

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



TESIS PROFESIONAL

**EMPLEO DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SANG APU PARA MINIMIZAR
COSTOS DE VOLADURA EN MINERA LA ZANJA S.R.L**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:
Bach. Jhoe Jiban López Zamora

ASESOR:
Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca

Cajamarca – Perú

2021

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, por darme la bendición de poder llegar a este momento tan especial para mí. A mis padres por el apoyo incondicional, por la lucha continua y el sacrificio que día a día hacen para poder formarme como profesional y sobre todo como ser humano. A mi hermano por el apoyo, por la motivación y la compañía diaria.

Del mismo modo quiero agradecer a todos los docentes y profesionales que intervinieron en mi formación profesional durante los años de estudios universitarios, prácticas y mis primeros años de trabajo. Agradecer de manera muy especial a mi estimado asesor, Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca, por el apoyo constante, durante este proceso de elaboración de mi tesis profesional.

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la salud y por la bendición de permitirme llegar a lograr este objetivo.

A mis padres Ricarte y Magaly, por ser mi soporte, mi apoyo incondicional, por siempre haber confiado en mí y sobre todo por ser mis primeros y mejores maestros.

A mi hermano Alejandro, por siempre ser mi compañero y mejor amigo. Por mostrarme su respaldo y apoyo en cada momento.

A mi querido Tata Alejandro y mi mamita Amelia, por su apoyo y cariño incondicional.

Jhoe Jiban López Zamora

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación.....	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	3
2.1.3. Antecedentes Locales.....	4
2.2. Bases Teóricas.....	5
2.2.1. Perforación y Voladura.....	5
2.2.2. Voladura controlada.....	5
2.2.2.1. Voladura de Precorte.....	5
2.2.2.2. Voladura amortiguada.....	7
2.2.2.3. Voladura de producción.....	7
2.2.3. Diseño de voladura en bancos.....	8

	Pág.
2.2.3.1. Elementos para el diseño de voladuras en bancos.....	8
2.2.3.2. Altura de banco.....	9
2.2.3.3. Diámetro de perforación.....	10
2.2.3.4. La sobreperforación.....	10
2.2.3.5. Longitud de taladro.....	11
2.2.3.6. Longitud de taco.....	11
2.2.3.7. Burden.....	12
2.2.3.7.1. Modelo de Anderson.....	12
2.2.3.7.2. Modelo de R.Ash.....	12
2.2.3.7.3. Modelo de Konya.....	13
2.2.3.7.4. Modelo de Langefors.....	13
2.2.3.7.5. Modelo de Pearse.....	14
2.2.3.8. Espaciamiento.....	14
2.2.3.9. Inclinación de taladros.....	15
2.2.4. Explosivos.....	16
2.2.5. Clasificación de los Explosivos.....	16
2.2.6. Agentes de Voladura.....	18
2.2.6.1. Anfo.....	18
2.2.6.2. Emulsiones.....	20
2.2.6.3. Emulsión matriz gasificable Sang Apu.....	21
2.2.6.4. Solución sensibilizante N-30.....	24
2.2.6.5. Emulsión gasificada.....	25
2.2.6.6. Verificación de densidad de emulsión Gasificada Sang Apu.....	26

	Pág.
2.2.6.7. Proceso de gasificación.....	27
2.2.6.8. Tiempo de gasificación.....	27
2.2.6.9. Velocidad de detonación.....	28
2.2.7. Propiedades de los explosivos.....	29
2.2.7.1. Potencia y energía.....	30
2.2.7.2. Presión de detonación.....	30
2.2.7.3. Sensibilidad.....	31
2.2.7.4. Resistencia al agua.....	31
2.2.7.5. Humos.....	31
2.3. Definición de términos básicos.....	32

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. La Zanja.....	34
3.1.1. Ubicación Geográfica.....	34
3.1.2. Accesibilidad.....	34
3.1.3. Topografía y fisiografía.....	35
3.1.4. Clima y meteorología.....	35
3.1.5. Flora y Fauna.....	36
3.1.5.1. Flora.....	36
3.1.5.2. Fauna.....	37
3.1.6. Contexto Geológico.....	38

	Pág.
3.1.6.1. Geología regional.....	38
3.1.6.2. Geología local.....	41
3.1.7. Ciclo de Minado en los tajos Pampa Verde y San Pedro.....	42
3.2. Metodología de la Investigación.....	43
3.2.1. Tipo de Investigación.....	43
3.2.2. Nivel de Investigación.....	43
3.2.3. Diseño de Investigación.....	43
3.2.4. Método de Investigación.....	44
3.2.5. Población de Estudio.....	44
3.2.6. Muestra de Estudio.....	44
3.2.7. Unidad de Análisis.....	44
3.3. Procedimiento.....	44
3.3.1. Etapa de gabinete.....	44
3.3.2. Etapa de Campo.....	45
3.3.3. Etapa de gabinete.....	45
3.4. Definición de Variables.....	45
3.4.1. Variable Independiente.....	45
3.4.2. Variable dependiente.....	45
3.5. Equipos y materiales.....	45
3.6. Perforación en los tajos San Pedro y Pampa Verde.....	46
3.6.1. Taladros de producción.....	47
3.6.2. Taladros buffer.....	47
3.6.3. Taladros de precorte.....	47
3.7. Voladura en los tajos San Pedro y Pampa Verde	48

	Pág.
3.7.1. Emulsión gasificable Sang Apu.....	49
3.7.2. Accesorios de Voladura utilizados en Minera La Zanja.....	50
3.8. Evaluación técnica.....	51
3.8.1. Esponjamiento y control de la densidad en la columna explosiva.....	51
3.8.2. La velocidad de detonación (VOD) para la emulsión Sang Apu.....	53
3.8.3. Análisis de fragmentación.....	55
3.8.4. Medio Ambiente.....	66
3.9. Evaluación Económica.....	70
3.9.1. Precios de agentes y accesorios de voladura.....	70
3.9.2. Comparativo de costos por taladro.....	71

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis técnico.....	75
4.2. Análisis Económico.....	78

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	80
5.2. recomendaciones.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N°1: Diámetro de taladro recomendado.....	10
Tabla N°2: Pérdida de energía en el Anfo.....	19
Tabla N°3: Características técnicas Sang Apu.....	23
Tabla N°4: Tabla comparativa de datos por catálogo para cada emulsión gasificada.....	24
Tabla N°5: Características técnicas N-30.....	25
Tabla N°6: Comparación del VOD de las diferentes emulsiones.....	29
Tabla N°7: Características del material de la Unidad Minera La Zanja.....	42
Tabla N°8: Equipos de Perforación en Minera La Zanja.....	48
Tabla N°9: Características del camión fábrica.....	50
Tabla N°10: Control de densidad inicial y densidad final.....	53
Tabla N°11: Resultados de la velocidad de detonación (VOD).....	54
Tabla N°12: Tabla de granulometría para proyecto NV 3276 PL 24.....	57
Tabla N°13: Tabla de granulometría que muestra el P50 y P80 para proyecto NV 3276 PL24.....	58
Tabla N°14: Tabla de granulometría para proyecto NV 3276 PL 17.....	60
Tabla N°15: Tabla de granulometría que muestra el P50 y P80 para proyecto NV 3276 PL 17.....	60
Tabla N°16: Tabla de granulometría para proyecto PAD L8.....	62
Tabla N°17: Tabla de granulometría que muestra el P50 y P80 para proyecto PAD L8.....	63
Tabla N°18: Resumen de resultados de fragmentación.....	63
Tabla N°19: Porcentaje de finos por cada proyecto.....	63
Tabla N°20: Resultados de fragmentación en todos los proyectos.....	64

	Pág.
Tabla N°21: Registro de vibraciones en los diferentes proyectos.....	67
Tabla N°22: Densidad de fábrica y precios unitarios de agentes de voladura..	70
Tabla N°23: Precios unitarios de accesorios y explosivos primarios.....	71
Tabla N°24: Parámetros de voladura.....	71
Tabla N°25: Costo por taladro del Anfo.....	72
Tabla N°26: Costo por taladro del Pyrosang.....	72
Tabla N°27: Costo por taladro del Sang Apu.....	72
Tabla N°28: Datos de voladura del mes de setiembre del 2018.....	73
Tabla N°29: Costo total del consumo de explosivo en el mes de setiembre del 2018.....	74
Tabla N°30: Densidad inicial y final tomadas en el mes de setiembre del 2018.....	76
Tabla N°31: Promedio de factor de potencia mensual	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1: Esquema de taladros de voladura (Bravo, 2018).....	8
Figura N°2: Parámetros de voladura (Exsa, 2019).....	15
Figura N°3: Clasificación de los explosivos (Inacap, 2015).....	18
Figura N°4: Explosivo tipo Anfo (Bernaola, 2013).....	20
Figura N°5: Diferentes tipos de emulsiones en función de la proporción Emulsión/Anfo (Bernaola, 2013).....	21
Figura N°6: Emulsión No sensibilizada Sang Apu (Famesa, 2019).....	23
Figura N°7: Solución N-30 (Famesa, 2019).....	25
Figura N°8: Proceso de fabricación en camión fábrica (Famesa, 2019).....	26
Figura N°9: Muestra de la medición de densidades en Minera La Zanja.....	26
Figura N°10: Aumento de volumen o esponjamiento (Famesa, 2019).....	28
Figura N°11: Ubicación y accesibilidad a Minera La Zanja.....	35
Figura N°12: Vista en planta de la Geología Regional.....	40
Figura N°13: Perforadora DM45 y Camión Fábrica, perforando y cargando taladros, en el nivel 3504 del tajo San Pedro.....	48
Figura N°14: Camión fábrica F1S-726 de 24 toneladas.....	49
Figura N°15: Personal de campo cargando taladro y tomando muestra para verificación de densidad.....	50
Figura N° 16: Cálculo de la densidad promedio real de la columna explosiva luego del esponjamiento.....	51
Figura N° 17: Esquema del diseño de carga en el taladro.....	52
Figura N°18: Reporte de medición de VOD Proyecto 3438_035.....	54
Figura N°19: Correlación entre densidad final y el resultado de VOD.....	55

	Pág.
Figura N°20: Toma de fotografías para análisis granulométrico NV 3276 PL 24.....	56
Figura N°21: Análisis con el SPLIT – DESKTOP para proyecto NV 3276 PL 24.....	56
Figura N°22: Resultados del Tamiz (P50, P80) para proyecto NV 3276 PL 24.....	57
Figura N°23: Toma de fotografías para análisis granulométrico NV 3276 PL 17.....	58
Figura N°24: Análisis con SPLIT – DESKTOP para proyecto NV 3276 PL 17.....	59
Figura N°25: Resultados del Tamiz (P50, P80) para proyecto NV 3276 PL 17.....	59
Figura N°26: Toma de fotografías para análisis granulométrico PAD L8.....	61
Figura N°27: Análisis con SPLIT – DESKTOP para proyecto PAD L8.....	61
Figura N°28: Resultados del Tamiz (P50, P80) para proyecto PAD L8.....	62
Figura N°29: Promedio total de los resultados de fragmentación P50 y P80.....	65
Figura N°30: Promedio total del porcentaje de finos del total de resultados de fragmentación.....	65
Figura N°31: Promedio total del porcentaje de pasante.....	66
Figura N°32: Resultados de vibración con la norma USA USBM, RI – 8507.....	68
Figura N°33: Resultado de vibraciones con la norma Española UNE 22-381-93.....	69
Figura N°34: Resultados de vibraciones con la norma alemana DIN 4150-3.....	69
Figura N°35: Densidad inicial y final del Sang Apu en el mes de setiembre.....	77
Figura N°36: Comparativo del factor de potencia.....	78
Figura N°37: Ahorro al utilizar Sang Apu con respecto a otros explosivos.....	79
Figura N°38: Kit de densidades de Famesa Explosivos SAC.....	84

	Pág.
Figura N°39: Proceso de análisis en el software Wipfrag.....	88
Figura N°40: Equipo Microtrap, para medición de VOD.....	89

ABREVIATURAS

ABS	:	Potencia Absoluta en Volumen
AN	:	Nitrato de Amonio
ANFO	:	Nitrato de Amonio + Fuel Oil
AWS	:	Potencia Absoluta en Peso
EBA	:	Áreas de Endemismo para Aves
ENSO	:	El Niño Southern Oscillation
EP	:	Equipo Pesado
FO	:	Fuel Oil
FP	:	Factor de Potencia
HANFO	:	Heavy Anfo o Anfo Pesado
INGEMMET:		Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
NV	:	Nivel
PLC	:	Controlador Lógico Programable
PSI	:	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
UICN	:	Unión Mundial para la Naturaleza
VOD	:	Velocidad de Detonación
SANG APU	:	Emulsión gasificable microscópica oxidante
PYROSANG:		Emulsión a granel del tipo agua en aceite
S.R.L	:	Sociedad de Responsabilidad Limitada

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la empresa Minera La Zanja S.R.L y tuvo como finalidad poder analizar, evaluar y demostrar con los resultados obtenidos, que el empleo de la emulsión gasificable Sang Apu, permite tener un ahorro económico significativo y así minimizar los costos de voladura. En el procedimiento metodológico utilizado, en la etapa inicial se ha recopilado información completa del explosivo empleado y se pasó a revalidar en campo tal información, haciendo la corroboración con la toma de datos en la pre y post voladuras, para posterior a ello, tener una data completa que permita hacer los cálculos necesarios y así verificar el buen rendimiento del explosivo utilizado. La emulsión gasificable Sang Apu, es una muy buena alternativa de uso de explosivo, pues según lo calculado, permite un ahorro económico en comparación al Pyrosang de \$ 26,562.67 al mes y en comparación al Anfo el ahorro es de \$ 43,454.67 al mes; de igual manera, los beneficios técnicos, se ven reflejados en el buen desempeño del explosivo, en el caso de la velocidad de detonación (VOD), se tuvo un valor de 5.416.11 m/s, esto para una densidad final gasificada del explosivo de 1.00 g/cm³, en un diámetro de taladro de 6 ¾", mientras que el análisis granulométrico realizado, arroja un promedio de P50= 1.68 pulg y en P80= 4.46 pulg; es decir, es un explosivo técnicamente bueno que ayuda a minimizar los costos en Minera La Zanja.

Palabras Claves: Emulsión gasificable, voladura, explosivo, minimizar costos, fragmentación.

ABSTRACT

The present research work was carried out at the company Minera La Zanja S.R.L and aimed to analyze, evaluate and demonstrate with the results obtained, that the use of the gasifiable emulsion Sang Apu, allows for significant economic savings and thus minimize blast costs. In the methodological procedure used, in the initial stage, complete information on the explosive used was collected and revalidated in the field, corroborating with the data collection in the pre- and post-blast phase, have complete data to make the necessary calculations and thus verify the good performance of the explosive used. The gasifiable emulsion Sang Apu, is a very good alternative to use explosive, because as calculated, it allows an economic saving compared to the Pyrosang of \$ 26,562.67 per month and compared to the Anfo the saving is \$ 43,454.67 per month; similarly, the technical benefits, are reflected in the good performance of the explosive, in the case of the detonation velocity reached a maximum value of 5,416.11 m/s for a final gasified density of 1.00 g/cm³ in a diameter of 6 ¾", while the granulometric analysis carried out, It yields an average of P50= 1.68 in and P80= 4.46 in; that is, it is a technically good explosive that helps to minimize costs at Minera La Zanja.

Keywords: Gasifiable emulsion, blasting, explosive, minimize costs, fragmentation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente todo el sector minero sigue teniendo un crecimiento importante y para esto, las empresas vinculadas al rubro, siguen buscando poder obtener una máxima eficiencia en cuanto a sus operaciones, que les pueda permitir maximizar la producción y optimizar costos.

Los continuos problemas y altos costos generados en los resultados de las voladuras, sumado a los costos elevados en las demás operaciones unitarias posteriores a la voladura, hace que nazca la idea de buscar una nueva alternativa que pueda generar mejores resultados globales en cuanto a la operación unitaria de voladura se refiere.

Es así que en Minera La Zanja se empieza a utilizar la emulsión gasificable Sang Apu. Esta emulsión gasificable sumado a sensibilizadores, sustituye a otras mezclas explosivas conocidas, esto con la finalidad de minimizar costos de voladura, pero para llegar a esto, se tiene que manejar un equilibrio en los diferentes aspectos que se manejan en minería, como los procedimientos, los controles y la seguridad, para así poder obtener resultados óptimos, que sean de mucho beneficio para la operación.

Es así que el problema principal se plantea con la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los beneficios de utilizar la emulsión gasificable Sang Apu, en la operación unitaria de voladura en Minera La Zanja?

De esta manera, se plantea la siguiente hipótesis para la presente investigación: La operación unitaria de voladura es una de las fases más importantes en minería, por lo que la utilización de la emulsión gasificable Sang Apu, nos va a permitir minimizar costos y tener resultados beneficiosos como optimización de tiempo en el carguío de taladros, la granulometría indicada, velocidad de detonación adecuada y control en emisión de gases nitrosos.

En base a todo lo mencionado la presente investigación tiene como objetivo general analizar y cuantificar los resultados de voladura utilizando la emulsión gasificada Sang Apu, para determinar costos, eficiencia y poder optimizar el proceso de voladura, y como objetivos específicos: analizar el proceso de carguío de taladros utilizando Sang Apu en minera La Zanja; determinar los beneficios económicos, operativos y medioambientales cuando se utiliza Sang Apu en el proceso de voladura y determinar la importancia de la utilización de la emulsión Sang Apu para la optimización de los procesos post voladura.

En el primer capítulo se presenta el contexto, el problema, alcance, los objetivos e hipótesis de la presente investigación.

En el segundo capítulo se presenta los antecedentes teóricos de las diferentes investigaciones tanto internacionales como nacionales, de igual manera los fundamentos teóricos que van a servir como base o fundamento para la investigación y también la definición de términos básicos.

En el tercer capítulo, detalla la ubicación geográfica en la que se ha desarrollado la investigación, de igual manera, la descripción de materiales utilizados, la metodología, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y la descripción de procedimientos.

En el cuarto capítulo, se presenta el análisis y discusión de resultados a los que se han llegado en la investigación.

