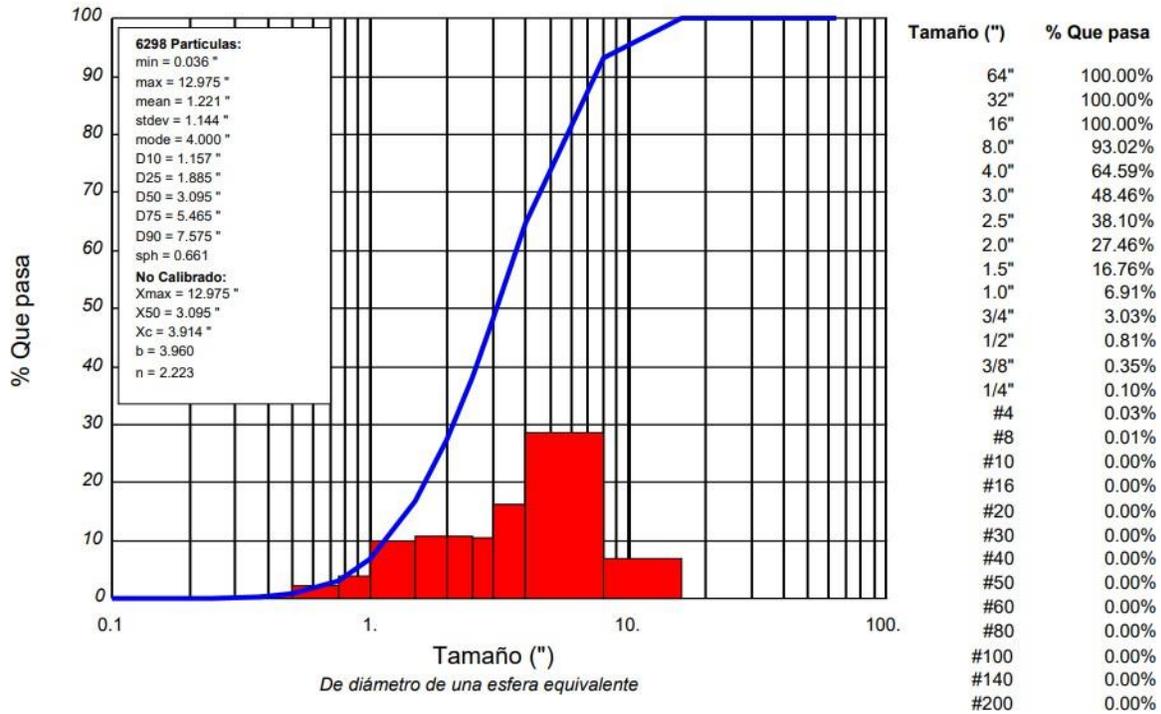


Figura 34

Análisis del P80 con el Software WipFrag de la voladura.

Nota: Se observa la distribución de la granulometría.

3.7. Evaluación técnica del explosivo Emulgex

3.7.1. Características técnicas del explosivo Emulgex

- A. Descripción: EMULGEX es una emulsión tipo agua en aceite para la fabricación de Anfo pesado bombeable y vaciable gasificado, mediante su mezcla in situ con Anfo en

diferentes proporciones, para lograr una mayor eficiencia del explosivo en ciertas condiciones adversas al terreno.

B. Características técnicas:

Tabla 6

Características técnicas explosivo Emulgex

Densidad (g/cc)	1.30 - 1.40
Color	Café opaco
Aspecto	Emulsión
Viscosidad (cp)*	120,000 - 250,000
T° de inflamacion (°C)	≥ 70
Solubilidad	Insoluble en agua
Duración máxima (días)**	30

(*) Viscosidad medida con viscosímetro Brookfield, spindle ST-95 a 2.5 rpm, a 20-

25°C (**) En condiciones normales de transporte, almacenamiento y manipulación

3.7.2. Características de malla de voladura de Emulgex

Las características empiezan sabiendo el burden y el espaciamiento utilizado en voladuras específicas. Aquí hay un análisis general:

- Malla:

Se refiere a las dimensiones de la malla de perforación utilizada en la voladura. Las dimensiones pueden estar dadas en unidades específicas, como pulgadas o centímetros.

- Carga Operante (Kg.):

Indica la cantidad de explosivo (en kilogramos) que se carga en los taladros para la voladura.

Esta carga operante es crucial para controlar la fragmentación de la roca.

- Tipo de Detonadores:

Describe el tipo de detonadores utilizados en la voladura. En este caso, se mencionan detonadores DaveyTronic e Intelli Shot 4G.

Es importante considerar que la elección del tipo de detonadores puede afectar la sincronización y la precisión en la secuencia de detonación, lo cual es crítico para lograr una voladura controlada y segura de la U.M.

Tabla 7

Carga operante

MALLA		CARGA OPERANTE Kg.)	TIPO DE
B	S		DETONADORES
4.2	4.8	115	Davey Tronic
4.2	4.8	112	DaveyTronic
4.2	4.8	107	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	98	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	89	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	93	DaveyTronic
4.2	4.8	103	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	105	Intelli Shot 4G

Nota: Se presenta los datos de la malla de perforación

- Promedio de Distancias Horizontales e Inclinadas:

Promedio Distancia Horizontal: $(316.628 + 85.060 + 136.585 + 171.152 + 155.991 + 204.554 + 113.309 + 98.807) / 8 \approx 142.159$ m

Promedio Distancia Inclinada: $(320 + 99 + 148 + 184 + 166 + 205 + 124 + 114) / 8 \approx 155.25$ m

- Variabilidad de Distancias Inclinadas:

Rango (Diferencia entre la máxima y mínima distancia inclinada): 205 m - 99 m = 106 m

- Distribución Espacial:

Puedes visualizar la distribución espacial de los taladros en un gráfico para identificar patrones o agrupamientos.

Tabla 8

Características de distancia horizontal e inclinada

DELTA			DISTANCIA HORIZONTAL	DISTANCIA INCLINADA	NÚMERO
DELTA_N	DELTA_E	DELTA_C	(m)	(m)	TALADROS
-141.16	-283.42	44.19	316.628	320	402
-77.83	-34.33	50.19	85.060	99	265
-132.73	32.22	56.19	136.585	148	239
-169.86	-20.99	68.19	171.152	184	162
-109.54	-111.06	56.19	155.991	166	207

-143.44	-145.83	12.00	204.554	205	114
-109.03	30.85	50.19	113.309	124	67
-90.41	-39.86	56.19	98.807	114	163

Nota: Se presenta cotas de la malla de perforación

3.7.3. Kpi's de voladura de Emulgex

Los KPI's de malla datos están relacionados con mediciones de vibración y sonido generadas por voladuras en minería:

- Secuencia de iniciación:

Varía entre 880 m/s pre corte y 850 m/s secundario

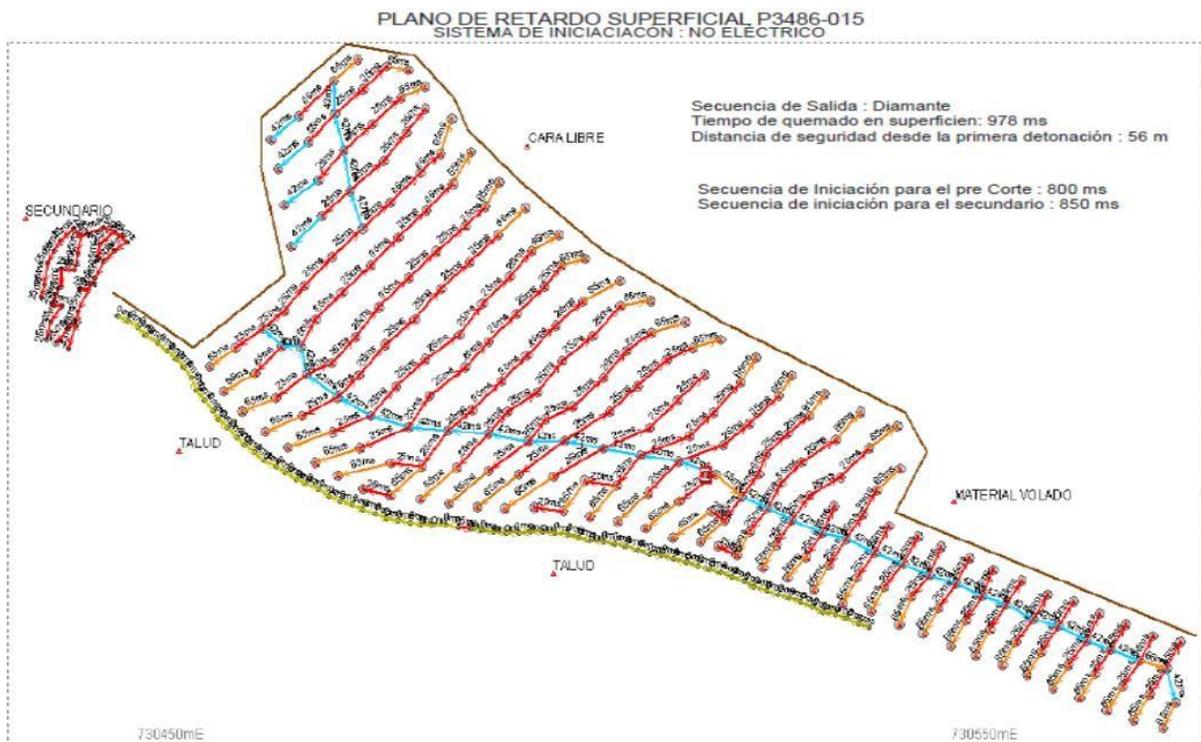


Figura 35

Tiempo de secuencia de detonación

Fuente: Asistencia técnica de Enaex de MLZ (Buenaventura, 2023).

- Desplazamiento de detonación:

Varía entre 810.00 m³ y 1770.00 m³.

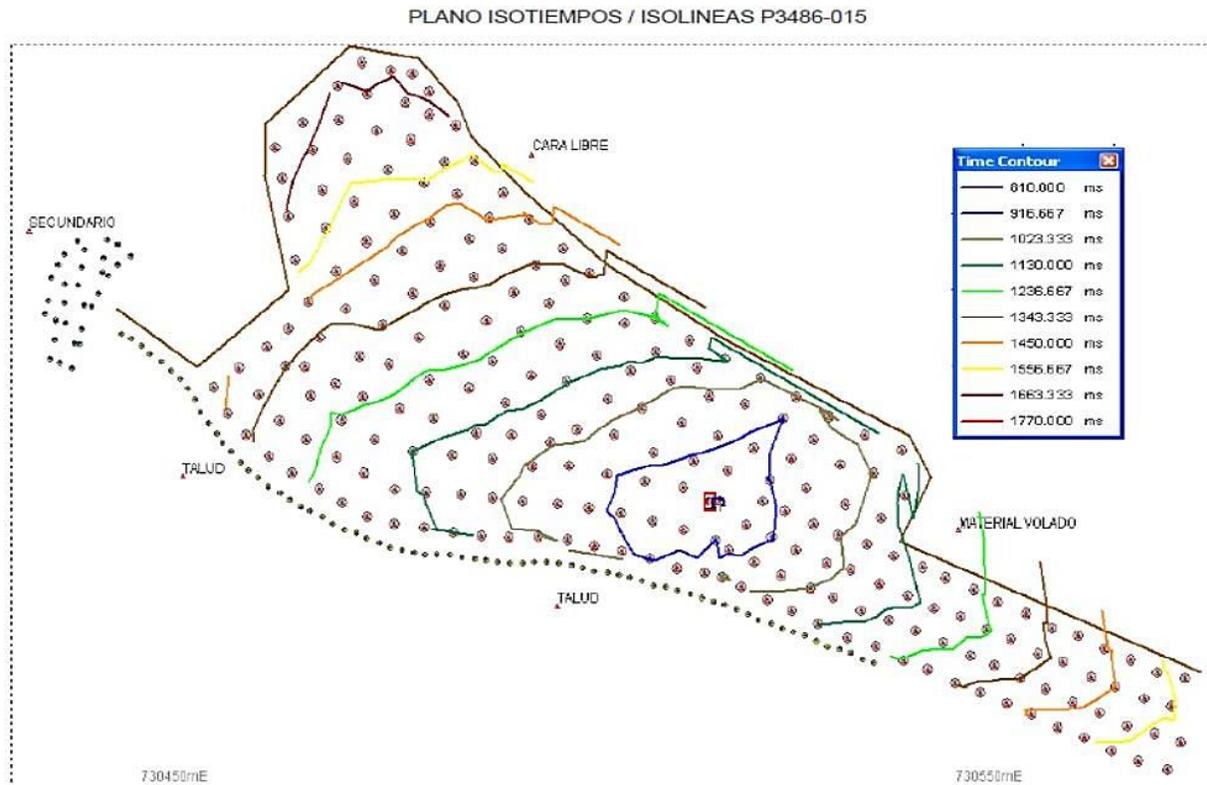


Figura 36

Forma de apilamiento de material

Fuente: Asistencia técnica de Enaex de MLZ (Buenaventura, 2023).



Figura 37

Verificación en campo del diseño de malla

Fuente: Propia



Figura 36

Nota: Post voladura.

Fuente: Asistencia técnica de Enaex de MLZ (Buenaventura, 2023).

- Monitoreo de Vibración

Se requiere conocer la vibración para determinar parámetros de voladura.

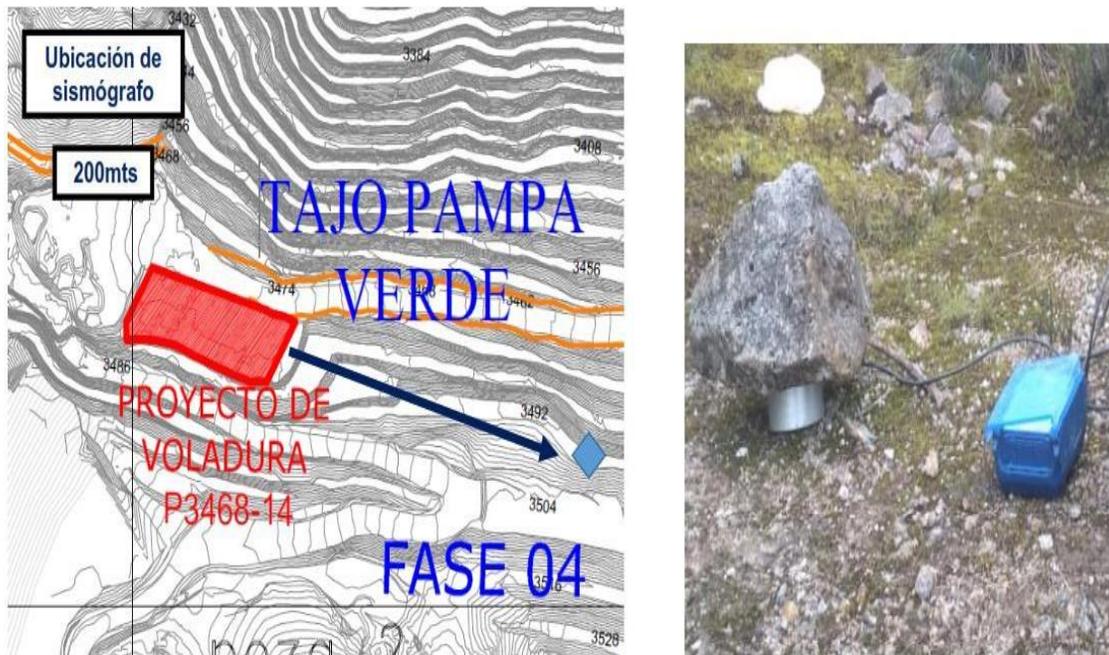


Figura 38

Sismógrafo Instantel fue ubicado a 250 m del proyecto de voladura. Instantel es una empresa que usa geófonos para determinar la velocidad pico partícula de cada voladura, se tiene como resultado la la PPV Tran: 23.355 mm/s, Vert: 24.583 mm/s, Long: 43.555 mm/s.



Origen de activador de Forma de onda
Niveles de activación
Pre activación/Hora de registro
Velocidad de muestra
Nombre de archivo de configuración
Operador
Número de trabajo

Vert en enero 27, 2021 12:34:12
 Geo 0.500 mm/s, Mic 2.00 pa
 0.25 sec/9.0 sec (Auto)
 1024 sps
 factory.MMB
 Operator
 Operator
 1

Número de serie
Número de modelo
Nivel de batería
Calibración de la unidad
Nombre del archivo del evento
Soporte de sensor USB

UM17471
 Micromate ISEE 10.89
 3.5 volts
 octubre 8, 2020 por Instantel
 UM17471_20210127123412.IDFW
 Desactivada

Notas

Location: LA ZANJA
 Client: LA ZANJA
 User Name: LA ZANJA
 General:

Notas post evento No hay texto que mostrar.

Geophone

Velocidad de partícula pico
 Frecuencia paso por cero
 Tiempo (relativo a activación)
 Aceleración pico
 Desplazamiento de pico
 Comprobación del sensor
 Frecuencia
 Proporción de sobre impulso

Tran
 17.364 mm/s
 19.7 Hz
 0.257 sec
 0.454 g
 0.196 mm
 ✓ Superada
 7.1 Hz
 4.8

Vert
 18.680 mm/s
 12.8 Hz
 0.405 sec
 0.351 g
 0.209 mm
 ✓ Superada
 7.5 Hz
 4.5

Long
 21.754 mm/s
 8.8 Hz
 0.307 sec
 0.263 g
 0.291 mm
 ✓ Superada
 7.3 Hz
 4.6

Suma del vector pico 29.275 mm/s en 0.309 sec

Micrófono lineal ISEE

Nivel de presión de sonido pico
 Nivel de presión de sonido pico
 Tiempo (relativo a activación)
 Frecuencia paso por cero
 Comprobación del sensor
 Frecuencia
 Amplitud de la prueba

24.03 pa
 121.6 dB(L)
 0.642 sec
 22.3 Hz
 ✓ Superada
 19.7 Hz
 1460 mv

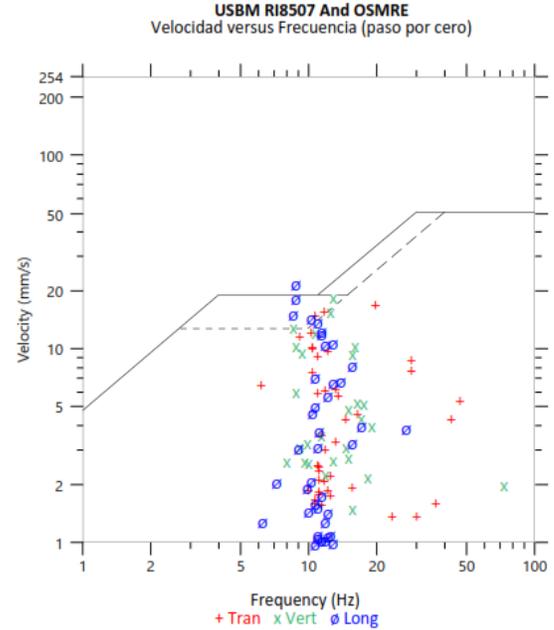


Figura 39

Reporte de Instantel de resultados de vibraciones.

Fuente: Asistencia técnica de Enaex de MLZ (Buenaventura, 2023).

- Frecuencia ZC (Frecuencia Zero Crossing):

Varía entre 7.3 Hz y 19.7 Hz.

La frecuencia Zero Crossing es una medida de la frecuencia de las ondas de presión del aire.

Tabla 9

Características del PPV y AIR BLAST

PPV (mm/s)				AIR BLAST		
TRANS.	VERT.	LONG.	VS	Pa.	dB	dBa
2.04	1.22	2.09	2.34	17.19	118.68	48.28
7.77	10.90	9.12	11.62	152.20	137.63	67.23
13.590	8.394	11.420	15.510	173.00	138.70	68.30
4.36	3.59	3.50	4.80	55.55	128.90	58.50
2.396	3.216	2.735	3.628	64.42	130.20	59.80
1.403	1.789	1.915	2.344	53.39	128.60	58.20
2.85	6.59	5.22	7.83	135.40	136.60	66.20
7.10	7.30	7.30	11.980	179.20	139.00	68.60

Nota: Se presenta las características de la velocidad pico partícula.

- Frecuencia Dominante:

Varía entre 5.19 Hz y 37.31 Hz.

Indica la frecuencia predominante en las mediciones.

- Tipo de Transductor (Geófono):

Todas las mediciones pertenecen al tipo superficial.

Estos datos son esenciales para evaluar el impacto de las voladuras en términos de vibración y ruido en el entorno circundante. Además, el tipo de transductor indica que las mediciones se realizaron en la superficie.

Tabla 10

Características del Frecuencia ZC y Frecuencia Dominante

FRECUENCIA ZC (Hz.)			FRECUENCIA DOMINANTE (Hz.)			
TRANS.	VERT.	LONG.	TRANS.	VERT.	LONG.	VS
45.00	5.60	9.50	5.19	9.22	9.16	9.22
17.00	51.00	26.00	18.34	10.19	17.69	18.34
17.00	14.00	16.00	18.190	37.310	18.470	37.31
19.00	18.00	15.00	13.50	13.59	13.69	13.69
21.00	21.00	17.00	12.50	12.50	7.59	12.50
13.00	19.00	15.00	10.50	10.50	10.53	10.53
17.00	21.00	17.00	19.94	16.06	19.03	19.94
12.00	8.40	10.00	6.13	7.59	11.91	11.91

Nota. Fuente MLZ

3.8. Evaluación técnica del explosivo SAN-G APU**3.8.1. Características técnicas de SAN-G APU****A. Descripción y composición**

La SAN-G APU es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante. El SAN-G APU puede ser sensibilizada en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros con la solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO, también puede ser sensibilizada con ANFO en diferentes proporciones y ser gasificada (Lopez, 2021).

B. Tipos y usos

SAN-G APU ha sido diseñada específicamente para su utilización en operaciones de minería superficial en macizos rocosos con temperaturas que oscilen entre 0 °C y 40 °C. La carga de SAN-G APU se realiza mediante camiones fábrica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., los cuales, a diferencia de las unidades convencionales que cargan ANFO pesado, incorporan un sistema de gasificación de la emulsión matriz. Este sistema está compuesto por una unidad de programación lógica (PLC) que permite la programación precisa de la cantidad de emulsión matriz, ANFO, solución gasificante y agua a dosificar. Además, posibilita el control en tiempo real de la temperatura del agente y la presión de bombeo. El SAN-G APU cuenta con un sistema de seguridad que detiene automáticamente el proceso de bombeo y gasificación cuando la presión de la bomba de trabajo alcanza los 160 psi.

La carga de el SAN-G APU puede realizarse mediante bombeo o por gravedad, directamente desde los camiones fábrica hacia el interior de los taladros. Después de cargar los taladros, se espera aproximadamente 20 minutos para permitir la colocación del "taco" en el taladro.

Entre las ventajas destacadas del SAN-G APU se incluyen:

- La capacidad de uso en terrenos secos, húmedos o inundados, y con rocas de diferente dureza.
- El acoplamiento completo de las columnas explosivas al cargar los taladros, maximizando la liberación de energía.
- La garantía de un trabajo seguro, ya que la emulsión matriz se sensibiliza al final del proceso mecanizado, siendo un producto no explosivo antes de ingresar a los taladros.

- La posibilidad de carga a diferentes densidades y energías para lograr una fragmentación eficiente y mejorar la productividad, desde la extracción en la mina hasta la molienda en la planta o la disposición en las canchas de lixiviación.
- El alto poder rompedor que permite la expansión de las plantillas de perforación y la reducción de costos asociados.
- La capacidad de reducir el tiempo de carga debido a su practicidad.

C. Características técnicas

Tabla 11

Características técnicas explosivo SAN-G APU

Densidad relativa de la matriz (g/cm ³)	1,32 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (g/cm ³)	0,80 a 1,20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales, (cp.) (*)	Min. 12 000
Velocidad de detonación de la matriz sensibilizada (m/s) (**)	4 800 a 5 800
Presión de detonación (kbar)	51 a 98
Energía (kcal/kg)	805
Volumen normal de gases (L/kg)	1 025
Potencia relativa en peso (%) (***)	90
Potencia relativa en volumen (%) (***)	152
Resistencia al agua	Excelente
Categoría de humos	Primera
Diámetro crítico (mm)	76 (3 pulgadas)
Tiempo de permanencia en el taladro (días)	7

Nota. Fuente Famesa 2022

3.8.2. Características de malla de voladura de SAN-G APU

- Tipo de Detonadores:

Se utiliza exclusivamente el tipo de detonador "Intelli Shot 4G" en todas las voladuras. Esto sugiere una consistencia en la elección del sistema de iniciación, lo cual puede ser beneficioso para la sincronización y control de la voladura.

- Malla:

Las dimensiones de la malla varían ligeramente, con valores entre 4.2 y 4.8. Esto indica que se están utilizando mallas de perforación con dimensiones específicas en cada caso.

- Carga Operante:

La carga operante varía en el rango de 119 a 148 Kg. Esto implica que la cantidad de explosivo cargada en los taladros puede ajustarse según las condiciones específicas de cada voladura.

- No hay patrón evidente:

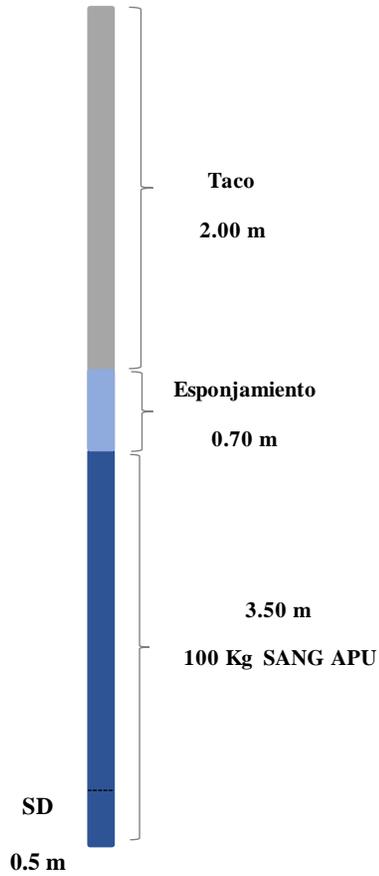
A primera vista, no parece haber un patrón claro entre las dimensiones de la malla y la carga operante. La elección de la carga operante puede depender de factores adicionales no proporcionados en los datos.

- Consistencia en el Uso de Explosivos:

El hecho de que se utilice el mismo tipo de detonador en todas las voladuras indica una consistencia en la elección de explosivos y sistemas de iniciación. Esto puede ser importante para mantener la uniformidad en los resultados de las voladuras.

Tabla 12

Diseño de carga P3432-055– Taladro 9764



Datos de taladro	
ID taladro	9765
Longitud (m)	6.20
Taco inicial (m)	2.70
Taco final (m)	2.00

Características del explosivo	
MMU	ASK-776
Explosivo	SANG APU 100%
Marca explosivo	FAMESA
Kilogramos de explosivo	100.0
Densidad inicial (g/cm ³)	1.303
Densidad final (g/cm ³)	1.072
Esponjamiento	0.70

Datos del iniciador	
Detonador	INTELLISHOT 4G
Tipo iniciador	BOOSTER 1LB
Altura de Booster (m)	0.2
Densidad de la roca	2.52
Factor de potencia (kg/ton)	0.3594

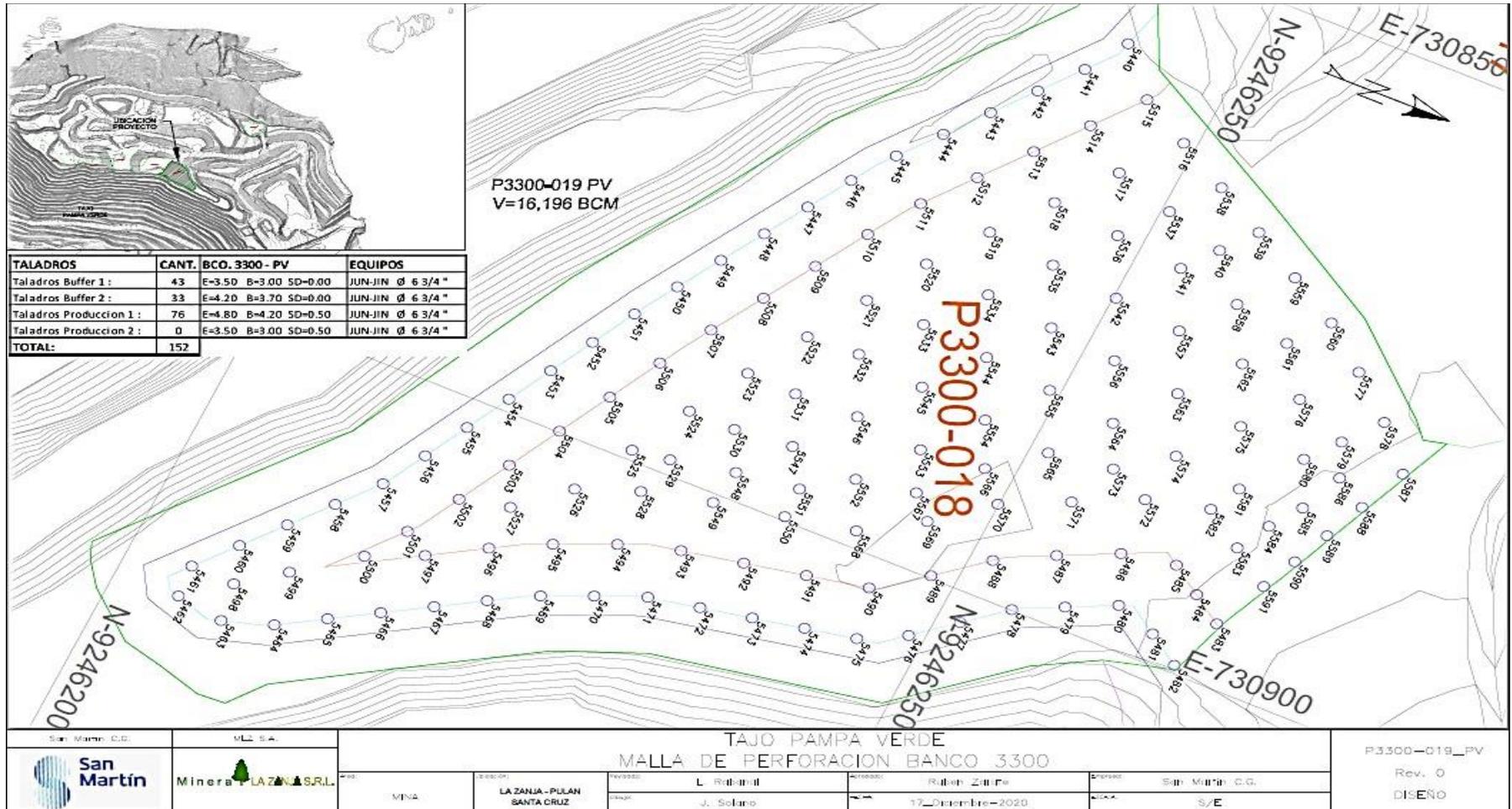


Figura 40

Malla de voladura controlada con San G – APU

Fuente: Información de MLZ

Tabla 13

Características de la malla de perforación

MALLA		CARGA	TIPO DE
B	S	OPERANTE (Kg.)	DETONADORES
4.2	4.8	143	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	130	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	127	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	129	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	148	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	120	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	140	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	115	Intelli Shot 4G
4.2	4.8	135	DaveyTronic
4.2	4.8	115	DaveyTronic
4.2	4.8	107	Intelli Shot 4G

3.8.3. Kpi's de voladura de SAN-G APU.

- Mediciones de PPV:

Uno de los más importantes Kpi's son los valores de PPV, que van desde 0.17 mm/s hasta 12.600 mm/s. Esto indica una variabilidad significativa en la vibración generada por las voladuras.