En el quinto capítulo se muestra las conclusiones para cada objetivo planteado y las recomendaciones que se plantea para futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según Aguirre, (2016) en su tesis Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el abra, trata como tema y nos explica, que los precios de operación tienen una trascendencia importante, por consiguiente, para minimizar dichos precios, en primer lugar, se tienen que monitorear los procesos relacionados a ellos

Se tiene que los procesos de perforación y tronadura son las primeras operaciones unitarias que resultan del diagrama de flujos en la extracción del material, implicando que un buen comienzo podría generar mejoras en los procesos posteriores.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Según Huangal, (2014) En su tesis que lleva por título Evaluación Técnica Económica del Uso del Sang en mina “La Arena”, llegó a la conclusión que después de tres análisis de costo comparativo del uso de Sang y HAnfo, cuyos resultados indican que existe un ahorro significativo al usar el explosivo Sang con respecto al HAnfo; siendo más representativo el primer análisis que considera los registros de costos por tonelada de roca, cuyos valores obtenidos indican que existe un ahorro mensual de hasta 23,951 US\$/mes y 287,412 US\$/año .

Según Zavala, (2017) En su tesis denominada Empleo de agente de voladura gasificado para minimizar costos de voladura en la compañía minera Antamina S.A. – año 2017, alcanzó la conclusión que el trabajo del agente de voladura

gasificado disminuyó el precio de la voladura de 4,000 hasta los 7,000 US\$ comparativamente al agente de voladura usual, precios que simbolizan un ahorro importante del 4% a 9% utilizando HA73G y HA82G respectivamente.

Según Anchayhua, (2009) En su tesis denominada Aplicación de la emulsión gasificable como nuevo explosivo en la mina a tajo abierto Santa Rosa, luego de su investigación y estudio preliminar, llegó a la conclusión que el departamento de perforación y voladura en Minera Santa Rosa, ha conseguido una mejora general en sus operaciones mediante el empleo de la emulsión gasificable, acompañada de una reducción de sus costos y por ende, de un incremento de la rentabilidad de la empresa, tan necesaria en esta época de crisis global.

2.1.3. Antecedentes Locales

Según García, (2017) En su tesis que lleva por título, 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 HANFO 46 a emulsión gasificada, San-G, se obtuvo mejor granulometría, haciendo que el carguío y transporte del mineral fraccionado con explosivo emulsión gasificada tuvo menores costos en comparación con la fragmentación obtenida con HANFO 46, ya que se logró aumentar el rendimiento de los equipos.

Debido a que el autor demuestra con su investigación la importancia que tiene el uso de la emulsión gasificable en el proceso de voladura para obtener buenos resultados, en cuanto a granulometría se refiere, es que en mi tesis me planteo el objetivo de demostrar que con la utilización la emulsión gasificada podemos garantizar, no solo la minimización de costos en voladura, también se garantiza la disminución en gastos post voladura, esto es carguío y acarreo.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Perforación y Voladura

Perforación

La operación unitaria de perforación es la primera que se realiza en mina, para preparar una tronadura. Su objetivo es aperturar en la roca huecos cilíndricos con el propósito de albergar al explosivo y sus complementos iniciadores, llamados barrenos, taladros, hoyos o blast holes.

Se fundamenta en teorías mecánicas de percusión y rotación, cuyos resultados de golpes y fricción generan el astillamiento y trituración de la roca en un área tan igual al diámetro de la broca y hasta una hondura planteada por la longitud del barreno usado. La eficacia de la perforación se basa en conseguir la máxima penetración al más mínimo precio (Exsa, 2009).

Voladura

La operación unitaria o proceso productivo de “Voladura”, tiene como fin el desprender el material requerido a partir de su sitio original, por lo cual este material volado podría ser cargado y trasladado por los equipos de carguío y acarreo (y procesado según se desee), por lo cual este material deberá consumir con una fragmentación y una ubicación espacial que facilite los posteriores procesos planificados. El primer proceso de trituración que se le realiza al material es la tronadura, por lo cual su buen resultado, ayudará a un óptimo desempeño de este material en las labores que se hagan posteriormente (chancado, por ejemplo) (Chambi, 2018).

2.2.2. Voladura controlada

El principal fin es controlar el poder de los explosivos ocasionando planos de corte que se utilizan como límites, no permitiendo que las ondas de choque pasen el lugar protegido, para lograr el perfil planificado (Zavala, 2017).

2.2.2.1. Voladura de Precorte

Consiste en crear en el cuerpo de roca una discontinuidad o plano de fractura (grieta continua) antes de realizar la voladura de producción, por medio de una

fila de taladros principalmente de pequeño diámetro, bastantes cercanos, con cargas explosivas desacopladas y disparos instantánea. La voladura de los taladros de precorte también puede hacerse simultáneamente con los de producción, pero adelantándonos una fracción de tiempo de 90 a 120 ms, el disparo es pues en dos etapas (Exsa, 2019).

El factor de carga por pie de taladro que no haga daño a la roca, pero que realice la presión precisa que pueda generar la acción de corte. Se logra calcular de la siguiente manera: (Exsa, 2019).

$$q = \emptyset^2 / 28$$

donde:

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

\emptyset : Diámetro de los taladros vacíos (pulgadas)

Si se aplica el factor de carga, por lo tanto, el espaciamiento entre taladros de precorte está indicada por la ecuación matemática siguiente:

$$E = 10 \times \emptyset$$

Donde:

E : Espaciamiento (pulgadas).

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

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 (Exsa, 2019).

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 (Exsa, 2019).

El precorte se aplica preferentemente en bancos de superficie para delimitar sectores, para cortar bloques; para evitar una excesiva sobrerotura hacia atrás (back break) y para formar los taludes finales del pit (Exsa, 2019).

2.2.2.2. Voladura amortiguada

Esta clase de voladuras crea control sobre la roca triturada y su dirección, lo que permite, que la maquinaria se posicione a una distancia sensata sin mucho peligro. Su diseño involucra un menor diámetro de barreno, burden y espaciamiento comparativamente con los barrenos de producción. Para poder optar sobre un diámetro de perforación y factor de potencia se tiene que tener consideración lo siguiente: (Zavala, 2017).

- Si: \emptyset Tal. amort = \emptyset Tal. prod; B y S deben reducirse en 0.60 a 0.80 veces.
- Si: \emptyset Tal. amort < \emptyset Tal.prod; B y S deben aumentarse en 0.70 a 0.90 veces.
- Fc Tal Amort. \approx al Fc Tal Prod.

Para bajar la presión en paredes se disminuye el burden de 0.50 a 0.80 e incrementa el espaciamiento 1.25 veces en relación a los taladros de producción.

2.2.2.3. Voladura de producción

Corresponden a las tronaduras lejanas a la caja (~50m, variable según faena) que no forman parte del diseño final del Pit, por lo que no colindan con paredes de diseño. Cabe mencionar que las tronaduras de producción se pueden realizar tanto en mineral como estéril, cumpliendo la restricción de distancia de la tronadura de la caja. Su objetivo es la separación del mineral de interés del macizo rocoso, además de disminuir el tamaño de las rocas asegurando una granulometría que facilite su transporte y para los requerimientos de chancado y molienda. Cuando estas tronaduras están en mineral, generan remanente a las palas, teniendo poco tiempo de exposición. Si bien la generación de fragmentación es el principal objetivo, estas tronaduras deben cumplir con los estándares de seguridad dados por la empresa en términos de cantidad de material a tronar, nivel de vibraciones máximo permitido y liberación de material particulado. La tronadura de producción, por tanto, se caracteriza por estar orientada a mayores volúmenes de roca, presentar únicamente pozos de producción (pozos del mayor diámetro disponible en la mina), poseer un único diseño y un alto factor de carga, por lo que generan un alto nivel de vibraciones. Cabe mencionar que los pozos de producción se utilizan tanto en tronaduras de contorno como de producción. En el caso de las primeras, su secuencia de detonación es posterior a la de la tronadura de precorte (Bravo, 2018).

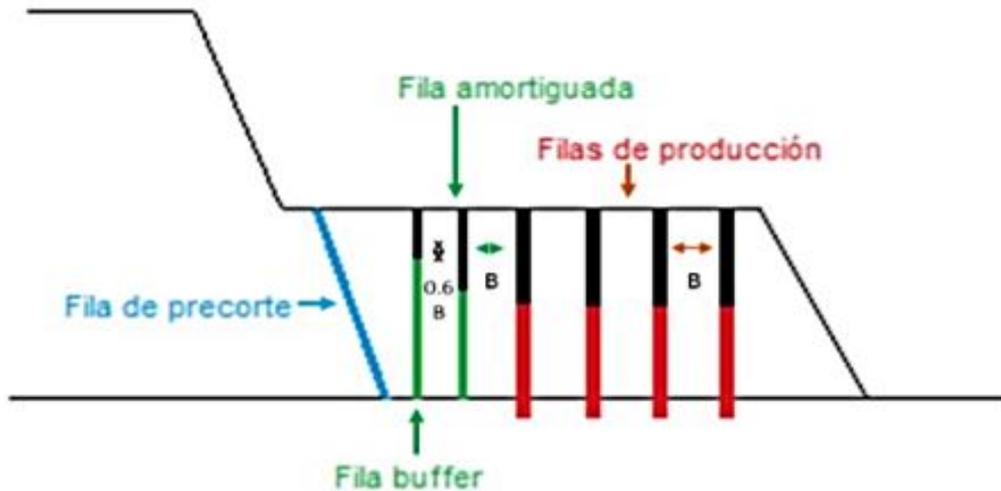


Figura N° 1: Esquema de taladros de voladura (Bravo, 2018)

2.2.3. Diseño de voladura en bancos

Los bancos son excavaciones similares a escalones en el terreno. Su característica principal es la de contar con, al menos, dos caras libres, la superior y la frontal (Exsa, 2019).

Incluye conceptos de geomecánica, geología y termoquímica que al ser llevados a la matemática para su elaboración se consigue el principio indispensable para escoger el diseño final que se utilizará para próximas verificaciones y mejoras, el diseño de la tronadura tiene variantes que se tienen que verificar: Químico – Físicas (potencia, tipo de explosivo, densidad, energía), Geométricas (burden, diámetro, longitud de carga, espaciamiento, etc.) y la iniciación (retardo y secuencia de iniciación) (Zavala, 2017).

2.2.3.1. Elementos para el diseño de voladuras en bancos

Igualmente, llamados parámetros de tronadura, es información utilizada en el cálculo y diseño de voladura. Algunos no varían, como lo son las características físicas de la roca: dureza, densidad, grado de rompimiento, coeficientes de resistencia a deformación y rotura, etc; y algunos son modificables, es decir, se pueden manipular a nuestras necesidades, teniendo en cuenta las condiciones que se presentan en el trabajo y las características del suelo. Los parámetros manejables se ordenan de la siguiente manera: (Exsa, 2019).

- Los de perforación: longitud del taladro, diámetro, malla.
- Los geométricos: altura, ancho y largo del banco, talud, cara libre.
- Los de tiempo: tiempos de retardo entre taladros, secuencia de salidas de los disparos.
- Los de carga: columna explosiva, densidad, longitud de taco, características físico-químicas del explosivo (Exsa, 2019).

2.2.3.2. Altura de banco

La altura de banco, es la longitud vertical a partir de la superficie horizontal superior hasta la superficie inferior. La altura de banco se da en relación de los equipos de excavación y carguío, del diámetro de perforación, de la resistencia de la roca en campo y la estabilidad de los taludes, la mineralización y sobre todo de aspectos de seguridad. En los equipos de carguío y acarreo son importantes la suficiencia volumétrica y la máxima altura de elevación de la pala del equipo de excavación, agregado su forma de trabajo (levantado de cargadores frontales y palas rotatorias o de desgarre hacia abajo en retroexcavadoras) (Exsa, 2019).

La mencionada altura de banco, es muy común que varíe de 8 a 15 metros, cabe indicar que a más altura se obtienen más desviación en la perforación, que tendrán que ser monitoreados para garantizar un factor de seguridad superior a 1 (Zavala, 2017).

Es así que la relación, se puede definir de la siguiente manera:

$$Sr = h_b/B$$

Dónde:

H_b= Altura de banco (m)

B= Burden

Si:

Sr > 2 es bueno

Sr = 3 es óptimo

Sr < 2 es malo

2.2.3.3. Diámetro de perforación

Para elegir un determinado diámetro del barreno, siempre está acorde la capacidad de rendimiento de la mina y resistencia de la roca que se tiene en campo, considerando que a más diámetro se tendrá mayor roca triturada pero no siempre con las características esperadas (Zavala, 2017)

Tabla N° 1: Diámetro de taladro recomendado.

DIÁMETRO DE BARRENO (mm)	PRODUCCIÓN HORARIA MEDIA (m ³ b/h)	
	Roca blanda-media < 120 MPa	Roca dura-muy dura > 120 MPa
65	190	60
89	250	110
150	550	270

Fuente: Manual de Perforación y Voladura de Rocas (López, 2003).

2.2.3.4. La sobreperforación

Se define como la longitud adicional perforada con el fin de tener un adecuado nivel del piso y garantizar la granulometría y acomodación correcta del material volado, tenemos los siguientes argumentos para su cálculo:

- Si se tiene que la sobreperforación es pequeña no se tendrá la geometría planificada en el pie del banco por lo tanto se hará una voladura secundaria con mucho mayor precio que lo planificado.
- Si se tiene que la sobreperforación es demasiado se tendrá un incremento en la cantidad de vibraciones resultando una granulometría no planificada y una sobre excavación (Zavala, 2017).

Las formas de calcular la sobre perforación son las siguientes:

$$Sp = K * \Phi_{tal}$$

$$Sp = 0.3 * B$$

Sp = Sobreperforación (m)

$$K \approx 8 - 12$$

\varnothing_{tal} = Diámetro del taladro (m)

B = Burden (m)

2.2.3.5. Longitud de taladro

Resulta de la adición de la medida de altura de banco y la sobreperforación correcta por debajo del nivel del piso para asegurar su adecuada voladura y evitar que queden toes, que perjudican al desempeño del equipo de limpieza y deben ser quitados con voladura secundaria. La sobreperforación tiene que ser por lo mínimo de 0,3 veces el valor del burden, por ello se tiene: (Exsa, 2019).

$$L = H + 0,3 B$$

donde:

H: altura del banco.

B: burden.

2.2.3.6. Longitud de taco

Es la longitud del taladro que se rellena con material estéril con el objetivo de contener la energía liberada, tiene las siguientes consideraciones:

- Si se tiene que el diámetro de la carga (mm) dividido por la longitud del taco (m) es más que 55, es posible que se produzca flyrock.
- Si se ha excedido en la longitud del taco, se produce bloques en la parte superior del banco, denominándose como mala fragmentación (Zavala, 2017).

$$T = K * \varnothing_{tal}$$

$$T = 0.7 \approx 1.6 * B$$

T=taco (m)

B= burden (m)

\varnothing_{tal} = diámetro de taladro (m)

K = 20 a 35 en función al tipo de material a usar

2.2.3.7. Burden

Se refiere a la dimensión del borde, y es la longitud más corta a la cara libre en el instante de la voladura, la definición del burden es uno de los parámetros más destacados y complicados en el diseño de malla, si el burden es demasiado grande se harán aberturas en el lugar, mala trituración, inconvenientes de perfil en el pie de banco y muy diferente, si el burden es muy pequeño se generará flyrock, mucha trituración, vibraciones muy altas, para su cálculo se utilizan los subsiguientes modelos matemáticos: (Zavala, 2017).

2.2.3.7.1. Modelo de Anderson:

Este modelo tiene en cuenta, que el burden está de acuerdo al diámetro y longitud del taladro (Exsa, 2019).

$$B = \sqrt{\varnothing * L}$$

Donde:

B: Burden (m)

\varnothing : Diámetro del taladro (pulg)

L: Longitud del taco (pies).

2.2.3.7.2. Modelo de RAsh:

Contempla que el burden, está de acuerdo a la densidad del explosivo utilizado y la densidad de la roca que se encuentra en campo (Exsa, 2019).

$$B = \varnothing tal * 30 * \left(\frac{2.563}{\rho roca} * \frac{\rho exp}{1.3} \right)^{1/3} * 0.0254$$

Dónde:

B = burden (m)

$\varnothing tal$: diámetro del taladro (pulg)

$\rho roca$: densidad de la roca (gr/cc)

ρexp : densidad del explosivo (gr/cc)

2.2.3.7.3. Modelo de Konya:

Tiene como base el modelo de RAsh y contempla que el burden está de acuerdo a la relación entre el diámetro de la carga explosiva, la densidad de la roca y la densidad del explosivo utilizado (Exsa, 2019).

$$B = 0.012 * \left(\frac{2 * \rho_{exp}}{\rho_{roca}} * 1.5 \right) (\emptyset_{tal} * f_c)$$

Donde:

B: burden (m)

ρ roca: Densidad de la roca (*gr/cc*)

Fc: factor de corrección: 0.73 (burden campo/ burden teórico)

ρ_{exp} : Densidad del explosivo (*gr/cc*)

\emptyset_{tal} = Diámetro de taladro (*mm*)

2.2.3.7.4. Modelo de Langefors

Considera que el burden también se encuentra en función de la potencia relativa del explosivo, el grado de confinamiento, tipo de roca y el grado de fracturación (Exsa, 2019).

$$B = \frac{\emptyset_{tal} * 25.44}{33} * \sqrt{\frac{\rho_{exp} * PRP}{(c + 0.75) * f * S/B}}$$

Donde:

\emptyset_{tal} : *pulg*

PRP: potencia relativa en peso ANFO; 0.89

f: *varia de 0.85 a 1 para:*

0.85 taladros inclinados 2:1; 0.90 taladros inclinados 3:1; 1 para taladros verticales.

C: *Varia de 0.30 a 0.50 para:*

0.30 roca suave, 0.40 roca dura, 0.50 roca muy dura.

2.2.3.7.5. Modelo de Pearse:

Este modelo contempla, que el burden, está de acuerdo a la mezcla explosiva, la presión de la voladura de la carga utilizada y la resistencia a la tensión dinámica de la roca que se encuentra en campo (Exsa, 2019).

$$R = B = \frac{KD}{12} \sqrt{\frac{P_2}{S_{td}}}$$

Donde:

R: Radio crítico

B: Burden (pies)

K: Factor de volabilidad

D: Diámetro (pulgadas)

P₂: Presión de detonación de la carga explosiva (psi)

S_{td}: Resistencia a tensión dinámica de la roca (psi)

$$K = 1.96 - 0.27 \ln(ERQD)$$

ERQD: Índice de calidad de la roca equivalente (%)

$$ERQD = RQD \times JSF$$

RQD: Índice de calidad de roca

JSF: Joint Strength correction Factor de corrección para JSF.

2.2.3.8. Espaciamiento

Se denomina así, a la distancia entre los barrenos de una sola fila, se evalúa de acuerdo al burden y al tiempo programado, se tiene presente que si los barrenos son iniciados simultáneamente los espaciamientos tienen que ser más grandes para no tener resultados negativos. Si se cuenta con espaciamientos bastantes pequeños se generará demasiada trituración y partes inestables en el talud, por el contrario, si el espaciamiento es grande, se generará una mala fragmentación, perfil malo en el pie de banco y una cara libre desigual, por lo general la medida del espaciamiento, se obtiene así: (Zavala, 2017).

$$E = 1.3 \cong 1.5 * B$$

2.2.3.9. Inclinación de taladros:

Dentro del diseño de voladura una de las variables de control es el ángulo del taladro que proporciona las siguientes ventajas:

- Mejor fragmentación, desplazamiento manteniendo la uniformidad del perfil deseado.
- En ciertos diseños se usa para evitar tiros cortados.
- Genera taludes más estables y seguros para los nuevos bancos.
- Contribuye a la eficiencia de las palas cargadoras debido al buen apilamiento y menor altura.
- Menos sobre perforación por lo tanto menos consumo de explosivo (Zavala, 2017).

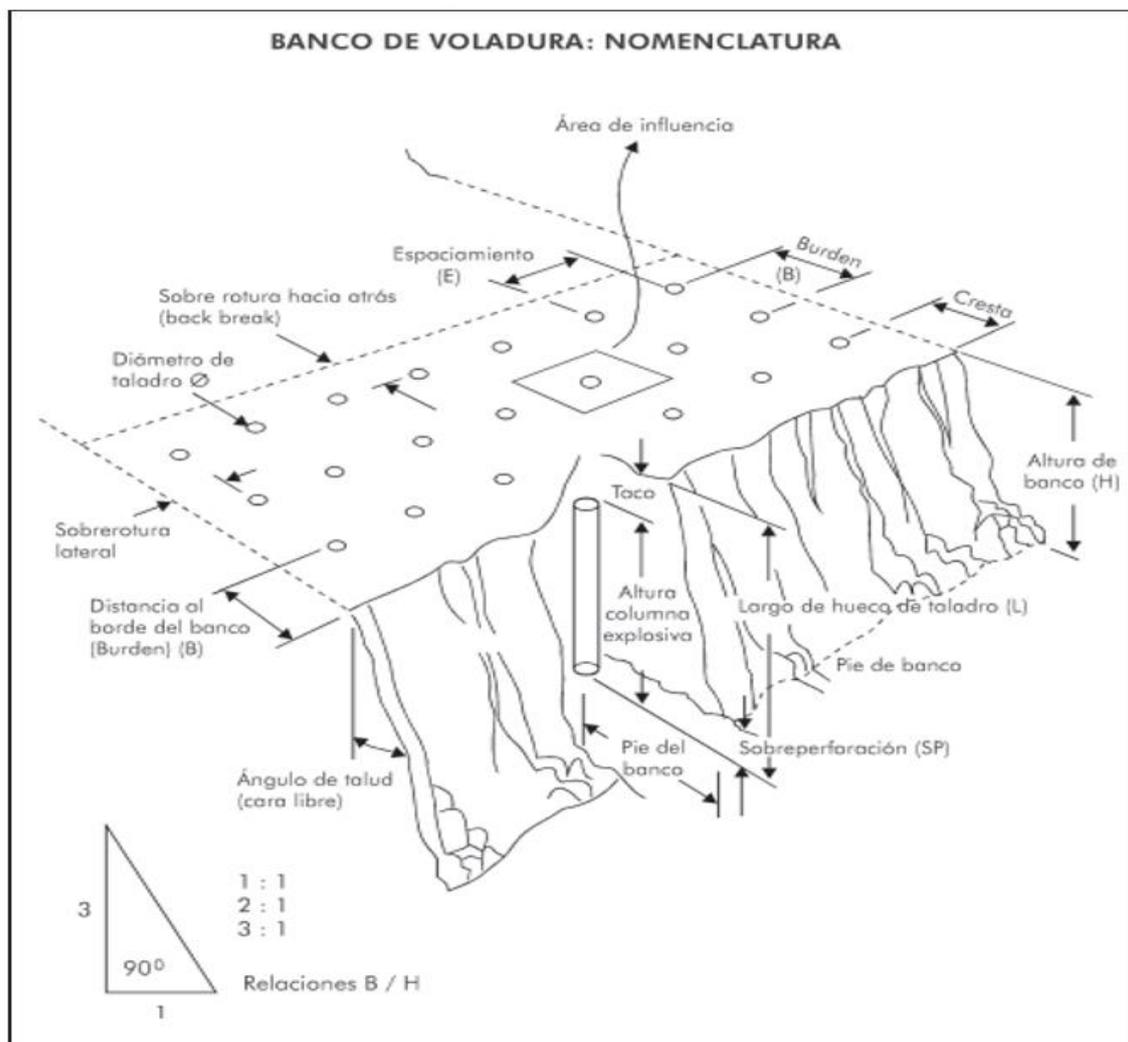


Figura N° 2: Parámetros de voladura (Exsa, 2019).

2.2.4. Explosivos

Los explosivos son mezclas de componentes en estado líquido, sólido o gaseoso, que mediante reacciones químicas de óxido-reducción, se pueden convertir en un periodo bastante rápido, se puede decir en una fracción de microsegundo, en productos condensados y gaseosos, que su volumen inicial se transforma en una masa gaseosa que puede conseguir elevadas temperaturas y por lo cual altas presiones (Exsa, 2019).

Por ende, la reacción exotérmica que es iniciada por medios pirotécnicos o eléctricos da lugar a la expansión violenta de gases con un cambio de volumen de hasta el diez mil veces en comparación al espacio inicial en donde fue confinado (Zavala, 2017).

Estas reacciones son utilizadas para hacer trabajo mecánico hecho para la rotura de elementos pétreos, en lo que establece la “la técnica de voladura de rocas” (Exsa, 2019).

2.2.5. Clasificación de los Explosivos

Se tiene muchas maneras de ordenar a los explosivos. Una organización común utilizada en Norte América es la que se muestra a continuación:

a) Explosivos Primarios

Se usa como cargas iniciadoras de explosivos de poca sensibilidad, son muy susceptibles a la iniciación, ya sea por fricción, calor o efecto y en el caso detonen, generará una onda de choque tan intensa como para iniciar explosivos secundarios. Los mismos pueden ser volados y utilizados aun en pequeñas fracciones.

Los ejemplos más comunes, son esos usados en los detonadores como la Azida de Plomo o Fulminato de Mercurio (Guerra, 2013).

b) Explosivos Secundarios

Además, denominados altos explosivos, son un poco menos sensibles a la iniciación que los primarios, es así que se frecuenta eliminar incinerándolas en pequeñas cantidades para que no ocurra una explosión. Dichos explosivos conforman la carga principal de armas militares, como de esta forma, además, en los cebos utilizados para iniciar explosivos comerciales en trabajos de minería, canteras o en la industria de la construcción (Guerra, 2013).

Los ejemplos más comunes de explosivos secundarios son:

- Pentrita, PT, PETN Tetra nitrato de pentaeritrita
- TNT
- Nitroglicerina, muy sensible, generalmente se le aplica un desensibilizador.
- Octógeno o HMX (Ciclotetrametilentanitramina)
- Nitrocelulosa
- Hexógeno, RDX Ciclonita (trinitrofenilmetilnitramina)
- Pentolita

c) Explosivos Comerciales

Estos explosivos están hechos por mezclas que contienen nitrato de amonio o nitroglicerina como el más importante componente del explosivo. Se clasifican en Gelatinas, Dinamitas y Agentes Explosivos (Guerra, 2013).

- Los agentes de voladura, no sensibles al fulminante N°8
- Los altos explosivos, sensibles al fulminante N°8

Entre los altos explosivos sensibles se tiene:

- Explosivos hidrogel y emulsiones sensibilizadas.
- Dinamitas
- Explosivos especiales.
- Explosivos permisibles o de seguridad para minería de carbón.

Entre los agentes de voladura no sensibles se tiene:

- Los agentes de voladura granulares, Anfo y secos.
- Los Agentes de voladura acuosa son: Hidrogeles o Slurries, emulsiones y agentes mixtos como Emulsión/ANFO o ANFOs pesados.

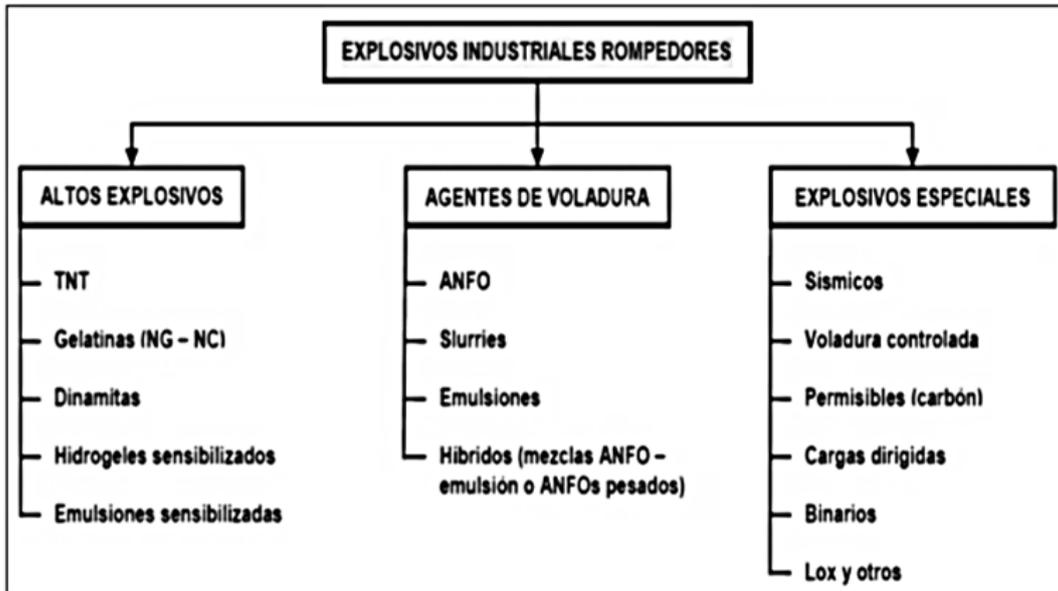


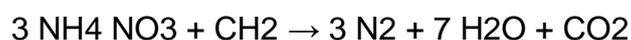
Figura N° 3: Clasificación de los explosivos (Inacap, 2015).

2.2.6. Agentes de Voladura

Son mezclas de combustibles y oxidantes caracterizados por no ser sensibles al fulminante N°8, por lo cual necesitan ser iniciados mediante el cebado o reforzador (booster). Por sus propiedades, facilidad de manipulación y bajo costo tuvo su mayor aplicación en la minería a tajo abierto, logrando crear nuevas mezclas con la finalidad de mejorar sus propiedades y poder de fragmentación (Zavala, 2017).

2.2.6.1. Anfo

Por sus siglas en ingles Ammonium Nitrate (AN) - Fuel Oil (FO) es el explosivo número uno en minería a cielo abierto y se ha extendido a nivel mundial remplazando a la dinamita y gelatinas por su bajo costo y facilidad de manipulación, la reacción generada en la mezcla es la siguiente:



Generándose 927 kcal/kg y un volumen de gases de 970 l/kg. Esta mezcla estequiométrica corresponde a un 94,5% de NA y un 5,5% de petróleo esta relación se da con la finalidad de obtener un balance de oxígeno igual a 0 para evitar la generación de gases contaminantes (Zavala, 2017).

Tabla N° 2: Pérdida de energía en el Anfo.

CONDICIÓN	%FO	PÉRDIDA DE ENERGÍA (%)	EFEECTO EN LA VOLADURA
Balance de oxígeno	5,5	Ninguna	Mejores resultados
Bajo contenido de petróleo	5,0	5,2	Exceso de oxígeno, gran pérdida de energía, produce gases nitrosos. Humos anaranjados.
	4,0	12,1	
	3,0	20,0	
Alto contenido de petróleo	7,0	1,5	Oxígeno insuficiente menor pérdida de energía, humos oscuros.
	8,0	2,9	
	9,0	4,9	

Fuente: Explosives and Rock Blasting (Atlas Powder, 1987).

La porosidad del nitrato de amonio permite a los combustibles líquidos mezclarse más íntimamente y al exponer una mayor parte de su superficie a la reacción química, se reduce el diámetro crítico, incrementándose su sensibilidad a la detonación por la reacción de un iniciador (Zavala, 2017).

Las características explosivas del Anfo varían también con la densidad. Conforme ésta se incrementa, la velocidad de detonación (VOD) aumenta, al mismo tiempo es más complicado lograr la iniciación. Por sobre una densidad de 1,2 g/cm³ el Anfo no sirve, no pudiendo ser detonado o haciéndolo sólo en el área inmediata al iniciador (López, 2000).

Las principales ventajas que tiene el Anfo sobre otros explosivos convencionales son: Es más seguro por su baja sensibilidad, es fácil de cargar en los barrenos y tienen un precio muy bajo. En su forma fluida este agente explosivo tiene la ventaja adicional de llenar todos los espacios en el barreno, lo que asegura un eficiente uso del explosivo sin embargo por su baja resistencia al agua es necesario mezclarla con otro agente de voladura para mejorar sus propiedades y resistencia al agua (Zavala, 2017).



Figura N° 4: Explosivo tipo Anfo (Bernaola, 2013)

2.2.6.2. Emulsiones

En la misma línea de buscar un explosivo de la máxima seguridad y potencia que pueda ser utilizado en barrenos con agua, el último desarrollo en explosivos industriales lo constituyen las conocidas como emulsiones. Consisten en una fase dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH_4NO_3 o de NaNO_3 en agua, que están rodeadas de una fina película de 10-4 mm de aceite mineral (fase continua). Por ello, hablamos de explosivos que en su composición principalmente tiene nitrato amónico o nitrato sódico con presencia de agua entre los valores de 14 y 20 %, un 4 % de gasoil y mínimas proporciones (1 – 2 %) de componentes adicionales, como los siguientes:

- Las ceras para incrementar la consistencia y el tiempo de almacenamiento.
- Los agentes emulsificantes

Determinados fabricantes agregan también en la composición burbujas de aire o esferas huecas de vidrio (llamadas microesferas) que incrementan la onda de detonación, aumentando la sensibilidad, y partículas de aluminio que aumentan igualmente su potencia y sensibilidad. La determinada área de contacto entre oxidante y combustible que brinda la emulsión, genera una gran y correcta reacción. En otra consideración, la lámina de aceite compone una defensa del nitrato contra el agua. De lo ya mencionado, se genera un explosivo con aspecto de pasta, que puede ser bombeado o ser encartuchado y que contiene las subsiguientes propiedades:

- Una gran resistencia al agua.
- Una gran velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s)
- Muchísima menor sensibilidad al choque o a la fricción.

La mezcla de Anfo con emulsión en proporción variable, en un rango que puede abarcar desde una proporción 90/10 hasta 50/50. Dependiendo de la proporción de sus componentes, las características varían, obteniendo desde mezclas con excelente resistencia al agua a mezclas con mala resistencia. Las composiciones ricas en emulsión (hidrogel) se pueden bombear desde camión y tienen alta velocidad de detonación. Las densidades decrecen con el contenido de Anfo, resultando valores comprendidos entre 1,25 y 1,10 g/cm³, a estas mezclas se las llama emulsión o hidrogel dopado (Bernaola, 2013).



Figura N° 5: Diferentes tipos de emulsiones en función de la proporción Emulsión/Anfo (Bernaola, 2013).

2.2.6.3. Emulsión matriz gasificable Sang Apu.

La emulsión matriz gasificable Sang Apu, es compuesta químicamente por una mezcla microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante.

La mencionada emulsión, es capaz de ser sensibilizada en lugar de trabajo, justo antes de su llenado en los taladros con la solución gasificante, generando un explosivo de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y con mayor velocidad de detonación que el Anfo, así mismo tiene la posibilidad de ser sensibilizado con Anfo en diferentes medidas y ser gasificada.

Esta emulsión matriz ha sido creada muy especialmente para utilizarlo en minería a tajo abierto en macizos rocosos, que su temperatura esté entre los rangos de 0°C y 40°C.

La emulsión Sang Apu debe ser despachada por camiones fábrica que en comparación de los camiones tradicionales que cargan Anfo, permanecen equipados de un sistema de gasificación de emulsión matriz, conformado por un equipo de programación lógica (PLC) que posibilita programar y planificar la proporción de emulsión, Anfo, solución gasificante y agua a distribuir; también controlar en tiempo real, la temperatura y la presión de bombeo. Cuenta con seguridad automatizada, ya que paraliza el despacho de bombeo y gasificación en el momento que supera 160 psi la presión de la bomba de trabajo.

La emulsión gasificable tiene la posibilidad de ser llenado por bombeo o por gravedad desde los camiones fábrica hasta dentro de los barrenos. Cuando se tiene cargado los barrenos, debe pasar 20 minutos para la poner el taco en el barreno. Las virtudes más importantes del uso de Sang Apu:

- Gran trabajo donde se encuentra, áreas húmedas, secas o inundadas y con diferentes tipos de rocas.
- Al llenar los taladros, las columnas explosivas se acoplan totalmente, generando con esa situación toda la energía que se encuentra en la misma.
- La utilización de la misma permite un trabajo seguro, ya que la emulsión matriz se sensibiliza al final de todo el proceso; cabe recalcar que es un producto químico no explosivo hasta entrar en los taladros.
- Se carga a distintas densidades y energías, y ello nos permite cumplir con lo planificado de generar una excelente granulometría y superar la eficiencia

desde mina hasta su molienda en la planta o su disposición en las canchas de lixiviación.