- Mediciones de Air Blast:

imilarmente, las mediciones de Air Blast muestran una variabilidad considerable en los niveles de presión de sonido (Pa), que van desde 13.96 hasta 220.80 Pa. Estos valores sugieren diferentes niveles de impacto acústico asociado con las voladuras.

- Comparación entre PPV y Air Blast:

No se observa una relación directa entre las mediciones de PPV y Air Blast. Por ejemplo, voladuras con bajos niveles de vibración pueden tener niveles altos de presión de sonido y viceversa. Esto indica que otros factores además de la vibración pueden influir en la generación de ruido durante las voladuras.

- Valor Atípico:

Se identifica un valor atípico en las mediciones de Air Blast y VS (velocidad de vibración) con valores extremadamente bajos de PPV y Air Blast (0.17 mm/s y 63.40 Pa respectivamente). Este valor podría indicar una medición anómala o un escenario particularmente tranquilo en términos de vibración y ruido.

Tabla 14

Características de PPV y Air Blast

PPV (mm/s)				AIR BLAST		
TRANS.	VERT.	LOG.	VS	Pa.	dB	dBa
4.76	1.66	2.27	4.79	18.96	119.54	49.14
11.51	7.43	12.52	12.96	220.80	140.86	70.46
3.51	2.94	6.91	7.52	184.90	139.32	68.92
0.843	0.536	0.772	1.176	189.40	139.53	69.13
7.590	6.305	11.480	13.130	193.00	139.69	69.29
12.600	11.700	13.900	15.980	217.90	140.74	70.34
0.17	0.17	0.44	0.45	63.40	130.02	59.62
2.60	2.00	2.25	2.79	13.96	116.88	46.48

- Frecuencias de ZC:

Se observa una variabilidad en las frecuencias de ZC registradas, con valores que oscilan entre 5.16 Hz y 18.13 Hz. Estos valores indican la frecuencia con la que la señal de vibración cruza el eje temporal cero y proporcionan información sobre la periodicidad de la vibración generada por las voladuras.

- Comparación entre Frecuencias de ZC y Dominantes:

No se observa una relación directa entre las frecuencias de ZC y las frecuencias dominantes. Las frecuencias dominantes pueden ser mayores, menores o similares a las frecuencias de ZC, lo que sugiere una variedad de patrones de vibración asociados con las voladuras.

Tabla 15

Características de frecuencia ZC y Frecuencia dominante

FRECUENCIA ZC (Hz.)			FRECUENCIA DOMINANTE (Hz.)			
TRANS.	VERT.	LOG.	TRANS.	VERT.	LOG.	VS
6.50	12.00	9.00	5.16	12.22	12.38	12.38
17.00	19.00	14.00	18.13	18.44	18.31	18.44
10.00	10.00	10.00	8.28	5.66	8.03	8.28
13.00	15.00	18.00	10.56	16.59	14.42	16.59
5.60	13.00	13.00	5.78	9.34	14.16	14.16
7.30	7.40	7.20	10.56	6.44	10.41	10.56
7.30	7.30	7.30	9.50	9.20	9.80	9.80
7.00	9.30	7.80	10.25	10.50	4.93	10.50

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Resultados EMULGEX

Tabla 16

P80 real y P80 Target

Etiquetas de fila	P80 (pulg)	Target P80 (pulg)
3480-020	7.68	4.2
3480-038	5.59	4.2
3492-002	4.84	4.2
3492-062	4.80	4.2
3480-043	4.79	4.2
3498-040	5.62	4.2
3492-042	4.66	4.2
3462-046	5.10	4.2
3498-078	4.82	4.2
3480-052	3.99	4.2
3580-046	8.80	4.2
3492-044	4.17	4.2
3480-012	4.13	4.2
3504-025	7.90	4.2
3480-031	4.50	4.2
Total general	5.43	4.2

- P80 (tamaño de partícula en el que el 80% pasa):

El P80 es otro indicador clave de la fragmentación y define el tamaño de partícula por encima del cual se encuentra el 80% del material. En este conjunto de datos, el P80 varía desde

3.99 pulgadas hasta 8.80 pulgadas, lo que indica una diversidad en el tamaño promedio de las partículas resultantes de las voladuras y como promedio tenemos 5.23 pulgadas.

- Target P80 (P80 objetivo):

El Target P80 representa el tamaño de partícula deseado para cumplir con los requisitos de procesamiento de la planta. En esta tesis, el Target P80 es de 4.20 pulgadas para todas las muestras, pero medida aceptable se tiene 4.5 pulgadas.

Proyecto N° 3480 – 038

Tabla 17

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION		Proyecto N° 3480 – 038
HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada análisis 4 imágenes
Tamaños Minimos	Pulg	0.028
Tamaños Maximos	Pulg	12.101
Block Analisados	Und	5733
<u>CURVA ACUMULATIVA:</u>		
El 10% Pasa por una Malla	Pulg	0.972
El 25% Pasa por una Malla	Pulg	1.59
El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.671
El 75% Pasa por una malla	Pulg	4.821
El 90% Pasa por una malla	Pulg	7.113
P80	Pulg	5.59

P3480 - 038 PV FASE3- Mineral
Sistema de Iniciación - Electrónico

WipFrag 2010 Build 11 San Martin CGSA - La Zanja - 0196

Fusionada Análisis (4 Imágenes) March 16, 2021, 05:27:21 PM Hora est. del Pacífico de SA

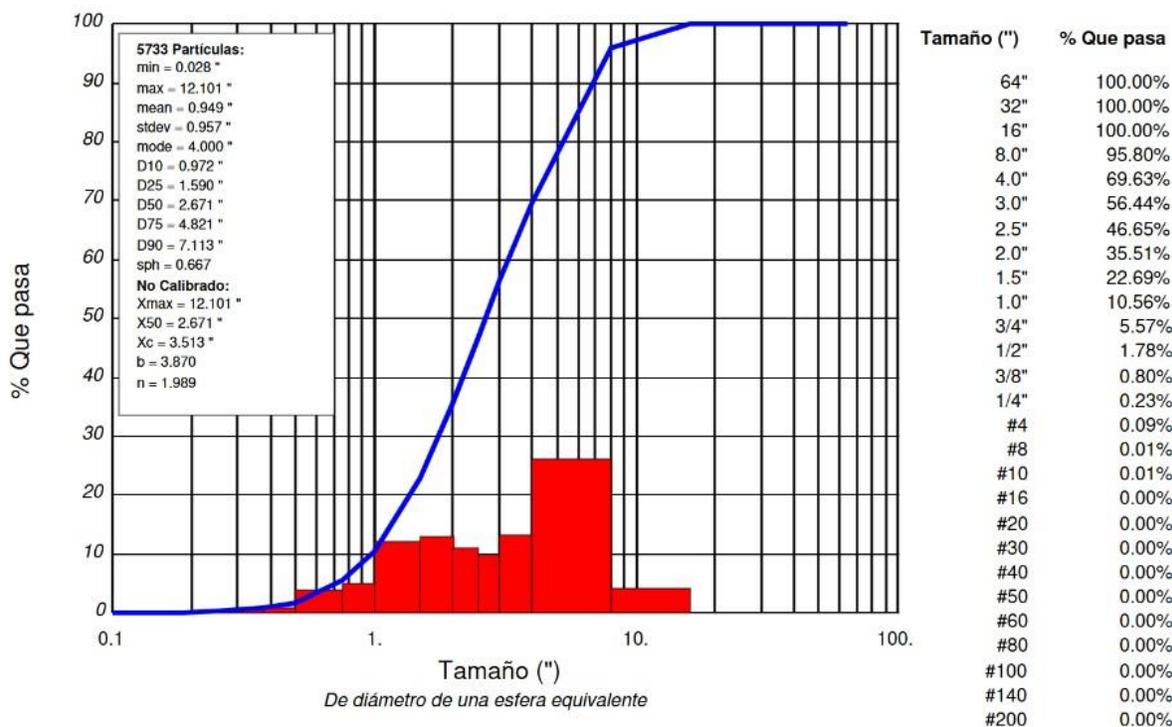


Figura 41

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

Proyecto N° 3498 - 040

Tabla 18

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION P3498-040 SPS		
HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada Análisis 7 imágenes
Tamaños Mínimos	Pulg	0.048
Tamaños Máximos	Pulg	14.02
Block Analizados	Und	19375

<u>CURVA ACUMULATIVA:</u>		
El 10% Pasa por una Malla	- Pulg	0.953
El 25% Pasa por una Malla	Pulg	1.523
El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.613
El 75% Pasa por una malla	Pulg	4.783
El 90% Pasa por una malla	Pulg	7.28
P80	Pulg	5.62

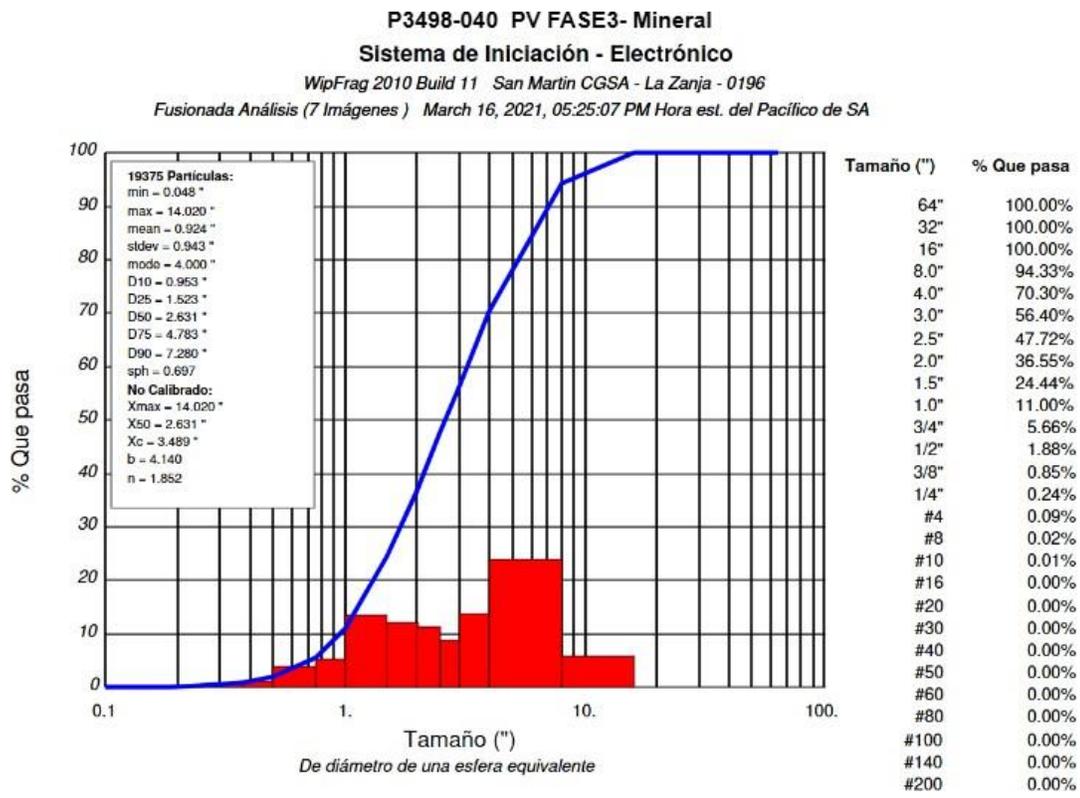


Figura 42

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

Proyecto N° 3492-042

Tabla 19

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION P3492-042 PV MINERAL		
HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada Análisis 5 imágenes
Tamaños Mínimos	Pulg	0.033
Tamaños Máximos	Pulg	8.203
Block Analizados	Und	4147
<u>CURVA ACUMULATIVA:</u>		
El 10% Pasa por una Malla	Pulg	1.228
El 25% Pasa por una Malla	Pulg	1.849
El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.709
El 75% Pasa por una malla	Pulg	3.853
El 90% Pasa por una malla	Pulg	6.288
P80	Pulg	4.66

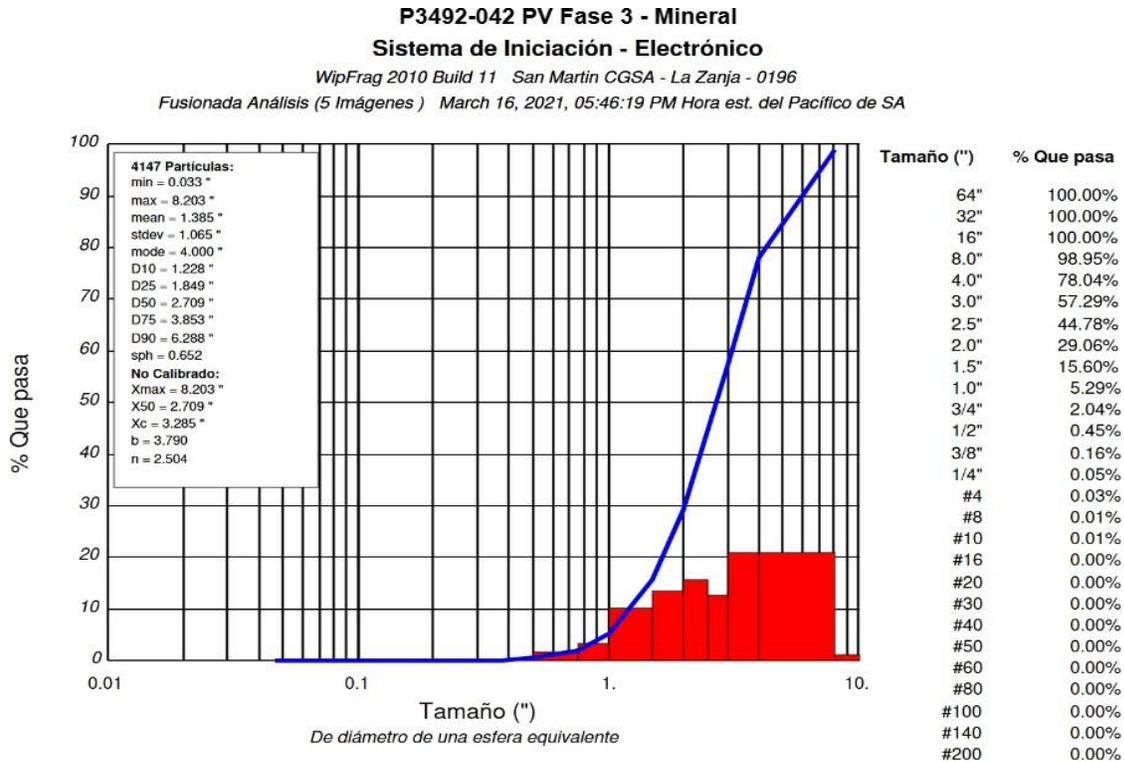


Figura 43

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ



Figura 44

Colocación de esferas rojas para análisis granulométrico

Fuente: Información de MLZ

Proyecto N° 3480-031

Tabla 20

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION Proyecto N° 3480-031 MINERAL

HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada Análisis 4 imágenes
Tamaños Mínimos	Pulg	0.027
Tamaños Máximos	Pulg	6.529
Block Analizados	Und	2630
<u>CURVA ACUMULATIVA:</u>	-	
El 10% Pasa por una Malla	Pulg	1.229
El 25% Pasa por una Malla	Pulg	1.81

El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.683
El 75% Pasa por una malla	Pulg	3.764
El 90% Pasa por una malla	Pulg	5.975
P80	Pulg	4.50

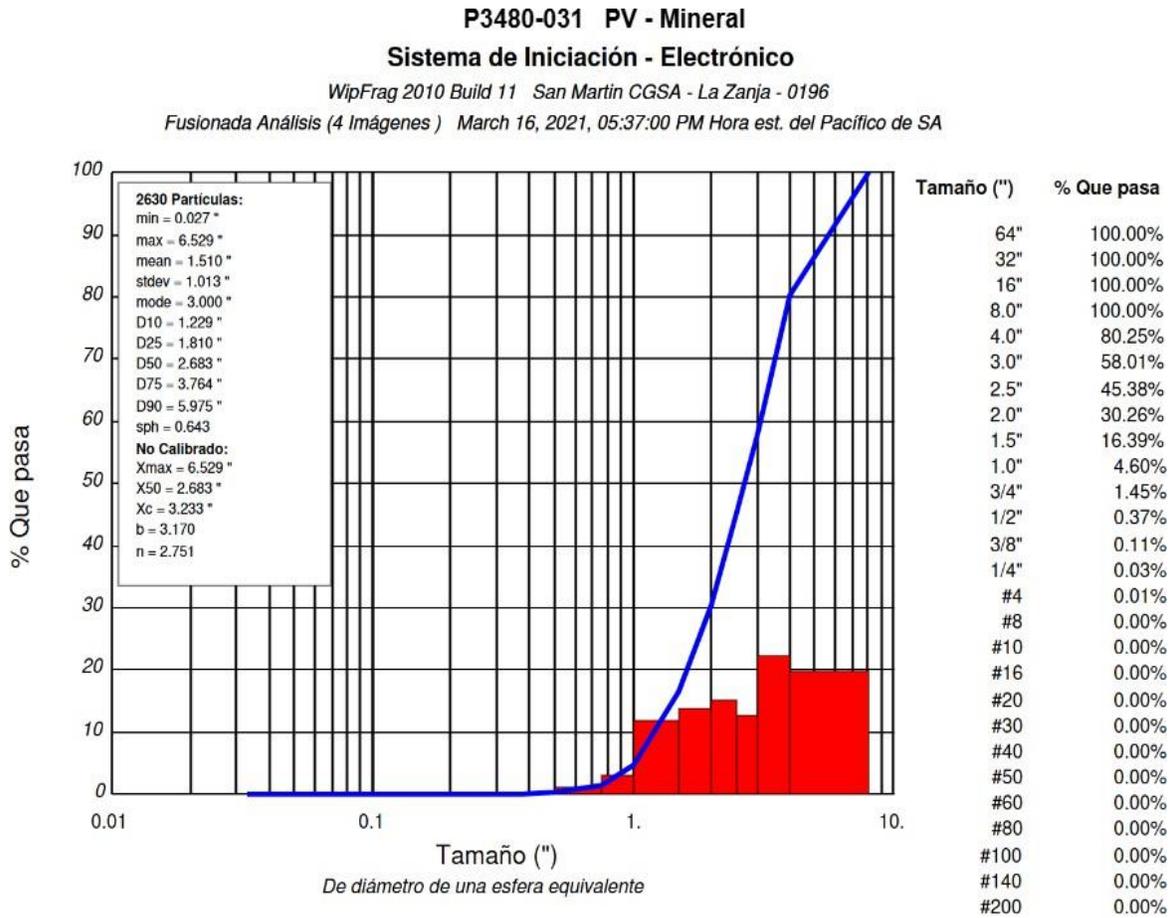


Figura 45

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

1. PM2194_Famesa |
12:06 @ 12:00
06.12.21.p3438_52.pv.mineral

Percent Passing	Value (%)
P100	3.23
P80	2.72
P50	2.05
P20	0.94



2. PM2194_Famesa |
12:06 @ 12:00
06.12.21.p3438_52.pv.mineral

Percent Passing	Value (%)
P100	2.17
P80	1.57
P50	1.10
P20	0.55



3. PM2194_Famesa |
12:06 @ 12:00
06.12.21.p3438_52.pv.mineral

Percent Passing	Value (%)
P100	2.95
P80	2.28
P50	1.65
P20	0.83



4. PM2194_Famesa |
12:06 @ 12:00
06.12.21.p3438_52.pv.mineral

Percent Passing	Value (%)
P100	2.72
P80	1.77
P50	1.18
P20	0.59



2 of 2

Figura 46

Análisis de partículas con el software Wipfrag

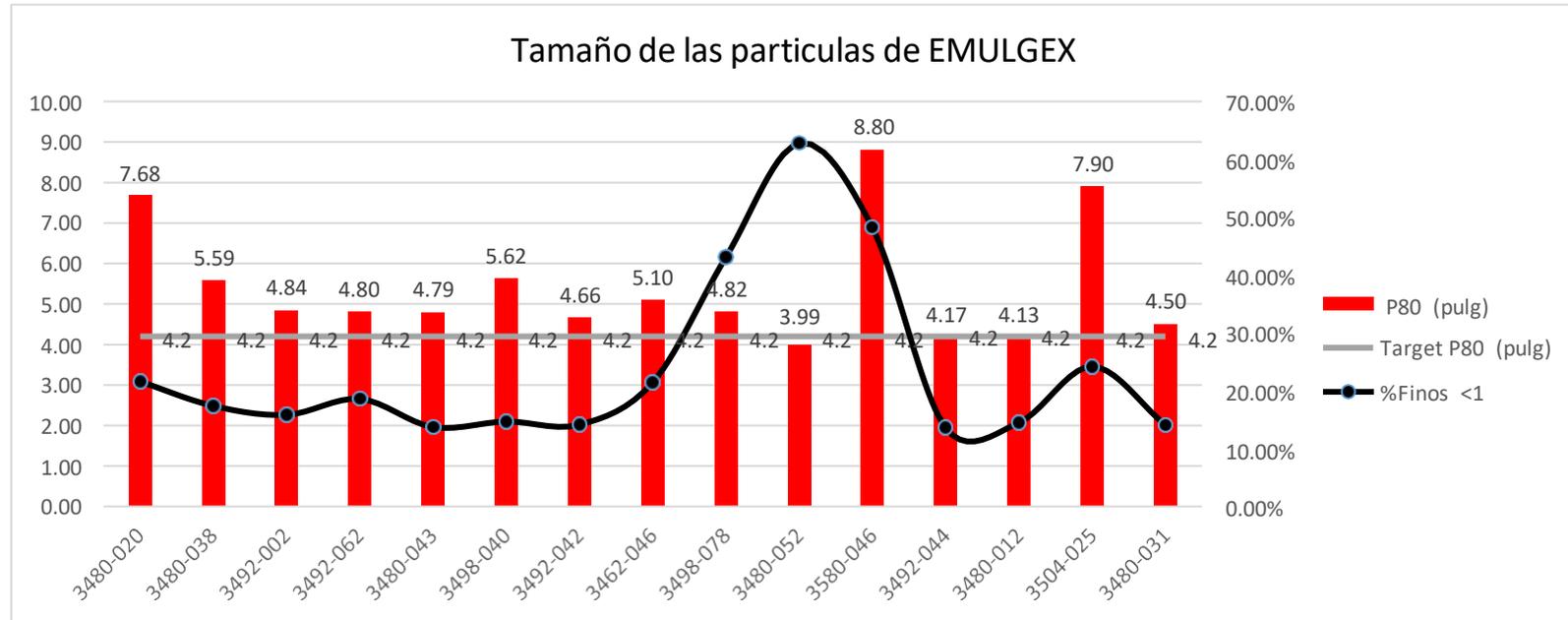
Fuente: Información de MLZ

- Desviación respecto al Target P80:

Al comparar el P80 con el Target P80, se observa que algunas muestras tienen un P80 por encima o por debajo del valor objetivo de 4.20 pulgadas. Esto sugiere que la fragmentación puede no estar completamente optimizada para cumplir con los requisitos de procesamiento de la planta, pero se acepta con 4.5 pulgadas.

Figura 47

Variación del tamaño de la partícula después de la voladura.



Nota. En la figura muestras índices de las diferentes voladuras que hubo en el tajo, y se observa que en promedio se tiene 30% de mineral que llega a la granulometría óptima, así también se observa una granulometría promedio de 5.43 pulg.

4.1.2. Resultados SAN G - APU

Tabla 21

Resultados de mediciones de granulometría

Etiquetas de fila	P80 (pulg)	Target P80 (pulg)
3432-055	6.22	4.20
3474-022	4.83	4.20
3474-023	4.84	4.20
3468-018	4.80	4.20
3444-043	4.79	4.20
3480-017	4.86	4.20
3492-016	4.63	4.20
3462-023	5.15	4.20
3462-024	3.82	4.20
3456-029	2.29	4.20
3444-046	2.80	4.20
3456-030	3.67	4.20
3486-014	4.16	4.20
3462-025	2.60	4.20
3474-033	4.56	4.20
Total general	4.44	4.20

- P80 (tamaño de partícula en el que el 80% pasa):

El P80 es un indicador clave de la distribución del tamaño de partícula y afecta directamente la eficiencia del procesamiento en la planta. Aquí, el P80 varía desde 2.29 pulgadas hasta 6.22 pulgadas, lo que indica una amplia variabilidad en la fragmentación entre las diferentes muestras, como promedio tenemos 4.44 pulgadas medida que cumple con el requerimiento.

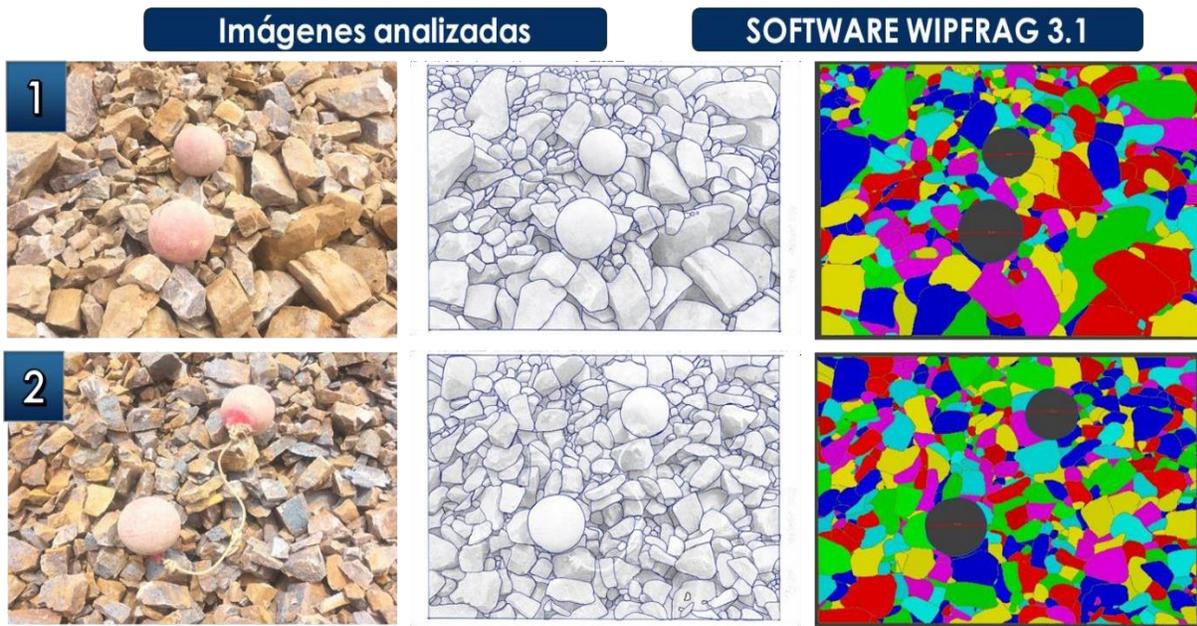


Figura 48

Análisis Granulométrico voladura 1

Nota. Se mide la granulometría con el nuevo explosivo

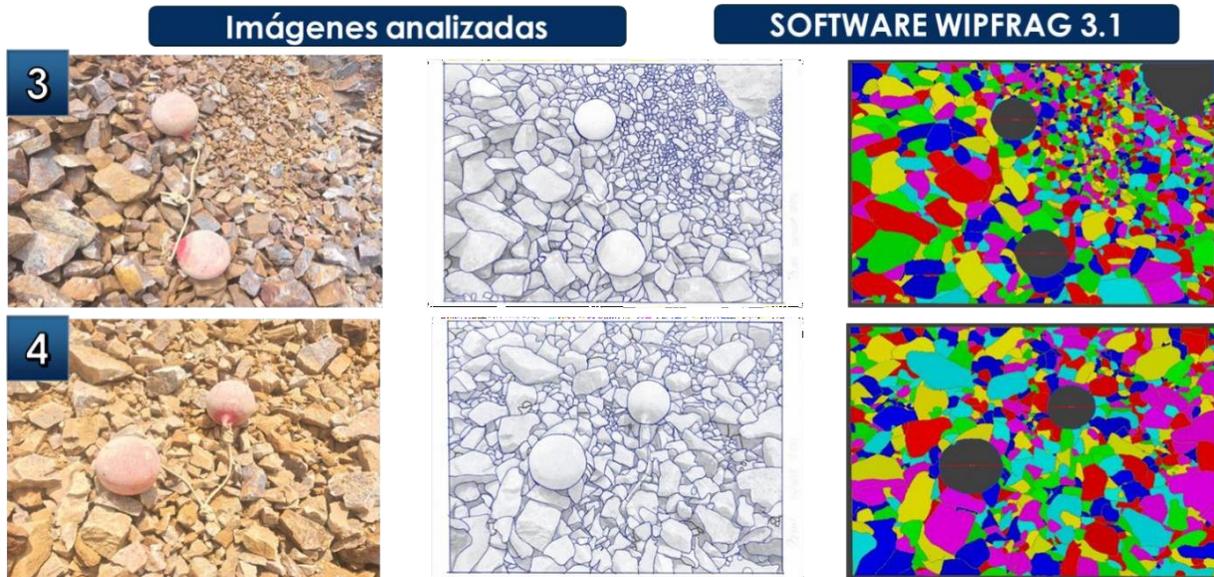


Figura 49

Análisis Granulométrico voladura 2

Nota. Se mide la granulometría con el nuevo explosivo

- Target P80 (P80 objetivo):