- Con su característica de gran poder rompedor se puede ampliar las mallas de perforación y de minimizar los costos asociados.
- Disminuye el tiempo del carguío de taladros, por su facilidad de manejo.



Figura N° 6: Emulsión No sensibilizada Sang Apu (Famesa, 2019).

Tabla N° 3: Características técnicas Sang Apu.

Densidad relativa de la matriz (g/cm³)	1,32 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (g/cm³)	0,80 a 1,20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales, (cP) (*)	Min. 12 000
Viscosidad de detonación de la matriz sensibilizada (m/s) (**)	4800 a 5800
Presión de detonación (Kbar)	51 a 98
Energía (Kcal/Kg)	805
Volumen normal de gases (L/Kg)	1025
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	

Fuente: Manual de Perforación y Voladura (Famesa, 2019).

Es usado en operaciones a tajo abierto mezclado con una solución gasificante (N – 30) que lo sensibiliza antes de su carguío para formar un agente de voladura gasificado.

Tabla N° 4: Tabla comparativa de datos por catálogo para cada emulsión gasificada.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		SAN-G	PYROSAN-G	SAN-G APU
Densidad relativa en condiciones normales	g/cm ³	1.35 ± 3%	1.35	1.32 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada	g/cm ³	0.90 – 1.20	1.01 – 1.20	0.80 - 1.20
Viscosidad en condiciones normales	cP	13,000	14,000	-
Velocidad de detonación	m/s	4,600-5,500	4,400-5,500	4,800-5,800
Presión de detonación	Kbar	48 - 91	49 - 91	51 - 98
Energía	Kcal/Kg	630	-	805
Volumen normal de gases	L/Kg	1,020	1,196	1,025
Potencia relativa en peso	%	70	66	90
Potencia relativa en volumen	%	118	96	152
Resistencia al agua	-	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos	-	Primera	Primera	Primera
Diámetro crítico de taladro	mm	76 (3 pulg)	102 (4 Pulg)	76 (3 pulg)
Tiempo de espera en el taladro	días	7	-	7

Fuente: Manual de Perforación y Voladura (Famesa, 2019).

2.2.6.4. Solución sensibilizante N-30

La solución antes mencionada es un agente sensibilizante construido por una mezcla acuosa de sales oxidantes químicamente equilibrada de origen iónica, es inactivo o no detonable; que puede combinarse en el lugar en distintas medidas con la emulsión Sang Apu, anterior a su llenado de barrenos, generando una composición explosiva uniforme de menos densidad.

El componente químico se usa como elemento sensibilizante de la emulsión, generando un explosivo de menos densidad. La solución sensibilizante N 30 en confrontación de otras mezclas gasificantes que se comercializan comúnmente, sensibiliza la emulsión en un periodo más corto, logrando así la densidad requerida en el trabajo a los 20 minutos y se ha elaborado para trabajar entre temperaturas de la emulsión que se encuentren entre 0°C a 35°C.



Figura N° 7: Solución N-30 (Famesa, 2019)

Tabla N° 5: Características técnicas N-30

	Unidad	Solución N-30
Aspecto físico	-	Líquido acuoso
Color	-	Azul de tonalidad variable
Densidad a 20°C	g/cm ³	1,11
pH	-	4,5

Fuente: Manual de Perforación y Voladura (Famesa, 2019).

Se mezcla in situ en diferentes proporciones con le Emulsión Sang Apu, produciendo una mezcla de menor densidad.

2.2.6.5. Emulsión gasificada

Es una solución acuosa de nitrato, es decir, la mezcla de la emulsión matriz con diferentes proporciones de solución gasificante (N 30) que produce una mezcla de menor densidad, la solución N 30 ingresa al mezclador estático, por el que fluye la emulsión matriz realizándose la homogenización, enseguida se inyecta el agua para disminuir la resistencia a la fricción en la manguera durante el bombeo.

Se obtiene como resultado de la combinación química entre la emulsión matriz y el N 30 al gas nitroso, el mismo queda retenido como burbujas en la emulsión, por ello es que las burbujas de nitrógeno son las que sensibilizan a la emulsión matriz.



Figura N° 8: Proceso de fabricación en camión fábrica (Famesa, 2019)

2.2.6.6 Verificación de densidad de emulsión Gasificada Sang Apu.

Observamos la medición de la densidad de la emulsión gasificable Sang Apu, a través del kit de densidades y las tablas que ésta contiene.



Figura N° 9: Muestra de la medición de densidades en Minera La Zanja.

La densidad de la misma está en relación directa a la temperatura y concentración del componente N 30, por ello, se puede controlar hasta que se logre una densidad deseada para la clase de roca con la que se está trabajando.

El trabajo que se realiza con el resultado final de la densidad después de 20 minutos de llenado el taladro está entre 0.90 y 1.10 g/cm³, depende ello, de la clase de roca con la que se trabaja.

Si es un tipo de roca suave se utiliza, densidad de 0.90 g/cm³ y para roca dura una densidad probada de 1.10 g/cm³.

2.2.6.7. Proceso de gasificación

Una vez en marcha el llenado de los taladros, el explosivo esponja como producto de la reacción química que se hace entre los dos elementos, la emulsión matriz gasificable y el N30, el cual se muestra por la producción de burbujas de nitrógeno, la que al instante de la voladura se presentan como “puntos calientes”, empezando su disparo y extendiendo su onda de detonación en toda la columna explosiva. Todos los procedimientos de gasificación implican una reducción de la densidad en el transcurso de un periodo, la misma que se muestra al exceder el volumen del envase, el cual lo abarca.

2.2.6.8. Tiempo de gasificación

Este periodo es el que se pone en marcha a partir de que la emulsión gasificable se une con un sensibilizante hasta que la densidad del explosivo se garantiza en el interior del barreno, este proceso se genera durante 20 minutos.

Cuando el explosivo se encuentra en el interior del barreno se comprueba su eficacia incluso por un tiempo de 30 días, esto se produjo al generarse una huelga en la comunidad aledaña y no se realizó la voladura de una malla por un periodo de 30 días. Al regresar al proyecto se hizo la voladura del mismo y se obtuvo un disparo con excelente rendimiento.

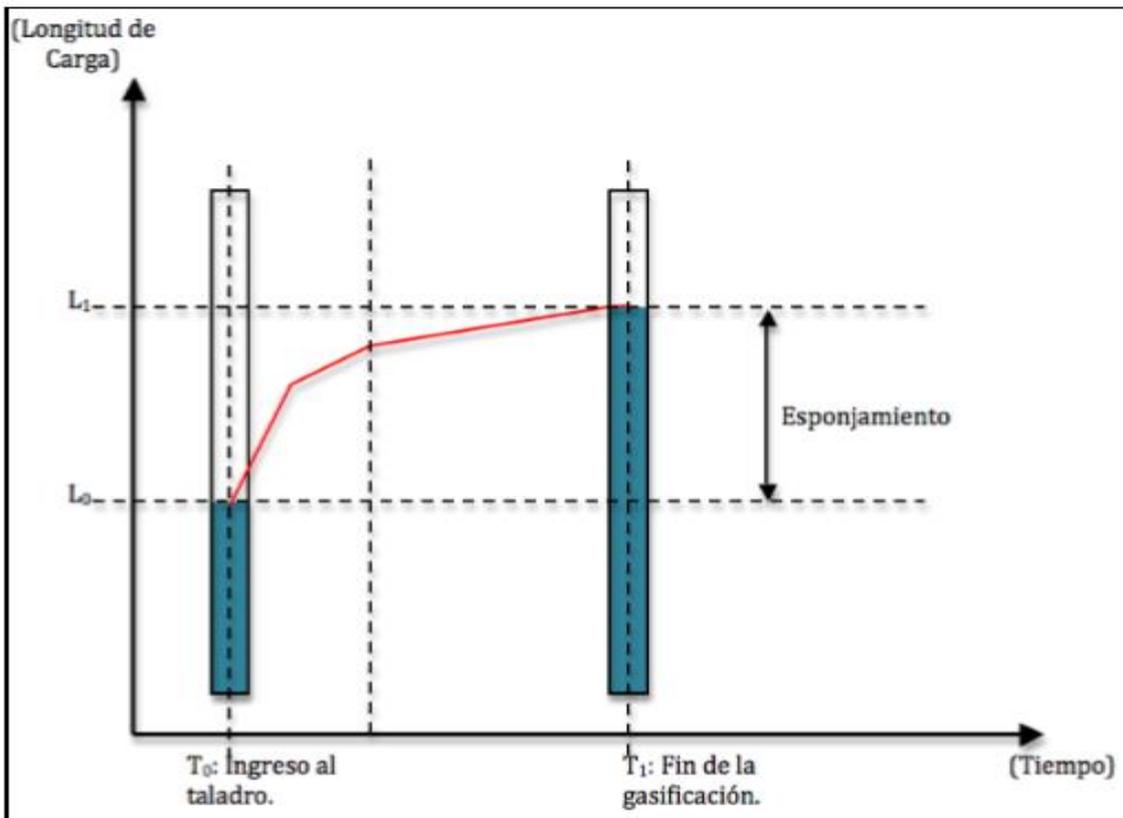


Figura N° 10: Aumento de volumen o esponjamiento (Famesa, 2019)

2.2.6.9. Velocidad de detonación

Al generar la explosión de una columna explosiva causará la modificación del explosivo en una inmensa cantidad de gases a alta temperatura y presión. La rapidez a la que se genera esta modificación se llama velocidad de detonación, es así que la unidad que lo cuantifica es metros por segundo (m/s). Es esencial diferenciar entre la velocidad de detonación que es una reacción química y de la onda de choque que es la transmisión física. (Bernaola, 2013).

La propiedad de la velocidad de detonación (VOD) se debe considerar al momento de la selección del explosivo. Se seleccionará los mismos que estallen pausadamente, ya que de esta manera su energía se generará de modo paulatino en el tiempo que se disparen rocas suaves o se requiera una fragmentación gruesa, por el contrario, es de vital importancia elegir explosivos que tenga superior velocidad de detonación cuando se desee mayor granulometría en rocas muy duras.

Existen multitud de métodos de medida de la velocidad de detonación, pudiendo diferenciarse principalmente por el objeto de cada uno de ellos. Así, se pueden tener mediciones realizadas en laboratorio y medidas realizadas en campo. Si bien, los resultados deberían ser análogos, las mediciones realizadas en campo permiten comprobar la evolución de la velocidad de detonación a lo largo del barreno, permitiendo ver la relación entre el comportamiento del explosivo en condiciones reales de aplicación (Bernaola, 2013).

Tabla N° 6: Comparación del VOD de las diferentes emulsiones

VOD	Velocidad de detonación m/s		
Densidad final del producto g/cm³	SAN-G	PYROSAN-G	SAN-G APU
0.80	-	-	4,800
0.90	5,020	4,915	-
0.91	-	4,915	-
0.95	-	5,204	-
0.96	-	-	-
0.99	-	5,351	-
1.00	5,300	5,384	-
1.01	-	5,480	-
1.04	-	5,292	-
1.10	5,514	-	-
1.20	5,533	-	5,800
Observaciones			
Locación de monitoreo	UM La Zanja 2016	UM La Zanja 2017	CDP Chancay
Tipo de monitoreo	Taladro producción	Taladro producción	Tubo PVC
Diámetro monitoreo pulg	6 3/4	6 3/4	4

Fuente: Manual de Perforación y Voladura (Famesa, 2019).

2.2.7. Propiedades de los explosivos

Cada explosivo tiene propiedades y características específicas que los diferencian de los otros, estas propiedades se miden, calculan y relacionan con la fractura de rocas. Conociendo que propiedades y características son críticas para un buen desempeño en la voladura se puede escoger el mejor tipo de explosivo para una situación específica además de la predicción del desempeño relativo y los resultados de la fragmentación, desplazamiento y vibraciones sísmicas (Zavala, 2017).

2.2.7.1. Potencia y energía

Es desde el punto de vista industrial una de las propiedades más importantes de un explosivo, define la cantidad de energía liberada para fracturar las rocas.

La energía explosiva es calculada usando técnicas basadas en las leyes de la termodinámica, siguiendo estrictamente principios químicos y matemáticos. La energía de los explosivos se puede expresar en Kcal/kg o MJ/kg. La potencia es la medida de la cantidad de energía de un explosivo. Se denota como potencia absoluta por peso (AWS) y potencia absoluta por volumen (ABS). Así mismo se puede presentar como un análisis entre la energía de un explosivo y el Anfo, el mismo que se considera como 100%, generándose potencia relativa por peso o la potencia relativa por volumen.

- AWS: Energía absoluta por unidad de peso (cal/g).
- ABS: $AWS \times \rho$ explosivo; Energía absoluta por unidad de volumen (cal/cm³).

Generado estos resultados, se encontrará la Energía Relativa en unidad de peso (RWS) y en unidad de volumen (RBS) en base al Anfo que se denotan de las siguientes maneras: (Zavala, 2017).

$$RWS = \frac{AWS_{\text{explosivo}}}{AWS_{\text{ANFO}}} \times 100$$

$$RBS = \frac{ABS_{\text{explosivo}}}{ABS_{\text{ANFO}}} \times 100$$

2.2.7.2. Presión de detonación

Es la presión en el frente de detonación, medido en el plano Chapmant-Jouguet. La inesperada presión originada, romperá en vez de trasladar materiales y entregará al explosivo el poder rompedor (refleja la energía de choque). La dimensión de la presión de detonación está basada en la velocidad de detonación y en la densidad del explosivo que se utiliza (Zavala, 2017).

$$Pd = 0.25 \times \rho_e \times (VOD)^2$$

Dónde:

Pd = Presión de detonación (Mpa)

Pe = Densidad del explosivo (gr/cm³)

Vd = Velocidad de detonación (m/s)

2.2.7.3. Sensibilidad

La sensibilidad es la simplicidad de arranque de los explosivos, o sea, la menor cantidad de energía, presión o potencia, fundamental para que se dé la detonación. Lo que se desea de un explosivo es, primero que sea sensible al arranque por medio de cebos y así garantizar la voladura de toda la columna de explosivo; segundo que no sea sensible a la iniciación por accidente ya sea en el transporte o durante la manipulación (Zavala, 2017).

2.2.7.4. Resistencia al agua

Es la característica del explosivo utilizado, para tolerar la fricción por largos periodos de tiempo, con el agua y aun así no modificar sus propiedades, características y sensibilidad, la escala que se toma para determinar la resistencia va desde mala a muy buena (Zavala, 2017).

2.2.7.5. Humos

En la voladura de todo explosivo se genera nitrógeno, vapor de agua, dióxido de carbono, y algunas veces, sólidos y líquidos. En los gases inocuos antes mencionados hay siempre algún porcentaje de gases tóxicos tales como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. A la suma de todos estos productos, consecuencia de la voladura y de las interacciones químicas, se les denomina como "humos" (Lopez, 2000).

2.3. Definición de términos básicos

Factor de carga. Es la proporción de explosivo utilizado para detonar un determinado volumen o masa de roca. El factor de carga se representa en unidades kg/m³ o kg/ton (Enaex, 2014).

Espaciamiento. Es la longitud entre pozos de una misma fila que se serán volados con el mismo tiempo o con tiempos distintos y superiores en la misma fila. Se logra determinar relacionados con la longitud del Burden, a la sucesión de arranque y la diferencia de tiempos entre pozos (Exsa, 2019).

Concentración de carga lineal. La aglomeración de explosivo, calculada en kg/m, a través de un barreno de tronadura. El término puede ser autónomo del diámetro del pozo (por explosivos desacoplados), o relacionado estrechamente al diámetro (explosivos totalmente acoplados) (Enaex, 2014).

Distancia de separación. Se define así a la longitud entre una cadena de taladros de voladura del perímetro y la fila seguidamente colindante de taladros de voladura (Enaex, 2014).

Sensibilizante y sensibilidad. Los denominados sensibilizantes son aditivos para explosivos y se usan para que una combinación detone de forma sencilla. Los más conocidos son: TNT, nitroglicerina, aluminio, micro esferas, nitrato de hexamina, carbón en polvo fino o cualquier agente reductor.

Mientras que la sensibilidad detalla el nivel de sencillez con que se puede volar un explosivo y establece el diámetro mínimo del taladro o del explosivo a utilizar. La sensibilidad de un explosivo normalmente es dependiente del tamaño del iniciador necesario para realizar una detonación correcta y varía según la sensibilidad a un detonador hasta un iniciador (Enaex, 2014).

Taco. Se define como el componente inerte agregado en la parte superior del taladro de voladura para realizar el aislamiento de los gases de la explosión y evitar una proyección de rocas y presión excesiva. El taco se agrega al taladro

para disminuir la cantidad de explosivo que se aloja en un taladro de voladura. Se adiciona taco inerte en las ubicaciones o puntos del taladro de voladura donde la roca es demasiado débil como para no generar un rompimiento adicional (Enaex, 2014).

Velocidad de detonación. Esta característica importantes, es una medida que calcula la reacción instantánea de la detonación, por la columna del explosivo. Normalmente, la velocidad de detonación varía entre 3000 m/ s para Anfos en taladros de voladura, de diámetros pequeños y 6000 m/ s para emulsiones en taladros de voladura de diámetros más grandes (Enaex, 2014).

Detonación. Es la etapa con la que inicia el proceso de voladura en la que los componentes esenciales de un explosivo (combustibles y comburentes), se transforman rápidamente en gases de altas presiones y temperaturas. Comparadas a una reacción nuclear, la detonación es la reacción química más acelerada que se conoce hasta el momento (Enaex, 2014).