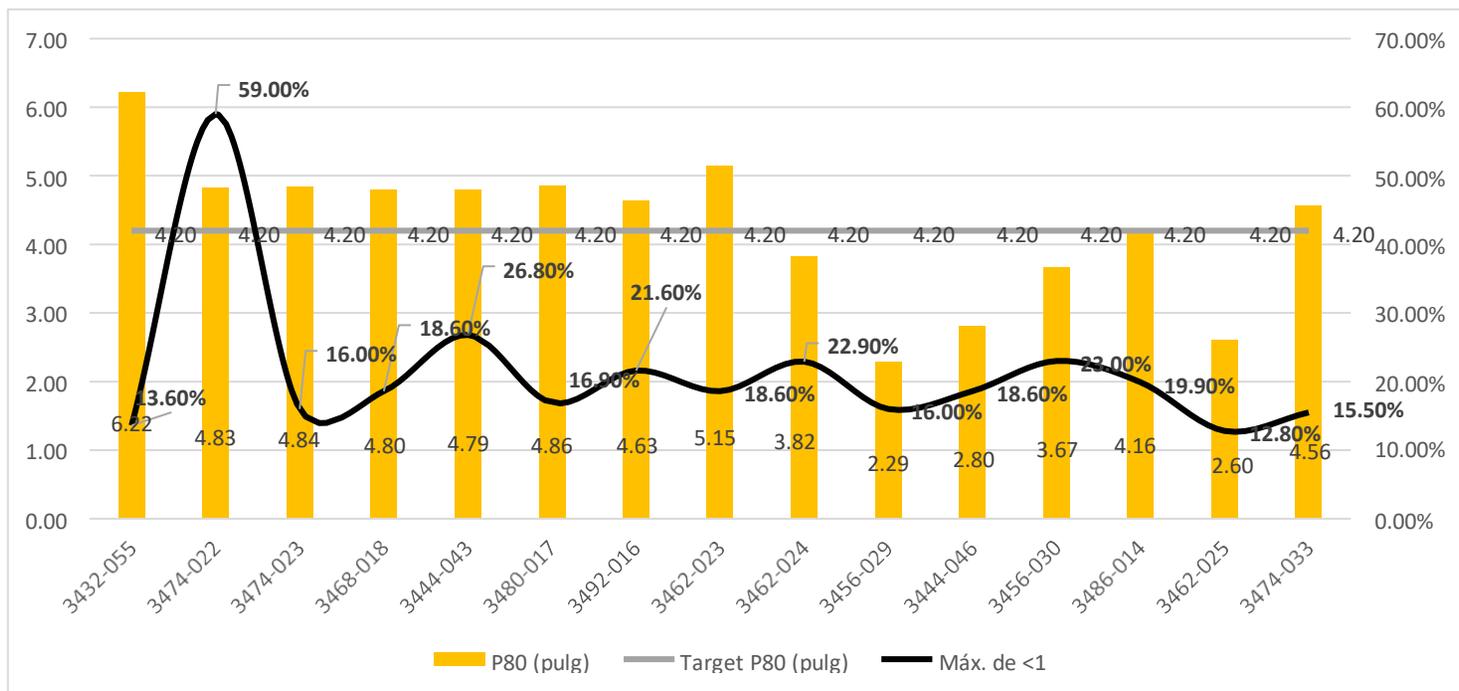
El Target P80 representa el tamaño de partícula deseado para cumplir con los requisitos de procesamiento de la planta. En este caso, el Target P80 es de 4.20 pulgadas para todas las muestras, pero se tiene 4.5 pulgadas aceptado por planta

- Desviación respecto al Target P80:

Al comparar el P80 con el Target P80, se observa que algunas muestras tienen un P80 por encima o por debajo del valor objetivo de 4.20 pulgadas. Esto sugiere que la fragmentación puede no estar completamente optimizada para cumplir con los requisitos de procesamiento de la planta.

Figura 50

Variación del tamaño de la granulometría



Nota: En la figura se grafica índices de las diferentes voladuras que hubo en el tajo, y se observa que en promedio se tiene 45% de mineral que llega a la granulometría óptima, así también se observa una granulometría promedio de 4.44 pulgadas.

4.1.1. Análisis de la evaluación técnica del Emulgex y SAN-G APU

Ambas evaluaciones técnicas proporcionan información crucial sobre la eficacia de la fragmentación utilizando Emulgex y SAN-G APU. Se observa una variabilidad en la fragmentación entre las diferentes muestras, lo que sugiere la necesidad de ajustes en los diseños de voladuras y la selección de explosivos para optimizar la eficiencia del proceso. Además, se destaca la importancia de monitorear y ajustar continuamente los parámetros de voladura para cumplir con los requisitos de procesamiento de la planta y garantizar una fragmentación adecuada del material, así mismo se destaca la mejor fragmentación de San G – APU para la óptima recuperación del mineral teniendo una diferencia de 0.7 pulgadas y siendo la mejor opción el explosivo mencionado.

En la evaluación técnica se ha determinado que la mezcla explosiva San G – APU mejora la fragmentación en un 4.44 de medición promedio.

Proyecto N° 3480-017

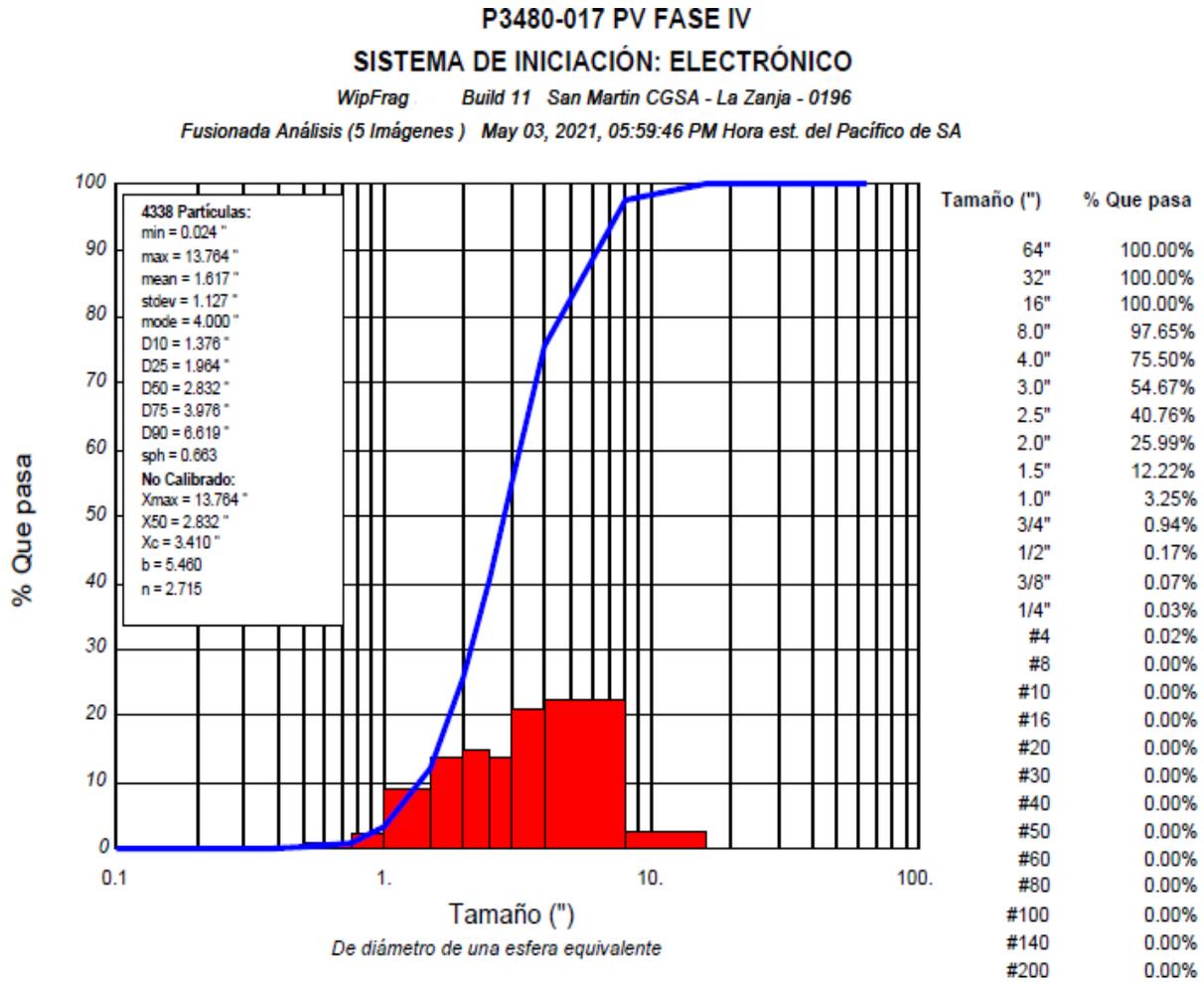


Figura 51

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

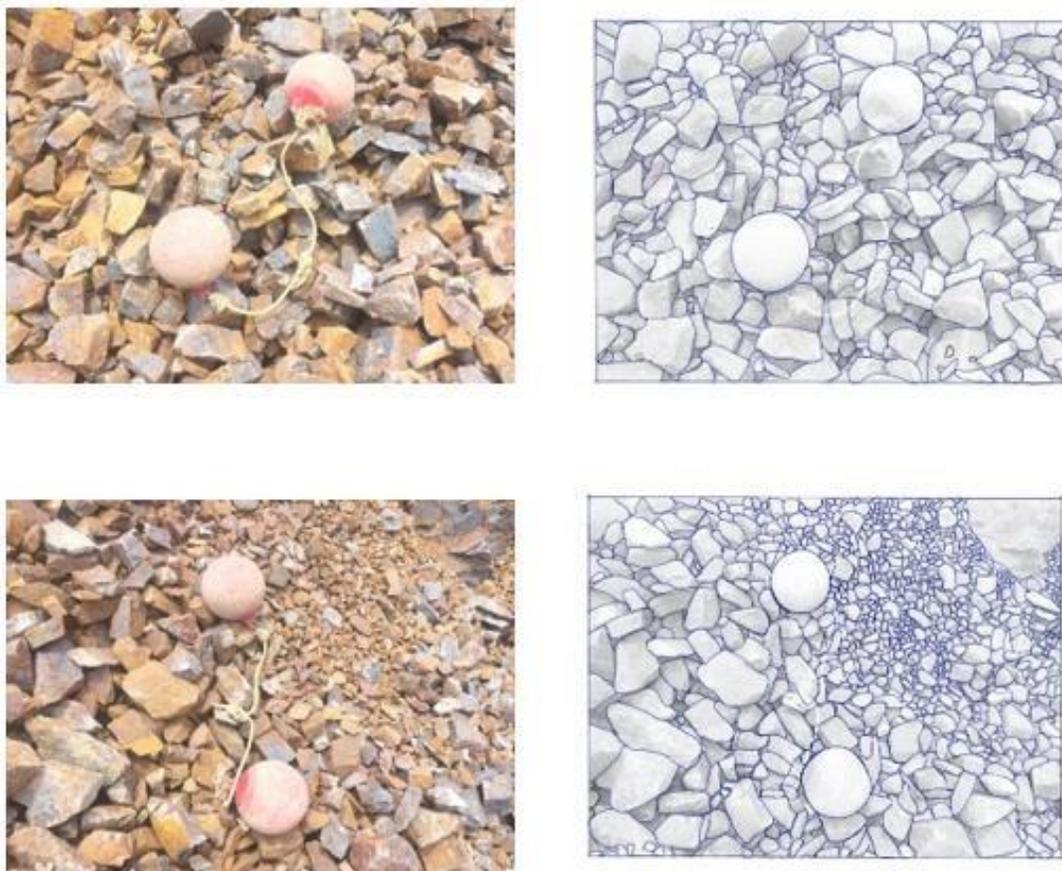


Figura 52

Análisis de partículas con el software en campo

Fuente: Información de MLZ

Tabla 22

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION P3480-017 PV		
MINERAL		
HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada Análisis 5 imágenes
-	-	
Tamaños Mínimos	Pulg	0.024
Tamaños Máximos	Pulg	13.764
Block Analizados	Und	4338

<u>CURVA ACUMULATIVA:</u>		
El 10% Pasa por una Malla	Pulg	1.376
El 25% Pasa por una Malla	Pulg	1.964
El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.832
El 75% Pasa por una malla	Pulg	3.976
El 90% Pasa por una malla	Pulg	6.619
P80	Pulg	4.86

Proyecto N° 3486-014

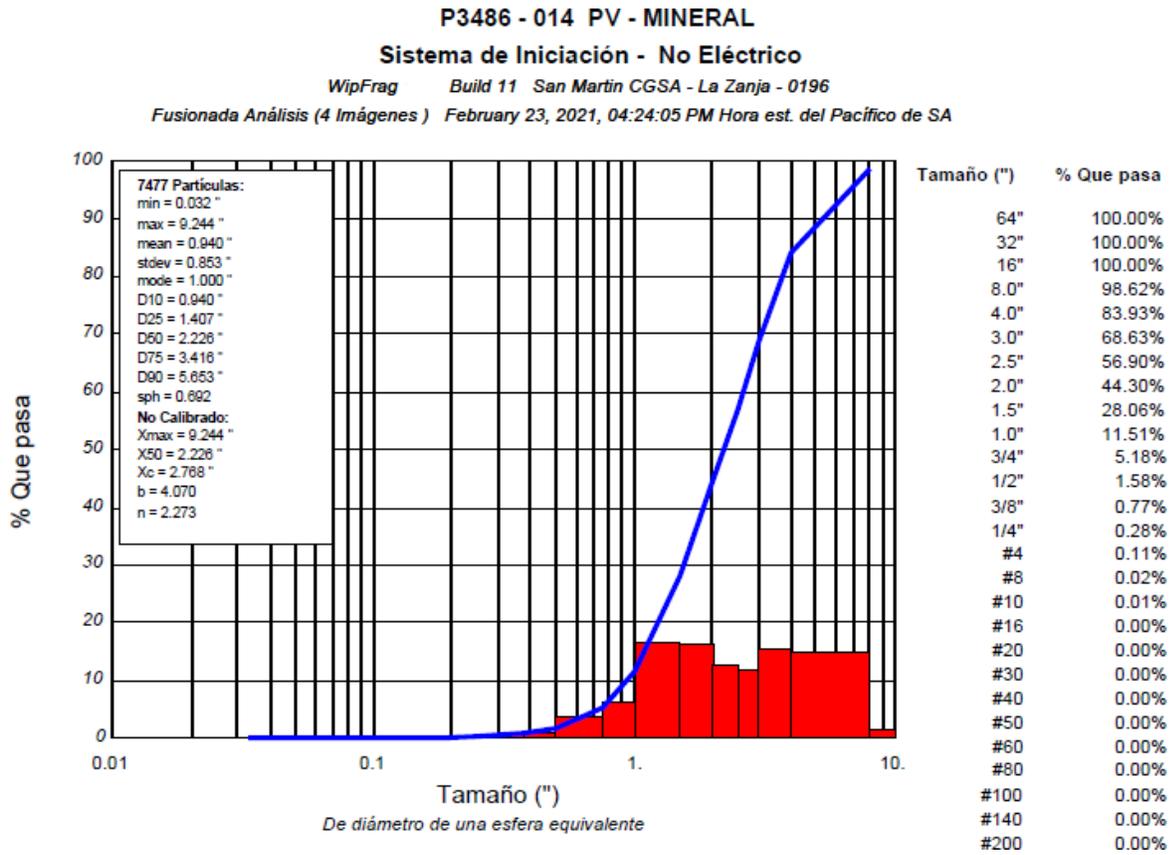


Figura 53

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

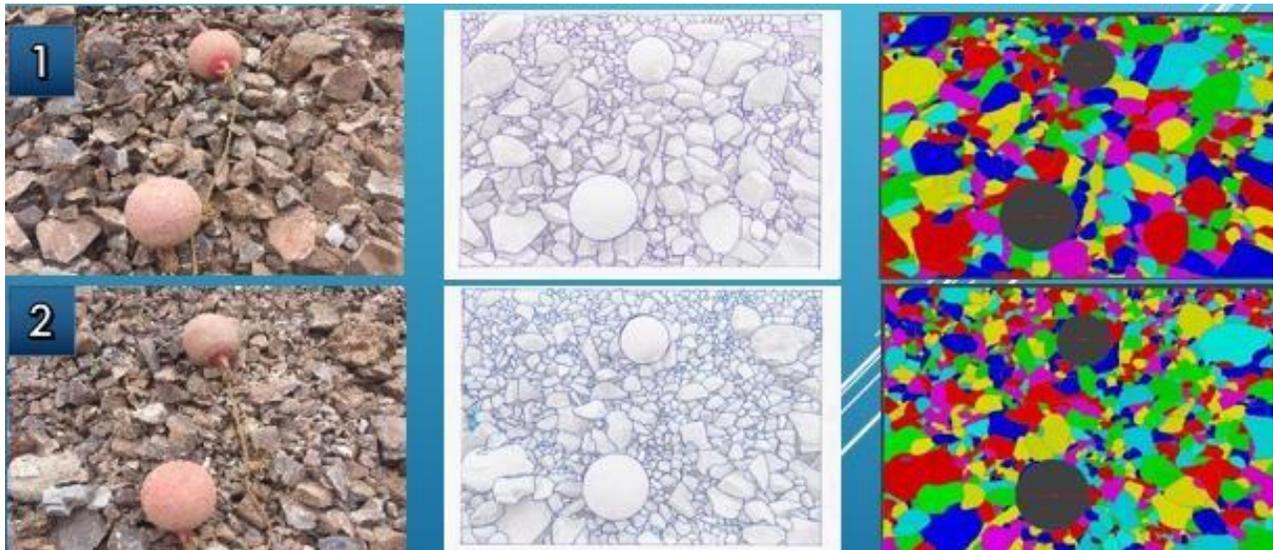


Figura 54

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

Tabla 23

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION P3486-014 PV MINERAL		
HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada Análisis 4 imágenes
-	-	
Tamaños Mínimos	Pulg	0.032
Tamaños Máximos	Pulg	9.244
Block Analizados	Und	7477
<u>CURVA ACUMULATIVA:</u>		
-	-	
El 10% Pasa por una Malla	Pulg	0.94
El 25% Pasa por una Malla	Pulg	1.407
El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.226
El 75% Pasa por una malla	Pulg	3.416
El 90% Pasa por una malla	Pulg	5.653
P80	Pulg	4.16

P3492-016 - MINERAL

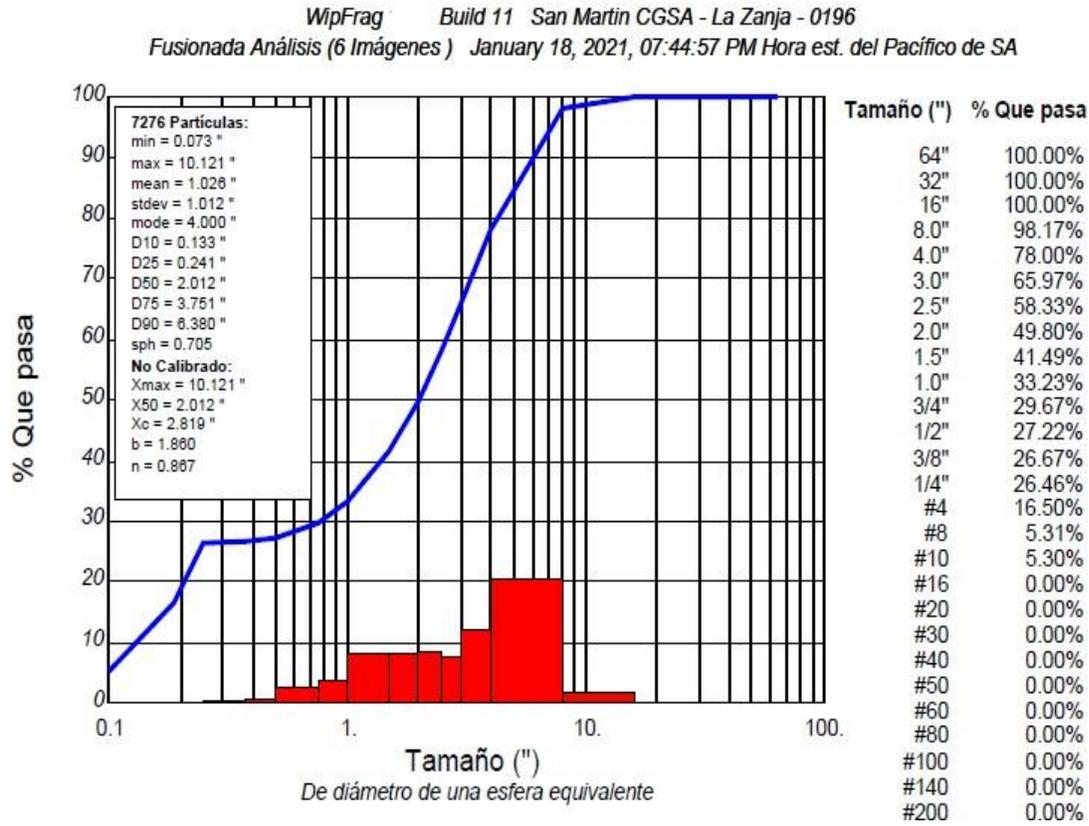


Figura 55

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

Tabla 24

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION P3492-016 PV MINERAL		
HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada Análisis 6 imágenes
- Tamaños Mínimos	- Pulg	0.073

Tamaños Máximos	Pulg	10.121
Block Analizados	Und	7276
<i>CURVA ACUMULATIVA:</i>		
El 10% Pasa por una Malla	Pulg	0.133
El 25% Pasa por una Malla	Pulg	0.241
El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.012
El 75% Pasa por una malla	Pulg	3.751
El 90% Pasa por una malla	Pulg	6.38
P80	Pulg	4.63

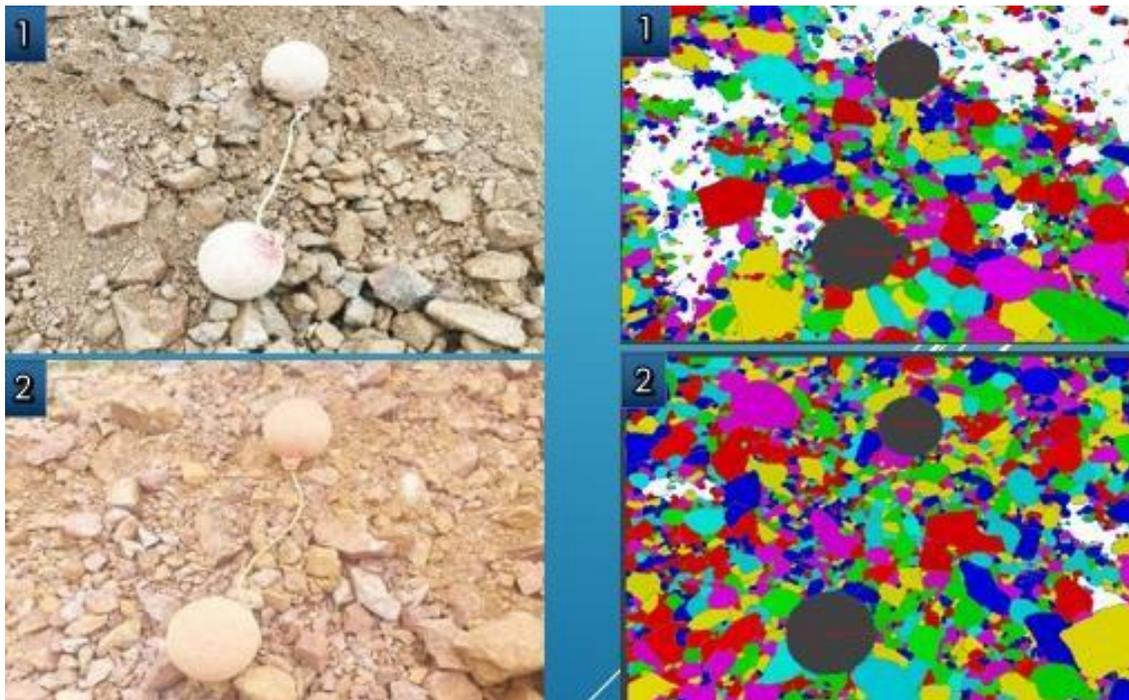


Figura 56

Análisis de partículas con el software Wipfrag en campo.

Fuente: Información de MLZ

Proyecto N° 3374 – 033

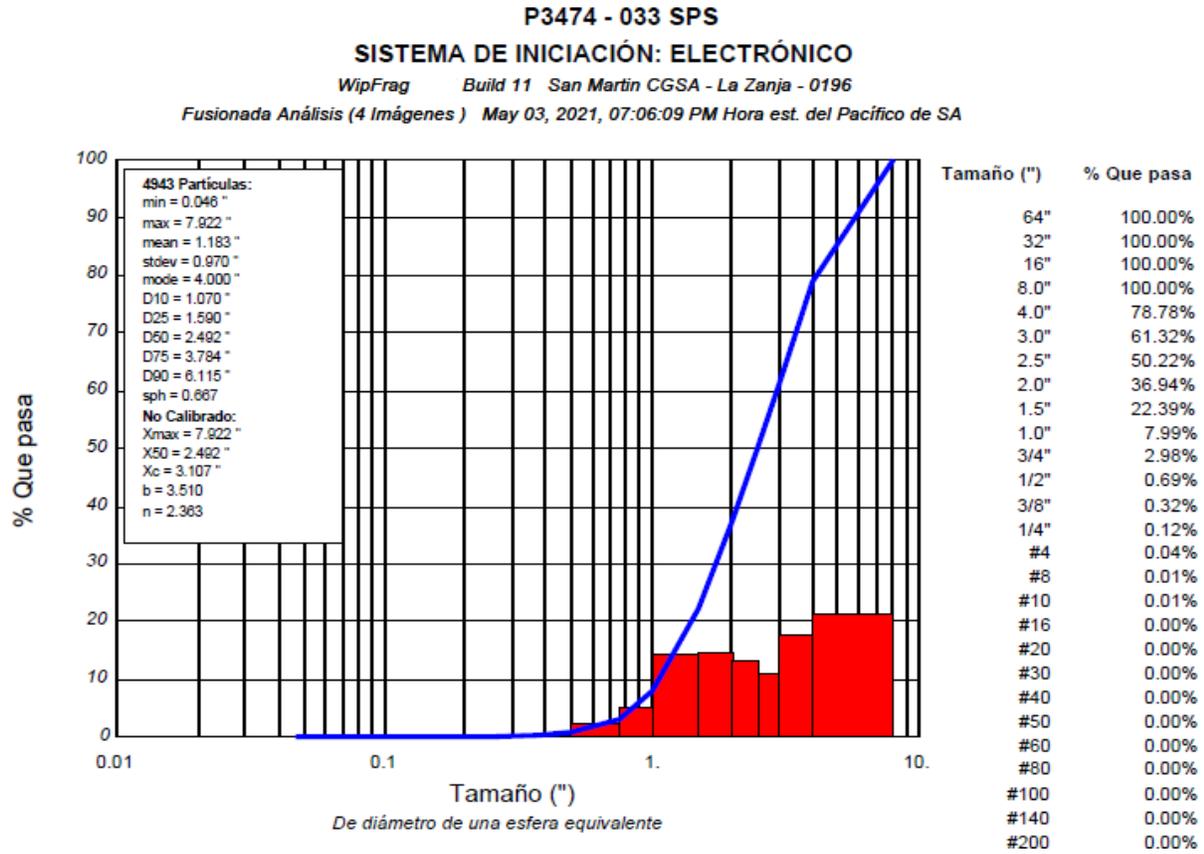


Figura 57

Análisis de partículas con el software Wipfrag

Fuente: Información de MLZ

Tabla 25

Cuadro de fragmentación

CUADRO DE FRAGMENTACION P3474-033 PV		
MINERAL		
HISTOGRAMA:	Und.	Fusionada Análisis 4 imágenes
Tamaños Mínimos	Pulg	0.046
Tamaños Máximos	Pulg	7.922
Block Analizados	Und	4943
<u>CURVA ACUMULATIVA:</u>		
El 10% Pasa por una Malla	Pulg	1.07

El 25% Pasa por una Malla	Pulg	1.59
El 50% Pasa por una Malla	Pulg	2.942
El 75% Pasa por una malla	Pulg	3.784
El 90% Pasa por una malla	Pulg	6.115
P80	Pulg	4.56

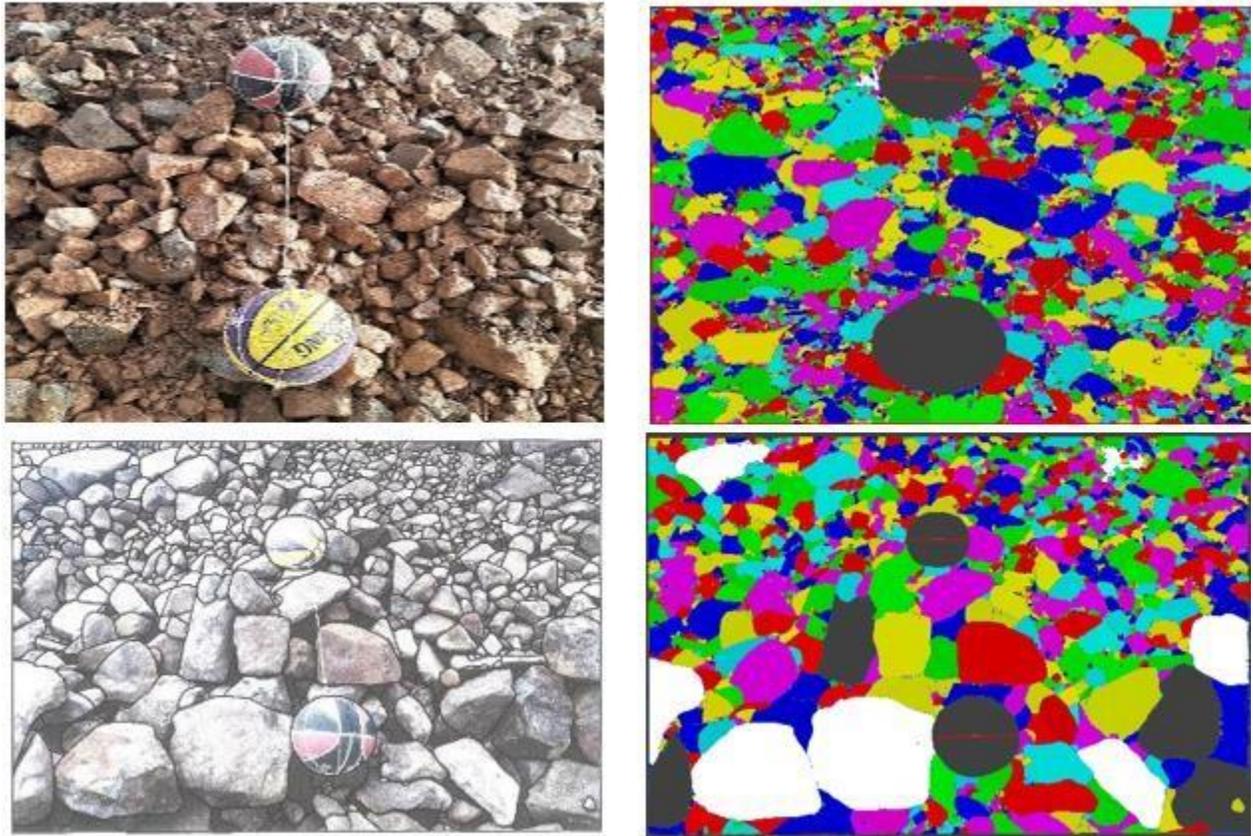


Figura 58

Análisis de partículas con el software Wipfrag en campo.