Explosivo. Los explosivos son la unión estable de oxidantes y combustibles. Se alteran bruscamente liberando así, mucha energía que se usa para triturar la roca que se tiene en campo. La gran cantidad de los explosivos comerciales emplean nitratos como oxidantes, siendo el nitrato de amonio el elemento más importante de la fabricación (Enaex, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. La Zanja

3.1.1. Ubicación Geográfica

El Proyecto Minero La Zanja, está ubicado en el caserío La Zanja (también denominado La Redonda), en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz de Succhabamba, departamento de Cajamarca. El área del proyecto se encuentra en las zonas alto andinas de este distrito, a una altitud que está comprendida entre los 2 800 y 3 811 msnm y entre las zonas limítrofes con los distritos de Catache que pertenece a la provincia de Santa Cruz y Calquis y Tongod que pertenecen a la provincia de San Miguel de Pallaques).

3.1.2. Accesibilidad

La vía principal que conduce a Minera La Zanja es por la carretera 3N Cajamarca hacia Hualgayoc, asfaltada casi en su totalidad, en el Km 61 de esta vía, en la zona llamada El Empalme, se toma la carretera hacia Minera La Zanja, carretera afirmada con una distancia de 41 km, haciendo un total de 102 km desde Cajamarca hacia Minera La Zanja, con un viaje de aproximadamente 2 horas 49 minutos.

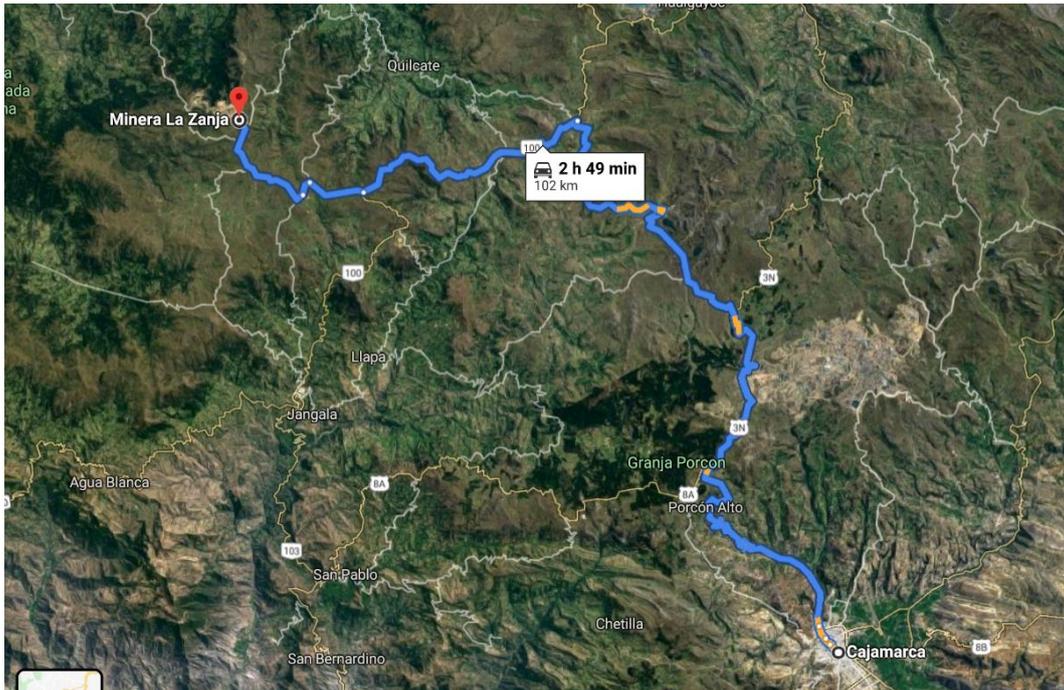


Figura N°11: Ubicación y accesibilidad a Minera La Zanja.

3.1.3. Topografía y fisiografía

En general, la topografía del área del proyecto es accidentada en la zona donde se ubican los tajos y plana en la zona donde se encuentra las instalaciones del proyecto. En la zona resalta la sucesión de montañas, con altitudes que fluctúan entre los 2 800 a 3 811 msnm. y pendientes que varían entre 30 – 70%, quebradas y planicies altas, con pendientes relativamente bajas, como es el caso de la Pampa del Bramadero.

Fisiográficamente, el área del proyecto minero está ubicado en los Andes Centrales, los que principalmente se caracterizan por contar con altas llanuras, comprendidas a más de 3 500 msnm. y que llevan la denominación de Región de la Puna o Altiplano (Ingemmet, 2008).

3.1.4. Clima y meteorología

La información disponible, datos de 25 meses de la estación La Zanja que cubren las temporadas seca y húmeda han permitido construir un año tipo. No existe información representativa adicional por parte del Servicio Nacional de

Meteorología e Hidrología (SENAMHI). La temperatura promedio mensual del aire varía entre 7,0 y 8,2 °C; la temperatura mínima mensual promedio varía entre 3,6 y 5,7 °C; la temperatura máxima mensual promedio alcanza valores entre 11,1 y 12,3 °C.

Para el análisis de precipitaciones, se contó con información de 18 estaciones pluviométricas cercanas a la zona del proyecto. La cantidad de información de cada estación fue variable dependiendo de su periodo de registro, siendo la estación Maqui Maqui la que contó con un menor periodo de registro (8 años) y la estación Bambamarca la que contó con un mayor periodo de registro (41 años).

La etapa de menores precipitaciones, se presentan en los meses de mayo a septiembre y el de grandes precipitaciones, entre los meses de octubre y abril. El área de estudio registra una precipitación anual promedio de 1 192 mm. El análisis de precipitación realizado por Water Management Consultants (2007), establece que la precipitación anual promedio en el área de La Zanja varía entre 1 086 mm a una altitud de 3 350 msnm y 1 281 mm a una altitud de 3 950 msnm.

3.1.5. Flora y Fauna

3.1.5.1. Flora

En el área de estudio se identificaron ocho tipos de formaciones vegetales: bofedal, césped de arroyo, pajonal de jalca, matorral, bosque de neblina, vegetación de abrigo rocoso, vegetación de roquedal y vegetación de fondo de quebrada. La mayor riqueza específica se encontró en el bosque de neblina, ubicado únicamente en la micro cuenca de la quebrada El Cedro, con 272 especies. En contraparte, la menor riqueza específica corresponde al césped de arroyo, con 36 especies.

Para el área del proyecto específicamente, se reportaron 15 especies endémicas del Perú, agrupadas en 13 familias botánicas. Algunas de estas especies reciben distintos usos por parte de los pobladores locales.

Se identificaron siete especies de flora que se encuentran incluidas en distintas categorías de la Lista Oficial Peruana de Especies Amenazadas de Flora Silvestre (D.S. N° 043-2006-AG). Las especies identificadas no se encuentran

incluidas en los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, siglas en inglés). Cinco de las especies identificadas en la línea base de flora se encuentran incluidas en las listas de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).

3.1.5.2. Fauna

Se identificaron nueve tipos de hábitat (bofedal, césped de arroyo, pajonal de jalca, matorral, bosque de neblina, vegetación de abrigo rocoso, vegetación de roquedal, vegetación de fondo de quebrada y río) en el área de estudio. El hábitat que presentó la mayor riqueza de especies en la micro cuenca de la quebrada El Cedro, fue el bosque de neblina con 62 especies de vertebrados. El hábitat que presentó la mayor riqueza de especies en la micro cuenca del río Pisit fue el de vegetación de abrigo rocoso con 17 especies de vertebrados. Para ambas micro cuencas, el hábitat que presentó la menor riqueza de especies fue el río, con 7 y 8 especies de vertebrados, respectivamente. Los hábitats evaluados se encuentran bastante influenciados por la presencia humana.

Debido a un conjunto de características que poseen las aves (presencia muy fácil de detectar, información abundante y disponible sobre ellas, entre otras), fueron elegidas para realizar las evaluaciones cualitativas y cuantitativas. Para el análisis cualitativo, se registraron 78 especies de aves en la micro cuenca de la quebrada El Cedro y 32 especies en la micro cuenca del río Pisit. La diferencia de resultados obtenidos entre ambas micro cuencas se debe principalmente a la presencia del bosque de neblina en la primera de ellas. Según el Neotropical Birds, Ecology and Conservation (Stotz et al, 1996), de las 83 especies registradas en ambas micro cuencas, alrededor del 7% de ellas son de sensibilidad alta, 45% de sensibilidad media y 48% de sensibilidad baja a las variaciones en sus hábitats. Para la evaluación cuantitativa se hicieron transectos en áreas de control y en áreas de impacto para el pajonal y el bosque de neblina (por su importancia), los cuales permitieron calcular índices de diversidad y similitud. El bosque de neblina presenta en general, valores de diversidad y número de especies mayores que los encontrados en el pajonal. El cálculo de amplitud de nicho ecológico se hizo para las especies que fueron registradas en los transectos.

De las 107 especies de fauna registradas en el área, 36 se encuentran incluidas en las listas nacionales e internacionales de conservación y/o como especies endémicas. En la micro cuenca de la quebrada El Cedro, 3 de las especies registradas se encuentran incluidas en la Lista Oficial Peruana de Especies de Fauna Amenazada (INRENA, D.S. N° 034-2004-AG).

El Apéndice II de CITES incluye a 21 de las especies registradas en la micro cuenca de la quebrada El Cedro y a 8 de las especies registradas en la micro cuenca del río Pisit.

En cuanto a las aves endémicas regionales, en la micro cuenca de la quebrada El Cedro, se registraron seis especies que figuran en la lista de Áreas de Endemismo para Aves (EBA, siglas en inglés). De ellas, 3 se encuentran registradas en la EBA 046 (Southern Central Andes) y para las EBA 048 (Arid Marañon Valley), EBA 051 (Peruvian high Andes) y EBA 045 (Tumbesian region), se registró 1 especie en cada una de ellas. Adicionalmente a las aves endémicas regionales, en la micro cuenca de la quebrada El Cedro se registraron 2 especies endémicas para el Perú (Clements y Shany, 2001).

Finalmente, también fueron registradas 2 especies de roedores, 1 especie de reptil y 1 especie de anfibio que constituyen especies endémicas para el Perú (Pacheco, 2002; Rodríguez et al, 1993).

3.1.6. Contexto Geológico

3.1.6.1. Geología Regional

En el área del proyecto se presentan afloramientos de rocas de origen volcanoclásticas, que consisten en una secuencia de tufos y lavas, de naturaleza andesíticas, dacíticas y riolíticas, pertenecientes a las formaciones Llama, Porculla y Volcánicos Huambo. De acuerdo con el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET – 2008), las edades geológicas de estas rocas varían entre el Eoceno Superior al Mioceno Superior y Plioceno Tardío. En los alrededores del área del proyecto, existen también cuerpos subvolcánicos asociados con un evento volcánico-magmático contemporáneo a los depósitos piroclásticos.

El Volcánico Llama consiste principalmente de una secuencia gruesa de piro-clásticos y derrames, la litología está representada por brechas andesíticas de color morado oscuro, derrames o lavas andesíticas porfiríticas gris verdoso y gris azulado y tufos dacíticos de varios colores. El volcánico Porculla consiste de un grosor considerable de lavas afaníticas dacíticas con intercalaciones de tufos piro-clásticos que son generalmente más abundante que los derrames. El volcánico Huambo está compuesto por tobas y brechas de composición mayormente ácida, donde presentan minerales de cuarzo de hasta 3 mm de diámetro y cristales ehedrales de biotita en una matriz feldespática que probablemente corresponde a una toba dacítica. Sobre la secuencia volcanoclástica e influenciado por los cuerpos subvolcánicos, se han desarrollado yacimientos metálicos, como el de San Pedro Sur, definido como un epitermal tipo "High Sulfidation". Este tipo de yacimiento, se caracteriza por presentar un zoneamiento marcado de alteración hidrotermal, de silicificación en la parte central y gradación a rocas argílicas hacia los bordes (Knight Piésold Consultores, 2007).

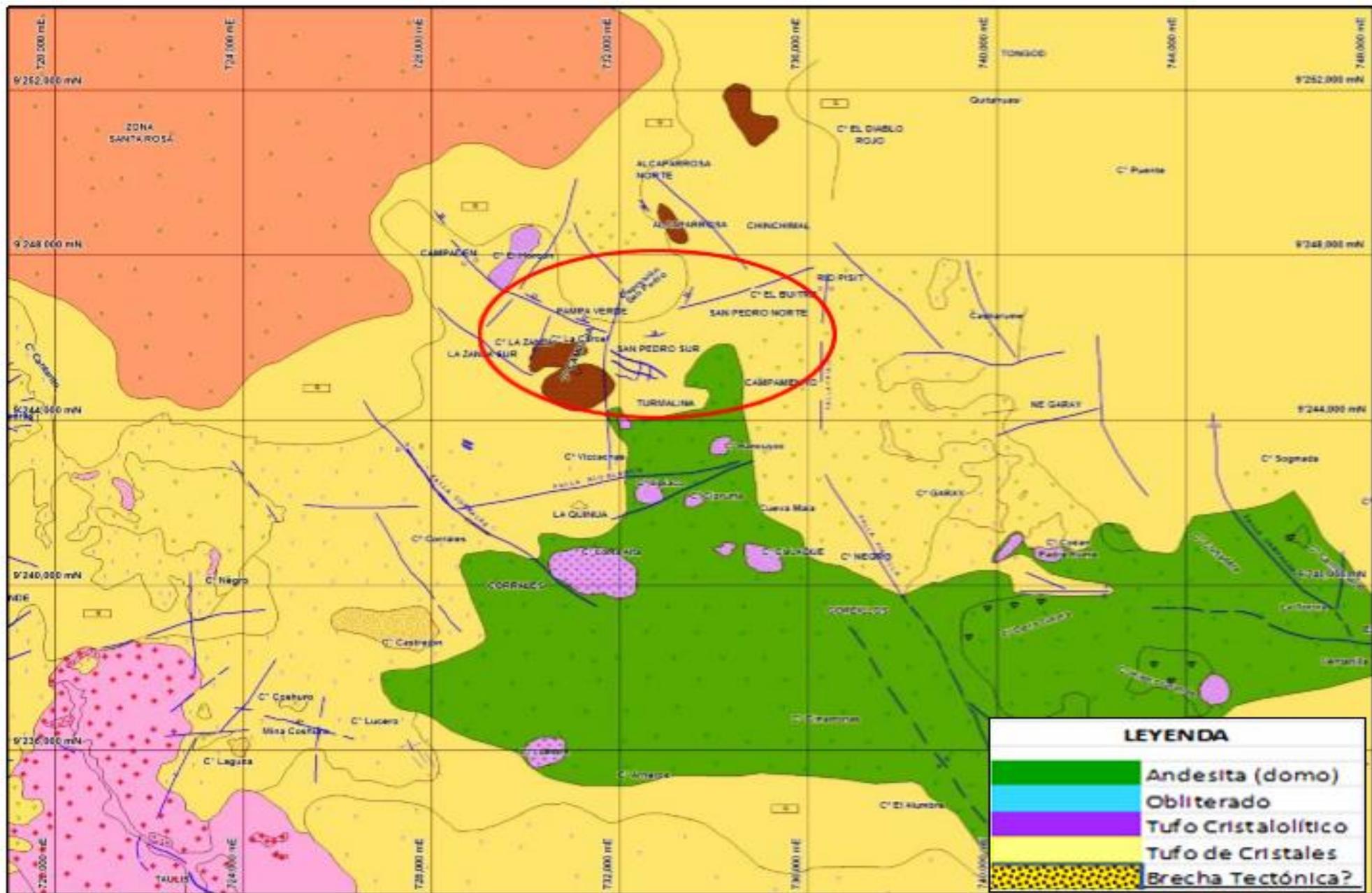


Figura N°12: Vista en planta de la Geología Regional (Knight Piésold Consultores, 2007)

3.1.6.2. Geología Local

En el área del Proyecto La Zanja a nivel local, afloran principalmente rocas volcánicas piroclásticas y derrames de la Formación Llama y rocas volcánicas de la Formación Porculla; las rocas de la Formación Huambo afloran al noroeste del área del proyecto fuera de los límites del desarrollo de las operaciones. En vista que se ha establecido que la caldera del volcán que estuvo activo durante el paleógeno se ubica en la quebrada El Cedro, se han reconocido rocas en varias secuencias que son descritas a nivel local en los siguientes ítems:

Secuencia de borde de caldera

Tufos cristalolíticos afloran extensamente en el área del yacimiento; son tufos moderadamente soldados que presentan fragmentos líticos de diferente tamaño y cristales de cuarzo en una matriz generalmente silicificada. Su composición varía de tufos dacíticos a riodacíticos.

Tufos ignimbríticos con textura fiámica, afloran en el sector norte y noreste del yacimiento, son de composición andesítica a dacítica, presentan textura fiámica y porfírica; existen delgados horizontes de tufos de lapille intercalados con éstos. El bandeamiento de flujo observado es generalmente hacia afuera del borde de la depresión de la caldera. Por lo general, se presentan menos alterados que el resto de la secuencia.

Secuencia intra caldera

Se han reconocido rocas de facies intra caldera en el yacimiento. Al noreste, cerca al cerro Chinchimal, se presentan rocas laminares de chert silíceo. Además, la secuencia de brechas de flujo y depósitos de avalanchas que ocurren en la depresión tectónica, identifican claramente a esta secuencia.

Domos e intrusiones subvolcánicas

Se tiene varias evidencias de intrusiones intraminerales de domos y stocks subvolcánicos que afectan la secuencia de tufos. En el cerro Alcaparrosa se presenta una serie dómica de composición riolítica, reconocida por texturas de flujo en los bordes y auto brechas en los contactos.

En la parte sur del área de San Pedro Sur, aflora una roca porfírica de composición intermedia (cuarzo-feldespato-biotita) que corta la secuencia volcánica con algunas intrusiones de brechas en los bordes. Por lo general, esta litología se muestra alterada, variando de silicificación a argilización avanzada. La expresión superficial de esta roca es una fuerte lixiviación supérgena de los feldespatos que simulan una textura “vuggy sílica”.

Brechas volcánicas afloran al suroeste del área de San Pedro Sur y se presentan en los contactos entre los domos y los tufos soldados. Son brechas formadas por fragmentos silicificados y alterados de rocas de fragmentos piroclásticos. Ocurren asociados a domos endógenos que representan sus bordes y canales alimentadores (Knight Piésold Consultores, 2007).