Fuente: Información de MLZ

Tabla 26

Comparación de ambos explosivos

Objetivo	Disparo	Fecha	Banco	Proyecto	Diseño de carga	Mezcla explosiva	Densidad (gr/cc)	Carga (kg/tn)	Xc (pulg)	n	P80 (pulg)	Porcentaje de Mejora de Fragmentación
Fragmentación	4	11/09/2021	3744	P2	Producción	Emulgex	1.3 - 1.4	0.25	3.21	1.35	5.23	15%
	6	12/09/2021	3744	P2	Producción	San G - APU	0.8 - 1.2	0.32	2.92	1.23	4.44	

Nota. La tabla 17 muestra la comparación de las características de ambos explosivos y la mejora del 15% usando el San G – APU y con un 15% de llegar al objetivo de 4.20.

4.2. Contratación de la hipótesis

En la presente investigación se constata que la evaluación técnica para el cambio de explosivo es factible por reducir la granulometría de la roca fracturada lo que, valida la hipótesis de la tesis, asimismo se ha realizado las mediciones en campo y se observa una optimización de 2 pulgadas aproximadamente como resultado se tiene 4.44 pulgadas como granulometría promedio lo que resulta de las mallas de voladura de la mezcla explosiva San G - APU.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se evaluó técnicamente y se optimizó la fragmentación, concluyendo que la evaluación técnica evidenció una mejora significativa con la disminución del P80 de 5.23 a 4.4 pulgadas, utilizando el explosivo San G – APU.

Los parámetros de perforación y voladura se establecieron con un factor de potencia real de 0.33 kg/t, un factor de potencia teórico de 0.34 kg/t, una altura de taladro de 6.5 m, un taco de 2.8 m, un diámetro de taladro de 6.75 pulgadas, un burden de 4 m, un espaciamiento de 4.6 m y una sobre perforación de 0.50 m.

Se concluyó que al analizar la granulometría de la roca fracturada con los explosivos Emulgex y San-G APU, se observó una diferencia de 0.7 pulgadas entre los explosivos, lo cual es notable en términos operativos, dado que el objetivo era alcanzar 4.5 pulgadas.

Finalmente, se determinó que, al evaluar los parámetros de perforación y voladura de los explosivos San-G APU y Emulgex, el San-G APU optimizó significativamente la fragmentación.

5.2. Recomendaciones

Se recomendó al área operativa de la Unidad Minera La Zanja la implementación del explosivo San G – APU, debido a que mejoró la fragmentación y presentó un desempeño superior en su utilización. Durante la fase de ejecución, se evidenció una mejora significativa con la disminución del P80 en 07 pulgadas, alcanzando hasta 4.4 pulgadas en fases posteriores. En consecuencia, se sugirió que futuros tesisistas realicen investigaciones comparativas con otras mezclas explosivas para evaluar un mejor rendimiento a un menor costo.

Se recomendó comparar los resultados de la evaluación técnica, en la cual se obtuvo que el explosivo San G- APU tiene un P80 de 4.44 pulgadas y el Emulgex presenta un P80 de 5.23 pulgadas, con otras investigaciones para analizar la viabilidad de cambiar el explosivo.

Asimismo, se sugirió a otros tesisistas llevar a cabo un análisis de costos unitarios para validar el explosivo, considerando la correlación entre el tipo de explosivo y el costo operativo óptimo para el desarrollo de las voladuras.

Finalmente, se recomendó realizar otros diseños de mallas con mayor burden, espaciamiento y utilizando otras mezclas explosivas, como el Anfo pesado, para incrementar la potencia del explosivo y comparar los resultados con esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcázar, P. (2017). Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna.
- Altamirano, A. (2014). Diseño de tronadura en una fase - aplicación a minería continua - Codelco - División Andina. Santiago de Chile.
- Baca, M. (2021). Diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la Unidad Minera San Cristóbal. Huancayo.
- Beraun, K. (2019). Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336-Sociedad Minera El Brocal Colquijirca 2018. Huancayo.
- Buenaventura. (2023). Minera La Zanja exploraciones. MLZ.
- Chugá, A. (2017). Proyecto Integrador “Análisis Comparativo Entre El Método De Voladura Convencional Y Gasificada Utilizada En La Mina Cuajone – Southern. Universidad Central del Ecuador.
- Condori, M. (2021). Optimización de perforación y voladura por el método de Roger Holmberg en minera aurífera Estrella de Chaparra S.A. Arequipa.
- Díaz, J. (2022). Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. Colombia: UNAL.
- Diccionario de Geología. (2020). Conceptos básicos de ciencias de la Tierra. Editorial Técnica.
- Explosivos S.A. (2019). Manual práctico de voladura. Lima: EXSA.

- García, J. (2017). Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San- G en el tajo Chalarina de la mina Shauindo – Cajabamba. Universidad Nacional del centro.
- Gutiérrez, J. (2022). Aplicación de la emulsión gasificable para mejorar la voladura en la mina a tajo abierto Santa Rosa. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Jeremías, K. (2020). Diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en mina Paola de compañía minera San Lucas S.A.C. Huancayo.
- Llerena, A. (2021). Optimización del proceso de Perforación y Voladura en una mina dedicada a la extracción metálica a pequeña escala en la comunidad La Fortuna, Ponce Enríquez. Escuela Superior Politécnica Del Litoral.
- López, J. (2021). Empleo de la emulsión gasificable Sang Apu para minimizar costos de voladura en minera La Zanja. UNC.
- Ugaz, C. (2021). Influencia económica por la aplicación de la emulsión gasificada Sang Apu en los taladros de voladura de minera Coimolache S.A. Cajamarca: UNC.

ANEXOS

1. Ficha técnica de mezclas explosivas.
2. Planos.
3. Fotos de campo
4. Autorización de uso de datos de la empresa



Octubre 2021
Ficha Técnica v. 0218

ANFO PESADO BOMBEABLE Y VACIABLE GASIFICADO

DESCRIPCIÓN

EMULTEX es una emulsión tipo agua en aceite para la fabricación de Anfo pesado bombeable y vaciable gasificado, mediante su mezcla in situ con Anfo en diferentes proporciones, para lograr una mayor eficiencia del explosivo en ciertas condiciones adversas al terreno.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Emulgex	Características
Densidad (g/cc)	1.30 - 1.40
Color	Café opaco
Aspecto	Emulsión
Viscosidad (cp)*	120,000 - 250,000
T° de inflamación (°C)	≥ 70
Solubilidad	Insoluble en agua
Duración máxima (días)**	30

(*) Viscosidad medida con viscosímetro Brookfield, spindle ST-05 a 2.5 rpm, a 20-25°C
(**) En condiciones normales de transporte, almacenamiento y manipulación

Nota: La información contenida corresponde a datos de laboratorio. Para fines de análisis y resultados en terreno, consultar con su representante de Enaex.

INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Clasificación internacional
Clase 5.1
N° NU: 3375
HDS-MAT-17

USOS

El uso principal de la matriz Base Emultex®, es la fabricación de mezclas explosivas como Anfos pesados bombeables y vaciables gasificables.

PRESENTACIÓN

La matriz Base Emultex®, es la fabricación de mezclas explosivas como Anfos pesados bombeables y vaciables gasificables

FABRICACIÓN

- Planta Río Loa, Enaex Servicios S.A
- Planta Prilex®, Enaex S.A
- Planta Teatinos, Enaex Servicios S.A



**¿Quieres ponerte
en contacto con
nuestros expertos?**

Enaex S.A.
Calle El Trovador 4253, Las Condes
Santiago.
Tel : (56-2) 28377600
Email : inf.avs@enaex.com
www.enaex.com

ADVERTENCIA

Enaex S.A. sólo se responsabilizará por la información indicada en este catálogo, y no será en ningún caso responsable por daños, pérdidas o cualquier contingencia derivada del uso de los productos, salvo aquellas expresamente indicadas por la legislación Chilena vigente. El uso de explosivos está regulado en cada país por leyes propias. Enaex S.A. se reserva el derecho de modificar sus productos, sin aviso previo.





AGENTES DE VOLADURA

SAN-G APU®

EMULSIÓN / HIDROGEL A GRANEL NO SENSIBILIZADA

Descripción y composición

La SAN-G APU® es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante.

La SAN-G APU® puede ser sensibilizada en las operaciones mineras antes de su cargulo en los taladros con la solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO, también puede ser sensibilizada con ANFO en diferentes proporciones y ser gasificada.

Tipos y usos

La SAN-G APU® se ha diseñado especialmente para ser usado en minería superficial en macizos rocosos cuya temperatura esté comprendida entre 0 °C y 40 °C.

La SAN-G APU® debe ser cargada por camiones fábrica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. que a diferencia de las unidades convencionales que cargan ANFO pesado, están provistos de un sistema de gasificación de la emulsión matriz, constituido por una unidad de programación lógica (PLC) que permite programar la cantidad de emulsión matriz, Anfo, solución gasificante y agua a

dosificar; así como controlar en tiempo real la temperatura del agente y la presión de bombeo. Posee un sistema de seguridad que detiene automáticamente el proceso de bombeo y gasificación cuando la presión de la bomba de trabajo alcanza 160 psi.

La SAN-G APU® puede ser cargado mediante bombeo o por gravedad directamente desde los camiones fábrica hacia el interior de los taladros. Una vez cargado los taladros se deja transcurrir unos 20 minutos para la colocación del "taco" en el taladro.

Entre las ventajas de usar la SAN-G APU® se tiene:

- Puede utilizarse en terrenos secos, húmedos o inundados y con rocas de diferente dureza.
- Al cargar los taladros, las columnas explosivas se acoplan por completo, desarrollando con dicha condición toda la energía que se deposita en ellas.
- Su uso representa un trabajo seguro, toda vez que la emulsión matriz se sensibiliza al final de la unidad mecanizada; vale decir que se trata de un producto no explosivo antes de ingresar en los taladros.
- Puede ser cargado a diferentes densidades y energías, para cumplir siempre con el objetivo de producir una buena fragmentación y mejorar la productividad desde la mina hasta su molienda en la planta o su disposición en las canchas de lixiviación.
- Por su alto poder rompedor es posible ampliar las plantillas de perforación y de reducir los costos involucrados.
- Permite reducir el tiempo del cargulo por su practicidad.

- La SAN-G APU® sensibilizado debe ser iniciado por una prima conformada por un Booster HDP, de un peso concordante con el peso de las columnas explosivas usadas y con un detonador FANEL®.
- También puede ser sensibilizado con ANFO en diferentes proporciones para formar ANFO PESADO y ANFOS PESADOS GASIFICABLES.

Características técnicas

Densidad relativa de la matriz (g/cm ³)	1,32 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (g/cm ³)	0,80 a 1,20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales, (cP) (**)	Min. 12 000
Velocidad de detonación de la matriz sensibilizada (m/s) (**)	4 800 a 5 800
Presión de detonación (kbar)	51 a 98
Energía (kcal/kg)	805
Volumen normal de gases (L/kg)	1 025
Potencia relativa en peso (%) (***)	90
Potencia relativa en volumen (%) (***)	152
Resistencia al agua	Excelente
Categoría de humos	Primera
Diámetro crítico (mm)	76 (3 pulgadas)
Tiempo de permanencia en el taladro (días)	7

(*) Medido en el viscosímetro BROOKFIELD HA DVII a 50 RPM.

(**) Confinado en tubo de PVC de 6 pulgadas de diámetro.

(***) Potencias relativas referidas al ANFO, con potencia convencional de 100.

Presentación

La SAN-G APU® es presentada a granel y transportada en forma segura en camiones cisternas.

Transporte

Clase: 5
División: 5.1
N° ONU: 3218



MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO

Los explosivos y accesorios de voladura de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos seguros, pero en manos inexpertas se constituyen en elementos peligrosos. El adquirente o usuario debe cumplir con lo establecido por las normas correspondientes, al momento de su transporte, almacenaje y uso, así como entrenar debidamente a todo el personal encargado de su manipuleo.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenaje y/o uso inadecuado que pudiera darse a sus productos. El transporte, almacenaje, manipuleo y uso debe hacerse en concordancia con las regulaciones y aprobaciones por la autoridad competente. Debe ser almacenado en polvorines ubicados en zonas seguras, protegidos de la lluvia y el calor; y en concordancia con la tabla de compatibilidad vigente de la autoridad competente.

ATENCIÓN

La información y recomendación aquí descrita no cubren necesariamente todas las aplicaciones del producto ni las distintas condiciones bajo las cuales éste sea utilizado. Estas se basan en la experiencia, investigación y pruebas realizadas por Famesa Explosivos S.A.C., quien no garantiza resultados favorables ni asume responsabilidad alguna, expresa o implícita en conexión con el uso de estas sugerencias. Este producto puede ser modificado sin previo aviso.