Tabla N°7: Características del material de la Unidad Minera La Zanja

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
Descripción	Cantidad	Unidades
Toneladas de Mineral Total	17 714 000	TM
Densidad de mineral	2.374	Gr/cm3
Ley Promedio de Oro	0.88	Gr./Ton.
Ley Promedio de Plata	6.6	Gr./Ton.
Cantidad de Oro Contenido	492688	Onzas
Relación de Desbroce	0.45	

3.1.7. Ciclo de Minado en los tajos Pampa Verde y San Pedro

Las operaciones de explotación de mineral en Minera La Zanja, por encargo de la Superintendencia de mina las realiza la empresa San Martín Contratistas Generales S.A. En el año 2018 se estaba explotando dos frentes el tajo Pampa Verde y el tajo San Pedro, de las cuales se extrae el mineral y/o material estéril que son cargados y acarreados hacia las zonas de descarga designadas.

Cabe mencionar que las operaciones realizadas por San Martín Contratistas Generales S.A. en Minera La Zanja son perforación, voladura (Carguío de taladros y amarre de malla), carguío del material volado, acarreo, Trabajos

Auxiliares (mantenimiento de vías y sistema de drenaje, construcción de rampas operativas y de diseño, perfilado de taludes, mantenimiento de PAD y botadero).

Los trabajos de diseño de mallas de perforación y diseños de carga de voladura son realizados por el titular minero (Minera MLZ SRL.), así como también el planeamiento a corto y largo plazo. En cuanto a la verificación de calidad del explosivo, el buen funcionamiento del camión fábrica que se utiliza en campo y las sugerencias de diseño las hace la empresa Famesa Explosivos S.A.C. Y en lo que refiere la ejecución de la voladura electrónica es realizada por la empresa Davey Bickford Perú S.A.C.

3.2 Metodología de la Investigación

3.2.1. Tipo de investigación

La investigación realizada es de tipo Descriptivo, ya que se ha basado en la descripción de eventos determinados y se ha estudiado características de los objetos que se han sometido a la investigación.

3.2.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación realizada es Descriptiva – Correlacional-Causal, es decir; descriptiva porque se detallan las condiciones del escenario actual y correlacional-causal porque se describen relaciones entre las variables en un momento determinado, en función de la relación causa-efecto.

3.2.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental, ya que no implica una manipulación de la situación, es decir, se basa en la observación de los hechos para luego ser analizados.

3.2.4. Método de investigación

El método de investigación es descriptivo porque se describe las condiciones en las que se realiza la investigación.

3.2.5. Población de estudio

Conformado por la operación unitaria de voladura, aplicada en Minera La Zanja.

3.2.6. Muestra de estudio

La muestra de estudio está conformada por veinticuatro disparos, realizados en los tajos San Pedro y Pampa Verde, de Minera La Zanja.

3.2.7. Unidad de análisis

Conformado por los resultados de los disparos en las zonas de la mina en estudio, utilizando la emulsión gasificable Sang Apu.

3.3. Procedimiento

3.3.1. Etapa de gabinete

En esta etapa se realizó la revisión de bibliografía, referida a voladura en minería a tajo abierto y bibliografía referida a la emulsión gasificable Sang Apu, utilizada en la investigación, así como investigaciones realizadas previamente a productos similares, informes y trabajos hechos anteriormente relacionados al producto, en base a esto se pudo determinar que, por ser un agente explosivo relativamente nuevo en el mercado, hay muy pocos trabajos de investigación basados en la misma, por tal motivo, se logró recopilar información de las hojas técnicas de cada producto químico que se utiliza y también se utilizó información de libros del fabricante del agente explosivo en este caso, de la empresa Famesa Explosivos SAC.

3.3.2. Etapa de campo

En esta etapa se realizó el control, ejecución y recolección de datos en campo, de todo lo relacionado a los veinticuatro disparos en los que se han utilizado el explosivo el Sang Apu, así mismo se verifica la calidad, condiciones y el procedimiento correcto para tener resultados más precisos al momento de utilizarlos en el cruce de datos.

3.3.3. Etapa de gabinete

A partir de la toma de datos en campo se procedió al análisis y procesamiento de toda la información recolectada, para obtener los resultados y determinar todo lo planteado y así poder elaborar el informe final.

3.4. Definición de Variables

3.4.1. Variable Independiente

Emulsión gasificable Sang Apu: Es un componente químico llamada emulsión gasificable, compuesta por una solución química, en una fase combustible continua y controlada por un emulsificante, que genera así un explosivo.

3.4.2. Variable dependiente

Disminución de costos de voladura en minera La Zanja: Es el beneficio que obtenemos al utilizar Sang Apu, en el proceso de voladura y las ventajas operativas, económicas y medioambiental.

3.5. Equipos y materiales

En el desarrollo de la presente tesis, para el trabajo de campo y gabinete, fue necesario el uso de materiales y equipos, tales como:

a) Equipos

- **Cámara digital:** Se utilizó para tomar tomas fotográficas del explosivo y poder evidenciar las condiciones y la forma de trabajo que se realiza con el mismo.
- **Laptop:** Se utilizó para la recolección, análisis e interpretación de los datos recolectados en campo.
- **Kit de medición de densidades:** Se utilizó para obtener los resultados de la toma de muestra de las densidades del explosivo Sang Apu, que se está utilizando.
- **Equipo MicroTrap (Medición de VOD):** Se utilizó para poder determinar la velocidad de detonación (VOD), con la que el explosivo se desempeña en campo.
- **Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instantel:** Se utilizó para determinar la magnitud de las vibraciones que se generan por la voladura hecha y así determinar si se encuentran dentro de los estándares.

b) Materiales

- **Libreta y lapiceros:** Se utilizó para la anotación de datos y análisis realizado.

3.6. Perforación en los tajos San Pedro y Pampa Verde.

En Minera La Zanja se cuenta con dos perforadoras principales DM45 Atlas Copco encargadas de perforar los taladros de producción, cuyo diámetro de broca es de 6 $\frac{3}{4}$ pulgadas. Así mismo, se cuenta con una perforadora Roc L8 Atlas Copco y dos perforadoras Pantera DP1500i Sandvick para la perforación

de taladros de pre cortes, taladros buffer y perforación secundaria si fuera requerida.

3.6.1. Taladros de producción

Los taladros de producción cuentan con un fin importante que es triturar la roca, es así, que se tiene que generar bastante energía para vencer la resistencia de tracción del macizo rocoso y conseguir la granulometría de roca planificada. En Minera La Zanja, los pozos de producción se realizan con un diámetro de 6 3/4", con un espaciamiento de 4.8 m y un burden de 4.2 m. La labor de perforación de los mismos se hace con dos (02) perforadoras DM45 y la Roc L8.

3.6.2. Taladros Buffer

El tajo abierto donde se trabaja, en Minera la zanja se ubica en pendientes, hay un sector de crestas en la que el diseño de los proyectos ubicados en la misma, requiere la utilización de 2 filas de buffer, de esta manera poder controlar la caída de material volado hacia el bosque colindante. Los taladros buffer se realizan con diámetro de 6 3/4", con un espaciamiento de 3.5 m y un burden de 3.0 m. El trabajo de perforación de los mismos, se realiza con las perforadoras DM45.

3.6.3. Taladros de Precorte

Los taladros de precorte, son hechos con menos diámetro que los de producción, un espaciamiento más pequeño y una menor cantidad de explosivo, esto justamente para hacer una apropiada presión de taladro que lleve a realizar un plano de fractura.

Los taladros ya mencionados se realizan con diámetro de 3.5", con un espaciamiento de 1.50 m. El trabajo de perforación se hace con las dos (02) perforadoras Pantera DP1500i Sandvick y se trabaja con un ángulo de inclinación de 65°, así mismo se realiza el precorte de 12 m de largo (doble banco de 6m).



Figura N°13: Perforadora DM45 y Camión Fábrica, perforando y cargando taladros, en el nivel 3504 del tajo San Pedro.

Tabla N° 8: Equipos de Perforación en Minera La Zanja

Equipo	Código	Descripción	Marca	Modelo
Perforadora	EP-14	Orugas rotativas	Atlas Copco	DM45
Perforadora	EP-17	Orugas rotativas	Atlas Copco	DM45
Perforadora	EP-25	Orugas rotativas	Atlas Copco	Roc L8
Perforadora	EP-34	Orugas rotativas	Sandvick	Pantera DP1500i
Perforadora	EP-37	Orugas rotativas	Sandvick	Pantera DP1500i

3.7. Voladura en los tajos San Pedro y Pampa Verde

En Minera La Zanja, se trabaja con especial cuidado esta operación unitaria, pues un resultado adverso en esta operación, obliga a efectuar minados selectivos y adicionales, que causan incremento en los costos de operación.

Es por eso que siempre están haciendo mejoras, tanto en los productos que se utilizan en voladura, como en los ajustes técnicos y diseños que se realizan y se revisan periódicamente en base a los resultados obtenidos, para así poder llevar una operación unitaria de voladura de calidad, que permita lograr una granulometría adecuada de la roca, con un mínimo daño en su entorno.

3.7.1. Emulsión gasificada Sang Apu

Es un componente químico llamada emulsión gasificable, compuesta por una solución química, en una fase combustible continua y controlada por un emulsificante, que genera así un explosivo.

En este caso se utiliza un camión fábrica en el cual se hace una combinación entre la Matriz Sang Apu inerte, la solución sensibilizante denominada N-30 y adicionalmente a ello se agrega agua, luego de esta combinación de productos podemos decir que es una emulsión gasificada que será puesta al taladro, de acuerdo a la cantidad requerida, según diseño de taladro.

El tiempo utilizado para gasificar debe establecerse a los 20 minutos después de combinar los componentes, es decir, una vez que la emulsión gasificada, se encuentra en el taladro, con la densidad requerida, se espera 20 minutos para que esponje completamente y luego proceder a colocar el respectivo taco, constituido por el detritus producto de la perforación o roca chancada fina y angulosa.



Figura N° 14: Camión fábrica F1S-726 de 24 toneladas.

Tabla N° 9: Características del camión fábrica

Marca	Netzsch
Tipo	Cavidad Progresiva
Presión Max.	200 psi
Velocidad Max.	250 rpm
Flujo SANG APU®	400 - 550 kg/min



Figura N°15: Personal de campo cargando taladro y tomando muestra para verificación de densidad.

3.7.2. Accesorios de voladura utilizados en Minera La Zanja

Son los productos y accesorios utilizados para cebar a los explosivos y transferir así una energía explosiva que trasladará una onda detonadora de un lugar a otro o de un taladro a otro y los suficientes para probar las conexiones y disparar los explosivos para que pueda llevarse a cabo una voladura. Los accesorios utilizados en la voladura son los subsiguientes señalados en forma general, cabe señalar que se realizan voladuras pirotécnicas y electrónicas, según sea el caso y las necesidades.

- Detonadores electrónicos
- Emulsión encartuchada
- Booster

- Retardo de fondo
- Retardos de superficie
- Cordón detonante
- Cable de disparo

3.8. Evaluación técnica

3.8.1. Esponjamiento y control de la densidad en la columna explosiva

La emulsión Sang Apu, al ser una combinación de líquidos inmiscibles, está predispuesto a ser comprimido (por ello, va tener más densidad que la señalada en una báscula por medio de un recipiente) y depende de la presión que pueda ejercer el peso sobre la carga explosiva. Es importante tener en cuenta que las condiciones que podemos encontrar en el taladro son muy diferentes a la que se encuentra en la columna explosiva y es necesario al momento de efectuar el carguío de taladros, tener mucho cuidado al medir el taco inicial.

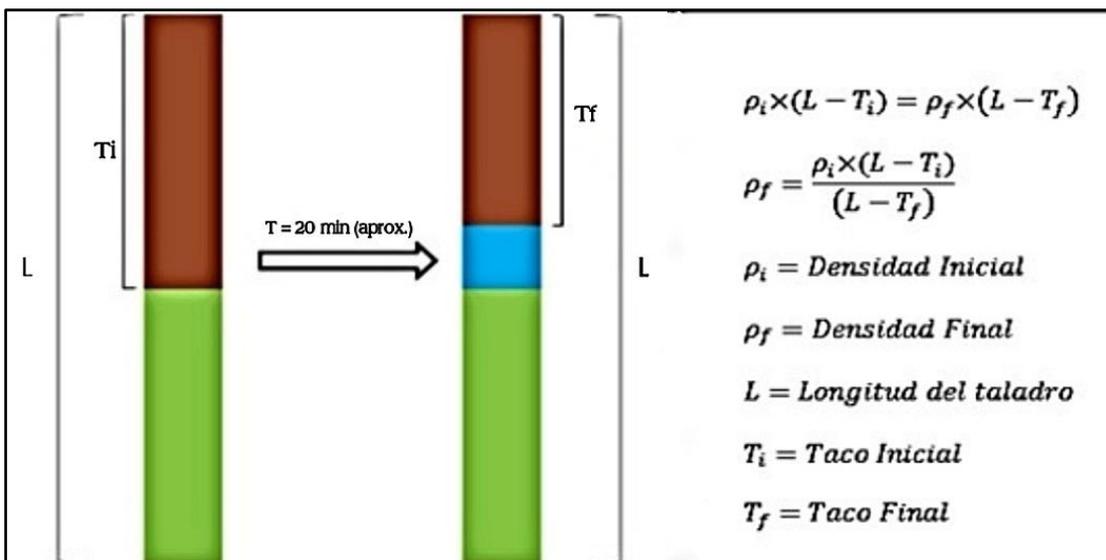


Figura N° 16: Cálculo de la densidad promedio real luego del esponjamiento.

En base a estos datos se hace el diseño de carga con el que se trabajará el carguío de los taladros de producción, en el cual se tiene en cuenta los parámetros indicados en el diseño siguiente:

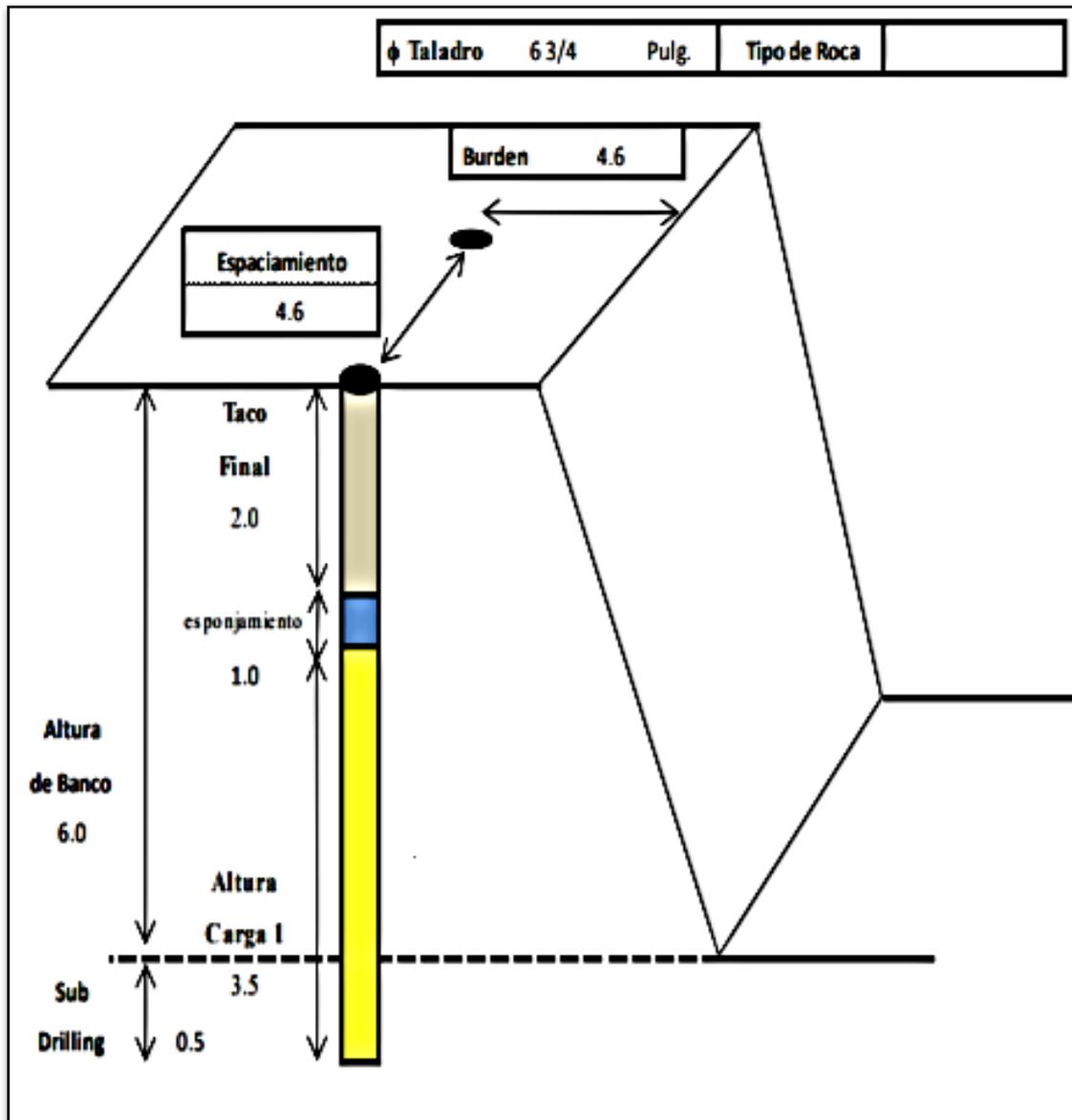


Figura N°17: Esquema del diseño de carga en el taladro.

La correcta verificación de la Densidad Final es de gran trascendencia para obtener los resultados deseados de la tronadura. En minera la Zanja, se han realizado las tronaduras a una Densidad Final Gasificada de Sang Apu de 0.90 g/cm³. El cuadro siguiente muestra los monitoreos hechos en campo.