730500

731250

732000

732750

733500

9246500

9245750

9245000

9244250

9243500

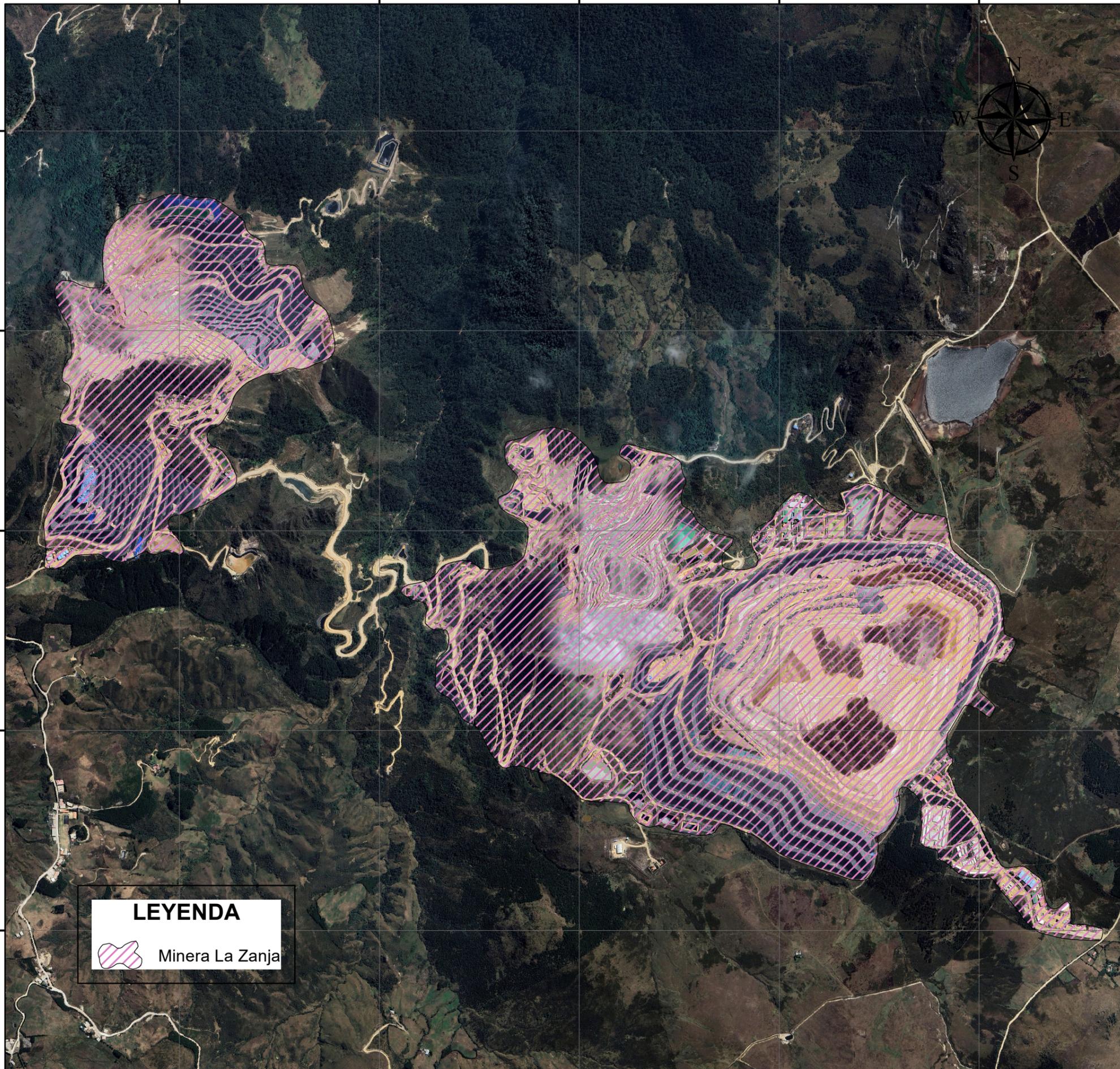
9246500

9245750

9245000

9244250

9243500



LEYENDA



Minera La Zanja

730500

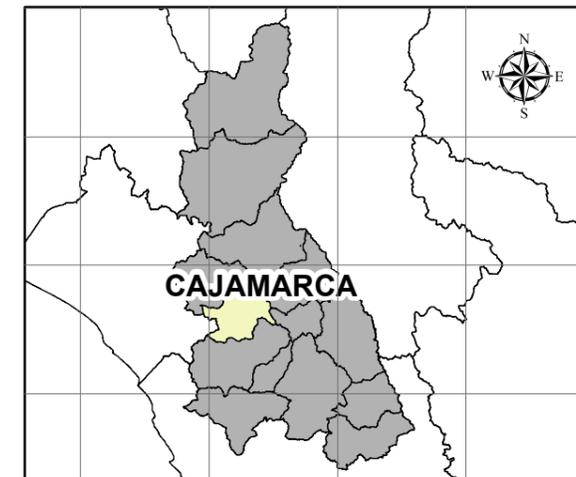
731250

732000

732750

733500

DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA



600000 700000 800000 900000

9500000
9400000
9300000
9200000

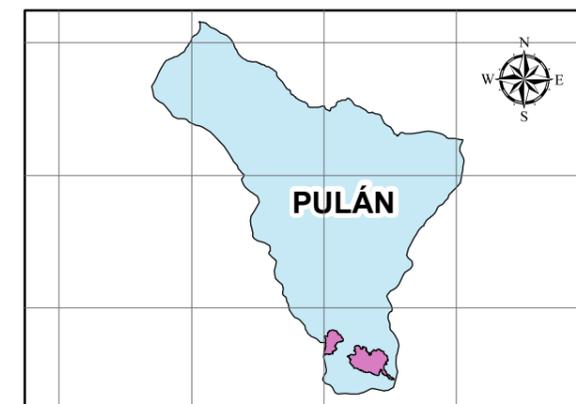
PROVINCIA DE SANTA CRUZ



705000 720000 735000 750000

9270000
9255000
9240000

DISTRITO DE PULÁN

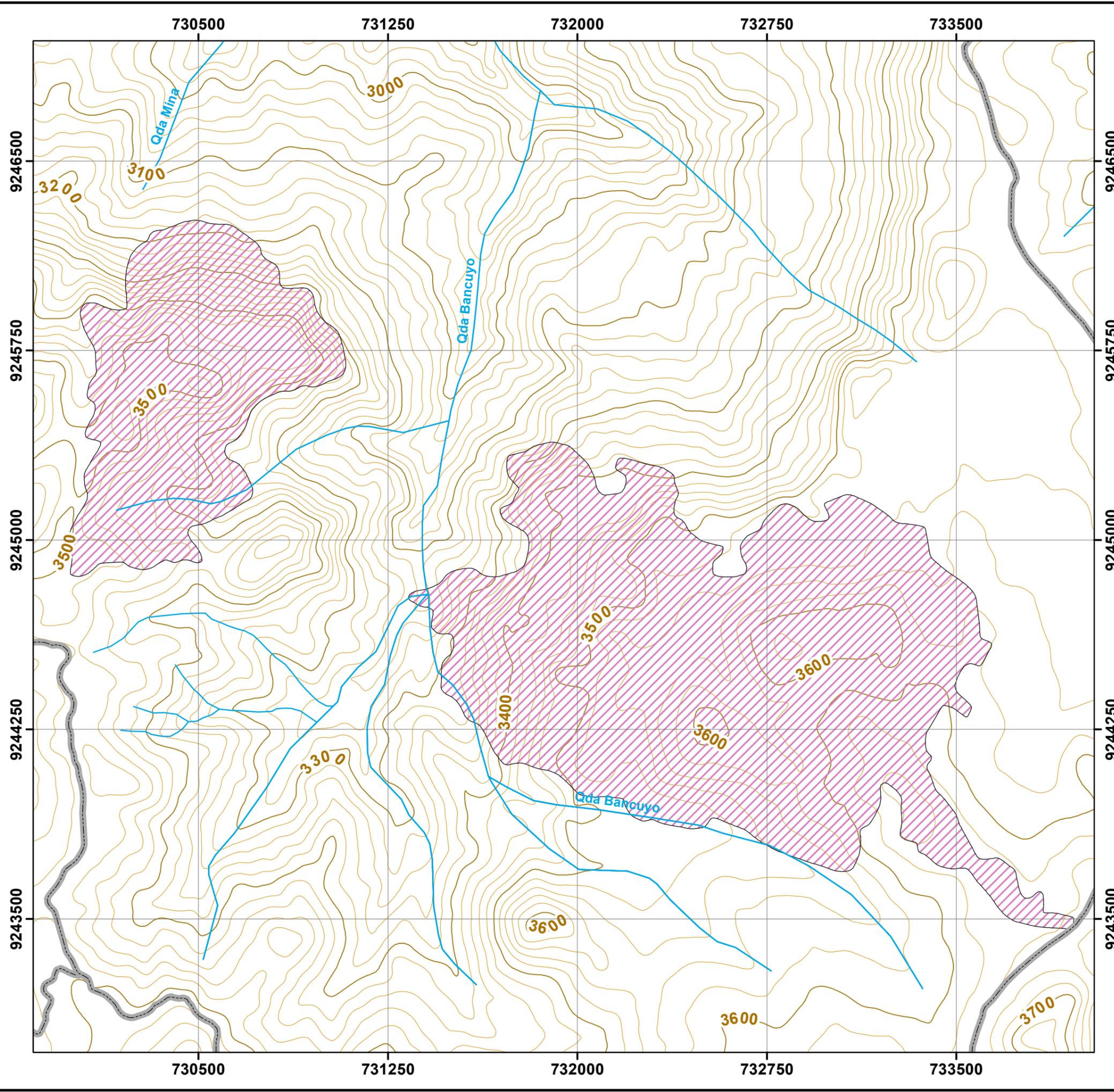


715000 722500 730000 737500 745000

9262500
9255000
9247500



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN-G APU PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA ZANJA, CAJAMARCA		
PLANO DE UBICACIÓN		
TESISTA: BACH. MERCEDES TORRES CABRERA	FECHA: ENERO 2025 ESCALA: 1:15000	PLANO: 01
ASESOR: M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA	PROYECCIÓN DATUM/ZONA: UTM - WGS84 - 17 SUR	

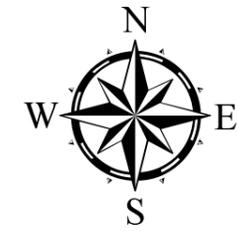
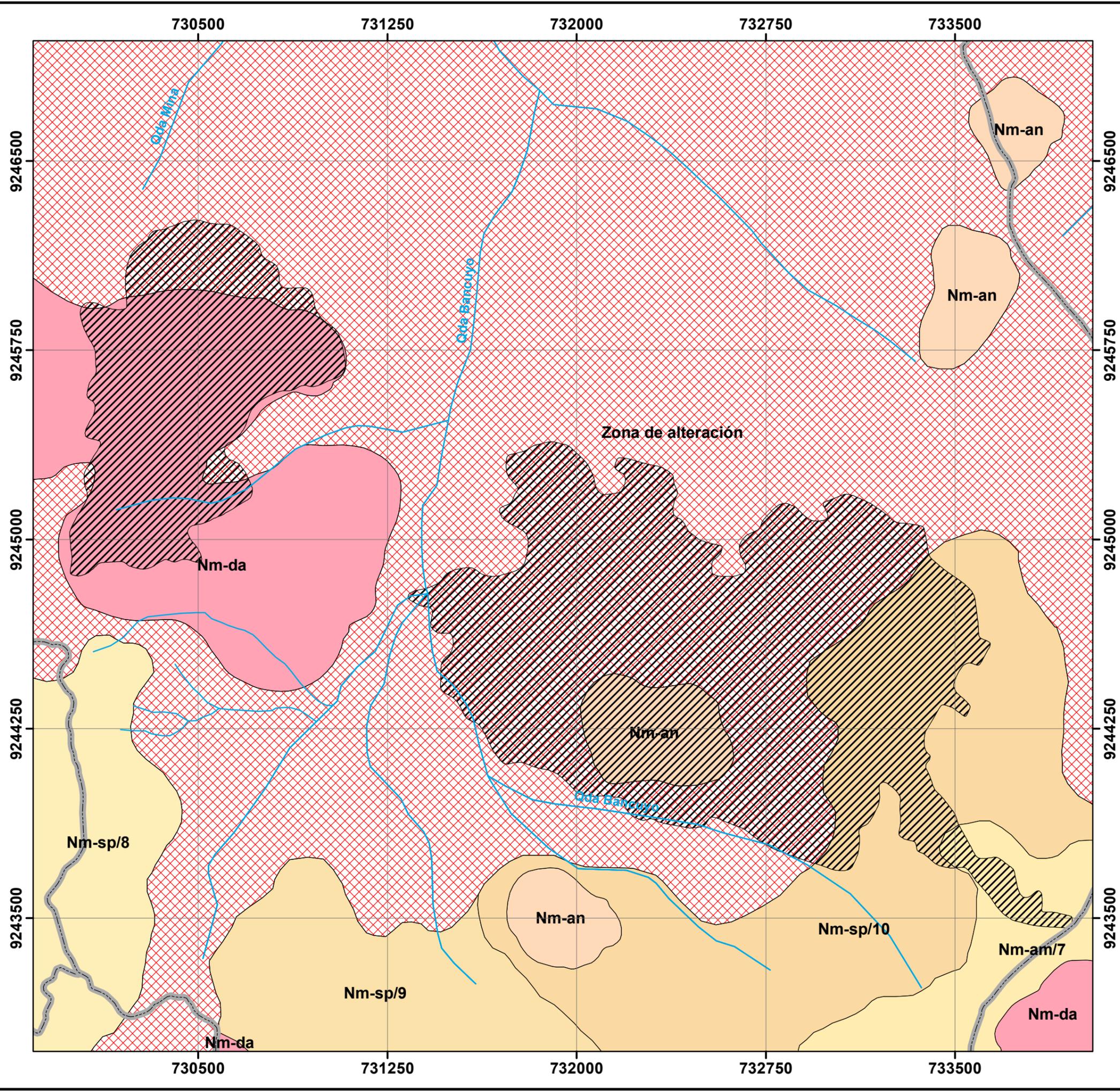


SIMBOLOGÍA

-  Drenajes
-  Vía afirmada
-  Curva mayor
-  Curva menor
-  Minera La Zanja



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN-G APU PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA ZANJA, CAJAMARCA		
PLANO DE TOPOGRAFÍA		
TESISTA:	FECHA: ENERO 2025	PLANO:
BACH. MERCEDES TORRES CABRERA	ESCALA: 1:15000	02
ASESOR:	PROYECCIÓN DATUM/ZONA:	
M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA	UTM - WGS84 - 17 SUR	



LEYENDA

Unidades Geológicas

- Nm-am/7 Volcánico Anchipanmutis
- Nm-an (Subvolcánicos andesíticos)
- Nm-da (Subvolcánicos dacíticos)
- Nm-sp/10 Volcánico San Pedro
- Nm-sp/8 Volcánico San Pedro
- Nm-sp/9 Volcánico San Pedro
- Zona de alteración

SIMBOLOGÍA

- Drenajes
- Vía afirmada
- Minera La Zanja



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN-G APU PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA ZANJA, CAJAMARCA		
PLANO DE GEOLOGÍA		
TESISTA: BACH. MERCEDES TORRES CABRERA	FECHA: ENERO 2025 ESCALA: 1:15000	PLANO: 03
ASESOR: M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA	PROYECCIÓN DATUM/ZONA: UTM - WGS84 - 17 SUR	



Figura 59

Malla de perforación antes de la detonación



Figura 60

Malla de perforación después de la detonación



Figura 61

Equipo de trabajo en campo

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE LA INFORMACIÓN

Yo José Luis Ricaldi Callupe, identificado con DNI N° 04083383, en mi calidad de Superintendente del área de Mina de la empresa Minera La Zanja S.R.L, con RUC N° 20507975977 ubicada en el distrito de Pulán, provincia Santa Cruz, departamento de Cajamarca.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

A la Srta. Mercedes Torres Cabrera identificado con DNI N° 74228782, bachiller de la carrera de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Cajamarca, para que utilice la siguiente información de la empresa:

Voladuras del presente año realizadas con la emulsión gasificable Emulgex y San G.

Con la finalidad que pueda desarrollar su tesis titulada: "EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EXPLOSIVO EMULGEX Y SAN-G APU PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA EN MINERA LA ZANJA, CAJAMARCA" y de esta manera logre la obtención del título profesional .

Sin otro particular, me despido.

Atentamente



José Ricaldi
Superintendente de Mina
MINERA LA ZANJA S.R.L.

José Luis Ricaldi Callupe
Superintendente de Mina