Tabla N°10: Control de densidad inicial y densidad final

CONTROL DE DENSIDAD Y ESPONJAMIENTO							
Fecha	Proyecto	Temp. (°C)	%N-30	Dens_0min	Dens_5min	Dens_10min	Dens_20min
9/04/2018	P3396_048	22.4	1.3	1.28	1	0.99	0.98
10/04/2018	P3350_036	23	1.28	1.28	1.09	0.99	0.98
15/04/2018	P3432_047	25	1.28	1.27	1.04	1	0.98
18/04/2018	P3444_035	21	1.3	1.28	1.07	1.01	0.98
19/04/2018	P3426_043	25	1.34	1.28	1.06	1.03	0.99
20/04/2018	P3426_044	21	1.48	1.27	0.98	0.93	0.92
20/04/2018	P3444_037	21	1.55	1.28	0.94	0.95	0.9
22/04/2018	P3390_046	23	1.75	1.28	0.95	0.92	0.9
23/04/2018	P3426_045	28	1.35	1.28	0.99	0.94	0.91
24/04/2018	P3444_038	33.5	1.59	1.27	0.96	0.92	0.9
26/04/2018	P3444_039	30	1.6	1.28	0.93	0.91	0.9
28/04/2018	P3438_033	25	1.7	1.27	0.94	0.92	0.9
29/04/2018	P3264_004	29	1.35	1.29	0.93	0.92	0.91
29/04/2018	P3426_046	17	1.8	1.28	0.95	0.93	0.91
30/04/2018	P3294_005	22	1.7	1.29	0.93	0.91	0.9
12/06/2018	P3288_003	20	1.55	1.27	1.07	0.98	0.92
15/06/2018	P3432_048	10	1.18	1.27	0.99	0.98	0.92
18/06/2018	P3288_004	8	1.2	1.27	1.07	0.97	0.95
20/06/2018	P3384_041	10	1.18	1.3	1.21	1.14	0.98
23/06/2018	P3294_009	10	1.38	1.3	1.15	1.13	1.1

3.8.2. La velocidad de detonación (VOD) para la emulsión Sang Apu

Para el correcto desempeño del explosivo Sang Apu y su continua verificación y supervisión de la misma en las columnas explosivas, se hacen las pruebas de VOD con ayuda de un equipo especial denominado MicroTrap. Se hacen las pruebas periódicamente y programadas para poder determinar el rendimiento y como el explosivo es despachado desde planta llega a mina cada semana y se hace esta prueba para determinar la calidad y la funcionalidad del explosivo.

Basándose en ello se puede plantear que al tener velocidades de detonación (VOD) altas, con explosivos de menos densidad y que genera un máximo

esponjamiento, la presión de detonación será tan igual que otros productos explosivos comunes que se comercializan en el medio.

$$P = 0.25 \times \rho e \times (VOD)^2$$

Donde:

P = Presión de detonación (MPa)

ρe = Densidad del Explosivo (gr/cm³)

Vd = Velocidad de detonación (m/s)

Tabla N°11: Resultados de la velocidad de detonación (VOD)

INFORMACIÓN DEL PROYECTO			VELOCIDAD DE DETONACIÓN						
Fecha	Tajo	Proyecto	ID Taladro	Tipo_Tal (m)	Long_Tal(m)	Diam_Tal (pulg)	Dens_Final (g/cm ³)	Expl_Tal (kg)	VOD (m/s)
10/04/2018	San Pedro	P3450_036	10194	Produccion	6.3	6.75	0.99	90.00	5405.16
15/04/2018	San Pedro	P3432_047	10623	Produccion	7.8	6.75	0.98	110.00	5312.40
17/04/2018	San Pedro	P3444_035	9997	Produccion	7.2	6.75	0.98	110.00	5253.40
18/04/2018	San Pedro	P3426_043	10972	Produccion	7.2	6.75	0.98	115.00	5346.00
8/05/2018	San Pedro	P3438_035	11425	Produccion	6.5	6.75	0.91	110.00	5195.90

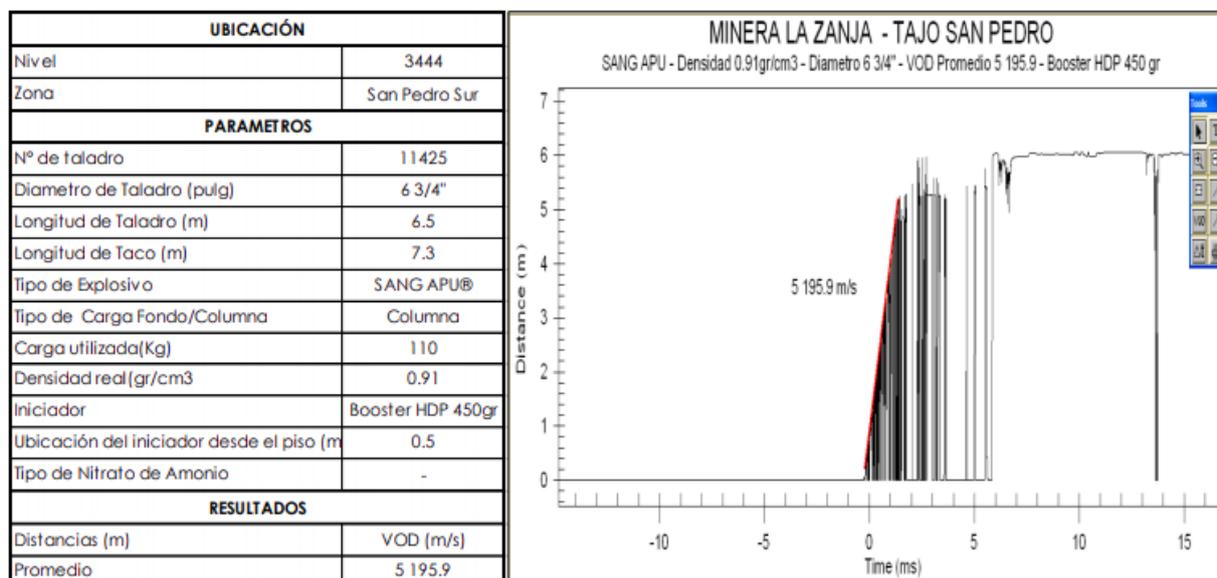


Figura N°18: Reporte de medición de VOD Proyecto 3438_035

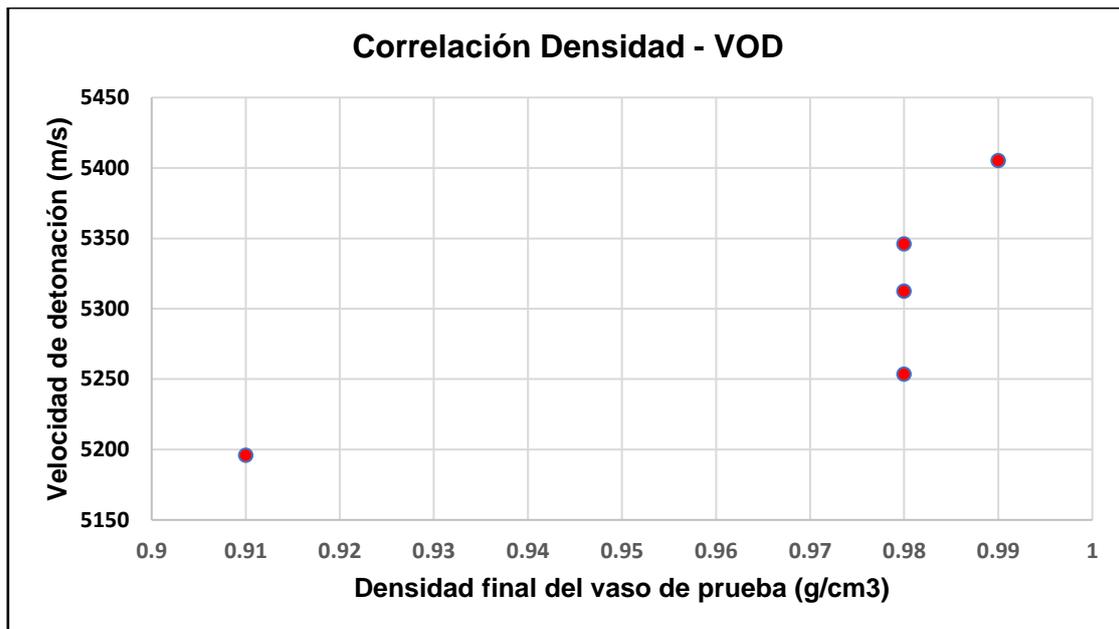


Figura N° 19: Correlación entre densidad final y el resultado de VOD

Con estos resultados de velocidad de detonación y en comparación con las densidades, podemos determinar el buen desempeño del explosivo y plantearnos que mientras disminuya la densidad se va a tener una menor velocidad de detonación y a más densidad mayor velocidad de detonación, es decir, adecuándonos al terreno y los requerimientos de mina se puede trabajar en diferentes densidades y poder obtener y garantizar mejoras en la fragmentación con menor cantidad de explosivo por taladro.

3.8.3. Análisis de fragmentación

El análisis de fragmentación es un aspecto muy importante que se tiene en cuenta en las voladuras en los tajos San Pedro y Pampa Verde, pues en base a ello, se ve los resultados y el rendimiento que va teniendo la utilización de la emulsión Sang Apu en la operación unitaria de voladura.

En cada voladura que se realiza, se analiza la fragmentación con ayuda del software WipFrag y un par de esferas usadas como rango patrón, para poder determinar la escala.

En base a esto se ha seguido el siguiente procedimiento y se ha obtenido los resultados que en las tablas se muestran a continuación.

- Para el proyecto NV 3276 PL 24 – Tajo Pampa Verde

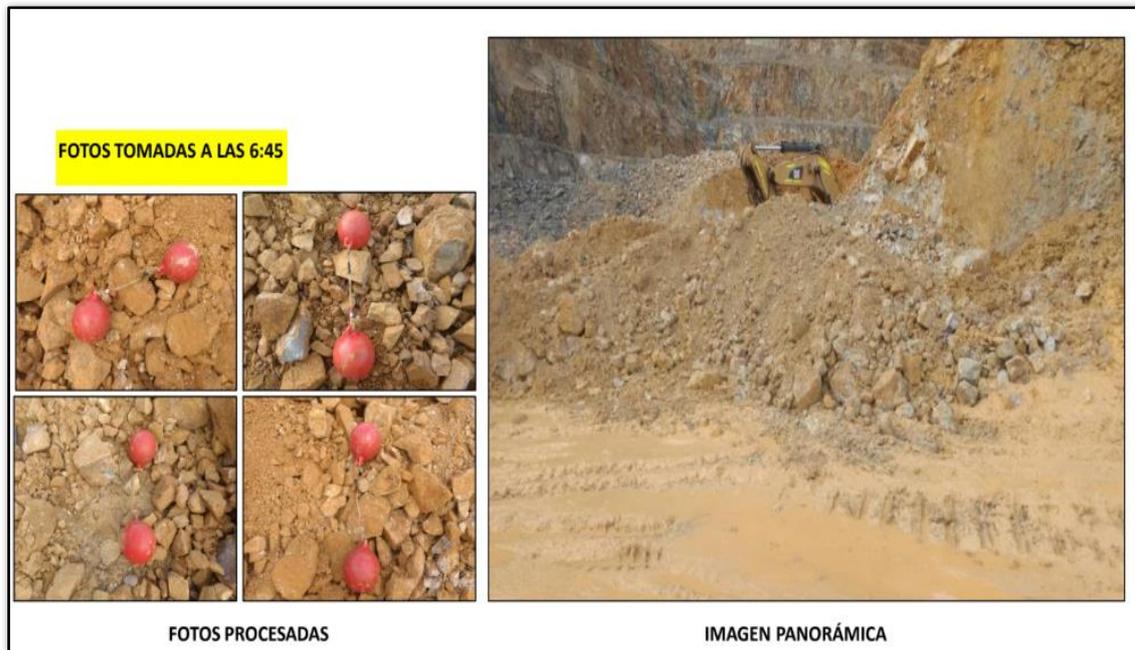


Figura N°20: Toma de fotografías para análisis granulométrico NV 3276 PL 24

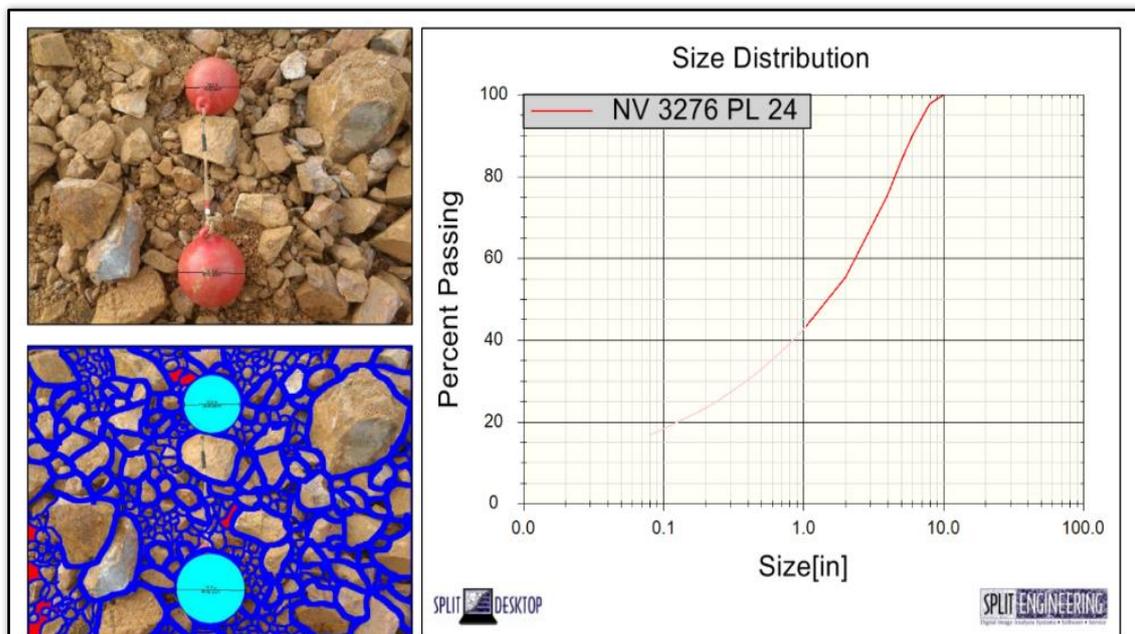


Figura N°21: Análisis con el SPLIT – DESKTOP para proyecto NV 3276 PL 24

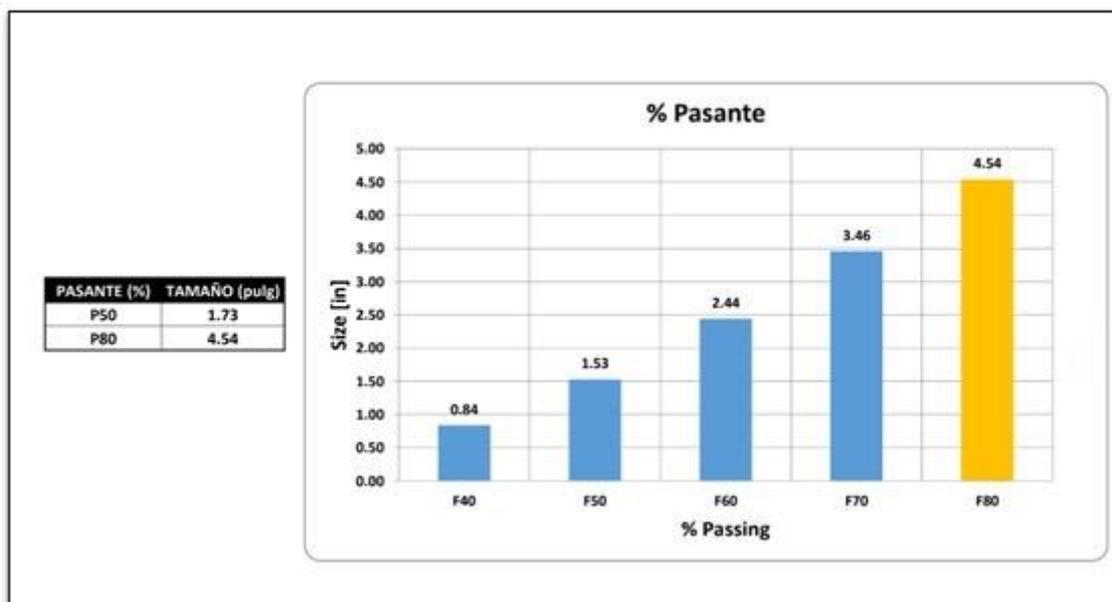


Figura N°22: Resultados del Tamiz (P50, P80) para proyecto NV 3276 PL 24

Tabla N°12: Tabla de granulometría para proyecto NV 3276 PL 24

NV 3276 PL 24		FOTO 1	FOTO 2	FOTO 3	FOTO 4
Size (in)	%Passing	%Passing	%Passing	%Passing	%Passing
15.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10.00	99.92	100.00	100.00	100.00	99.57
8.00	97.76	97.35	96.66	99.79	97.11
6.00	90.00	88.18	85.18	96.95	89.78
5.00	83.59	81.17	77.43	93.58	82.00
4.00	75.20	72.82	68.55	87.23	71.45
2.00	55.47	53.59	49.87	66.59	50.80
1.00	42.73	43.43	36.12	52.73	36.32
0.75	38.37	39.93	31.58	47.69	31.58
0.50	32.98	35.46	26.12	41.37	25.92
0.38	29.63	32.60	22.82	37.39	22.53
0.25	25.49	28.94	18.85	32.41	18.47
0.19	22.90	26.57	16.44	29.26	16.02
0.08	16.70	20.63	10.93	21.59	10.48

Tabla N°13: Tabla de granulometría que muestra el P50 y P80 para proyecto NV 3276 PL 24

NV 3276 PL 24		FOTO 1	FOTO 2	FOTO 3	FOTO 4
% Passing	Size (in)				
F5	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
F10	0.02	0.01	0.07	0.01	0.07
F20	0.13	0.07	0.28	0.06	0.29
F30	0.39	0.28	0.67	0.2	0.67
F40	0.84	0.75	1.24	0.45	1.22
F50	1.53	1.64	2.01	0.86	1.94
F60	2.44	2.66	3.09	1.45	2.96
F70	3.46	3.7	4.15	2.28	3.87
F80	4.54	4.84	5.31	3.21	4.79
F90	6.00	6.30	6.73	4.37	6.04
Topsize (99.95 %)	10.16	9.66	9.63	8.17	10.37

- Para el proyecto NV 3276 PL 17 – Tajo Pampa Verde

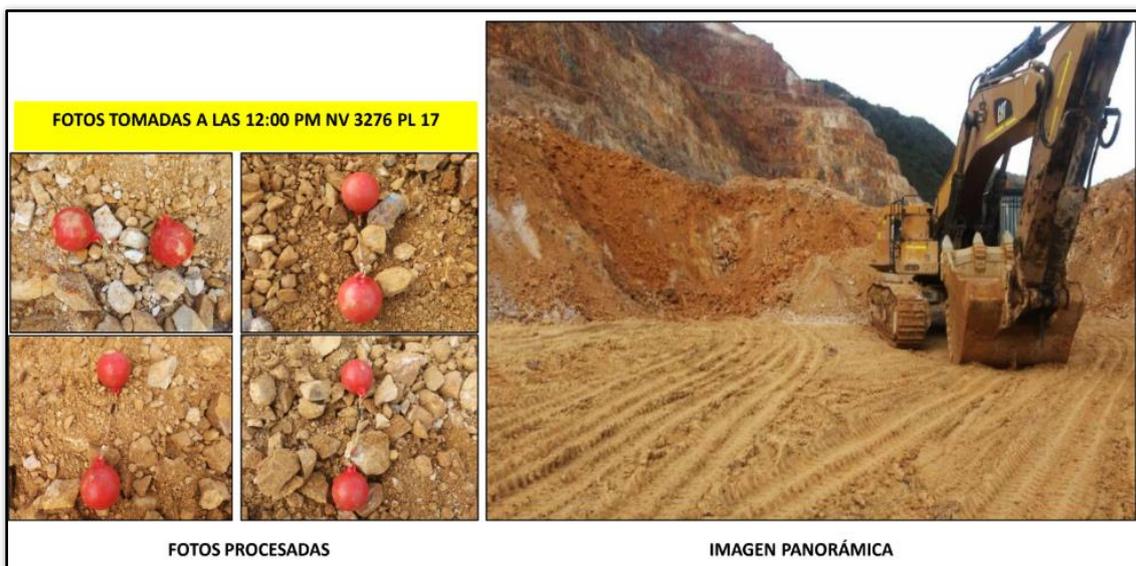


Figura N°23: Toma de fotografías para análisis granulométrico NV 3276 PL 17

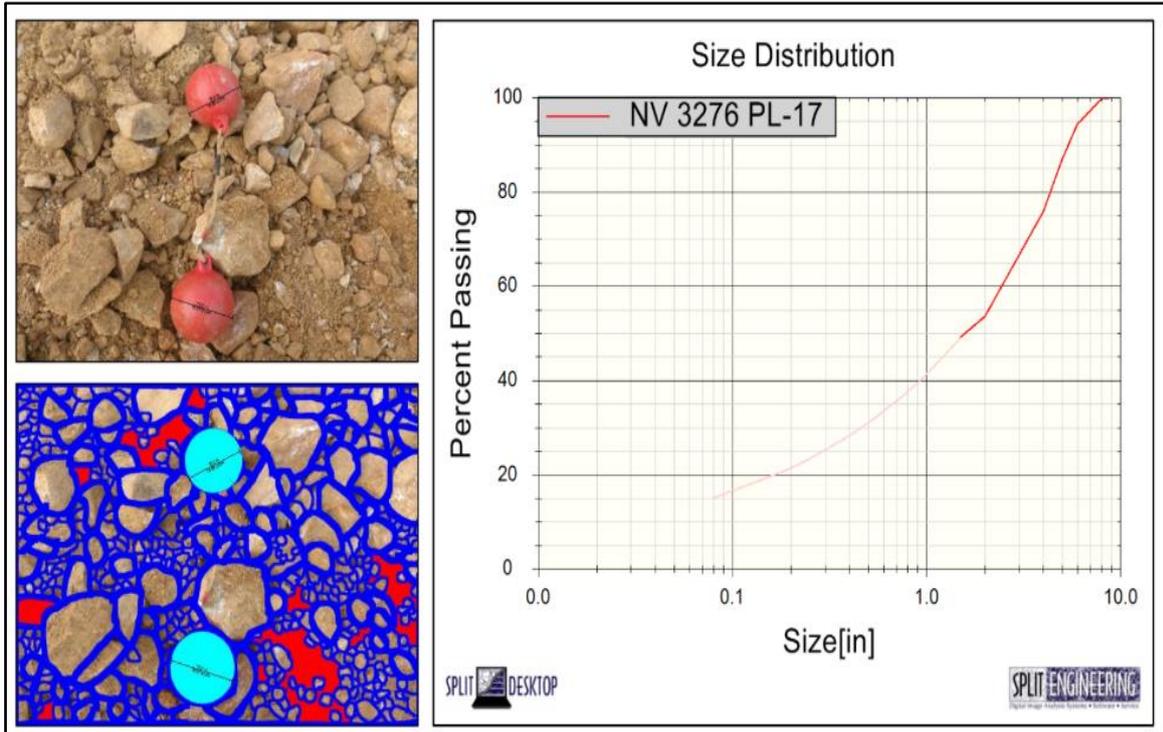


Figura N°24: Análisis con SPLIT – DESKTOP para proyecto NV 3276 PL 17

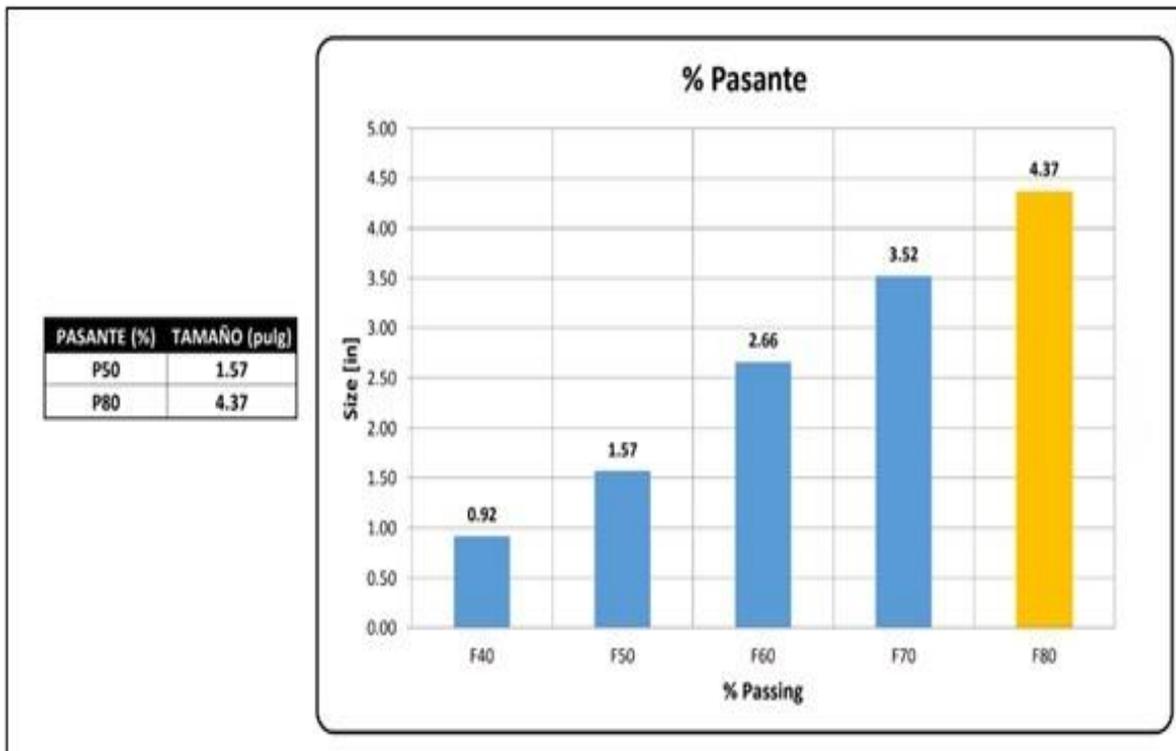


Figura N°25: Resultados del Tamiz (P50, P80) para proyecto NV 3276 PL 17

Tabla N°14: Tabla de granulometría para proyecto NV 3276 PL 17

NV 3276 PL 17		FOTO 1	FOTO 2	FOTO 3	FOTO 4
Size (in)	%Passing	%Passing	%Passing	%Passing	%Passing
15.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
8.00	99.62	100.00	99.42	99.15	100.00
6.00	94.22	98.19	93.92	92.12	93.90
5.00	86.65	91.63	87.98	84.24	84.65
4.00	75.77	80.22	80.00	74.31	70.40
2.00	53.59	52.45	65.05	56.43	42.36
1.00	41.40	37.26	55.52	45.04	29.30
0.75	36.71	31.86	51.55	40.41	24.46
0.50	31.07	25.54	46.42	34.66	18.95
0.38	27.64	21.83	43.09	31.08	15.80
0.25	23.50	17.48	38.79	26.64	12.23
0.19	20.96	14.90	35.99	23.86	10.17
0.08	15.05	9.26	28.81	17.18	5.87

Tabla N°15: Tabla de granulometría que muestra el P50 y P80 para proyecto NV 3276 PL 17

NV 3276 PL 17		FOTO 1	FOTO 2	FOTO 3	FOTO 4
% Passing	Size (in)				
F5	0.01	0.03	0	0.01	0.06
F10	0.02	0.09	0.01	0.02	0.18
F20	0.17	0.32	0.02	1.12	0.54
F30	0.46	0.67	0.09	0.34	1.04
F40	0.92	1.14	0.28	0.73	1.76
F50	1.57	1.79	0.67	1.32	2.65
F60	2.66	2.58	1.35	2.49	3.33
F70	3.52	3.28	2.7	3.58	3.97
F80	4.37	3.98	3.92	4.56	4.64
F90	5.38	4.83	5.31	5.68	5.53
Topsize (99.95 %)	8.71	6.75	8.67	8.89	7.61

- Para el proyecto PAD L8

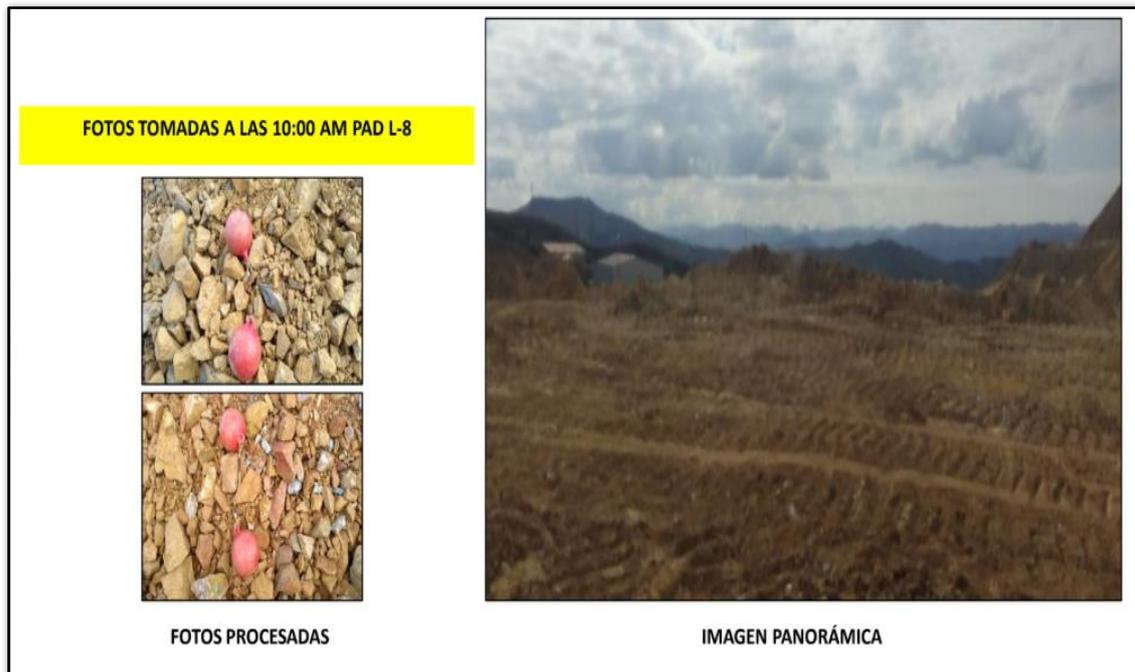


Figura N°26: Toma de fotografías para análisis granulométrico PAD L8

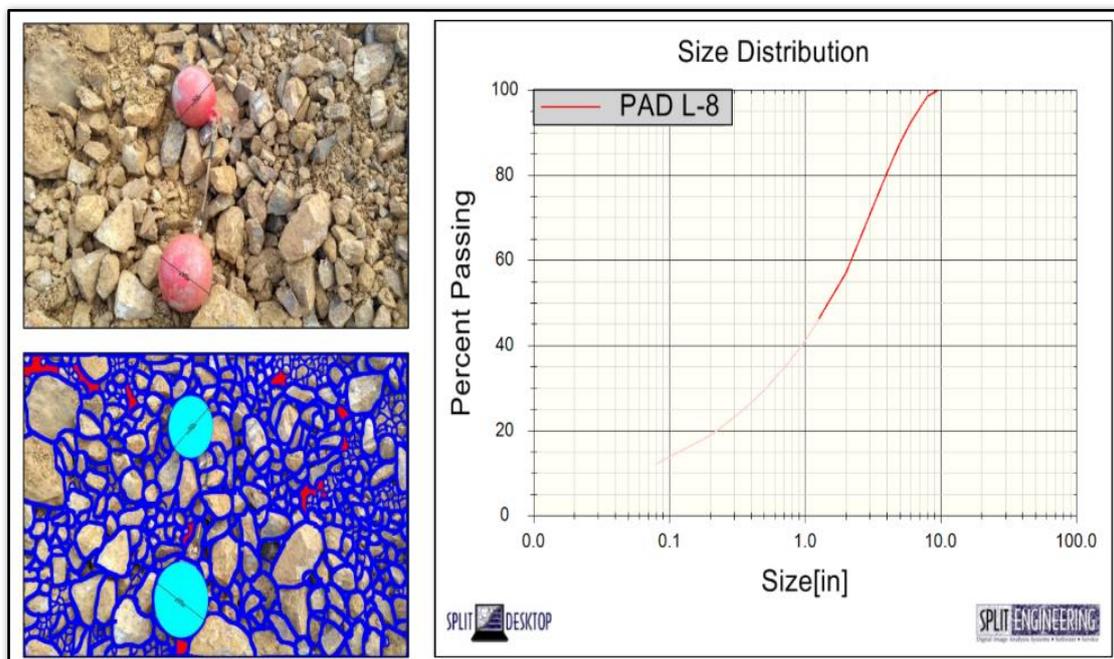


Figura N°27: Análisis con SPLIT – DESKTOP para proyecto PAD L8

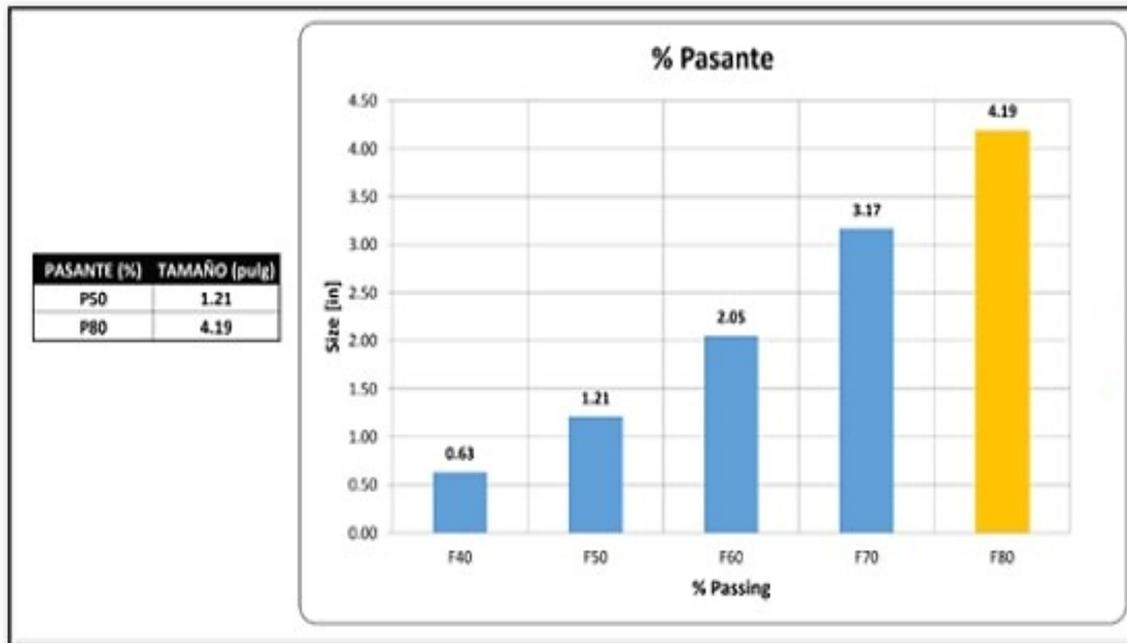


Figura N°28: Resultados del Tamiz (P50, P80) para proyecto PAD L8

Tabla N°16: Tabla de granulometría para proyecto PAD L8

PAD L-8		FOTO 1	FOTO 2
Size (in)	%Passing	%Passing	%Passing
15.00	100.00	100.00	100.00
10.00	100.00	100.00	100.00
8.00	99.78	99.70	99.87
6.00	93.45	93.89	93.02
5.00	87.04	88.79	85.29
4.00	78.12	82.37	73.89
2.00	59.49	67.76	51.24
1.00	46.87	57.68	36.09
0.75	42.48	53.81	31.18
0.50	37.06	48.78	25.37
0.38	33.69	45.50	21.90
0.25	29.51	41.24	17.80
0.19	26.88	38.44	15.34
0.08	20.52	31.22	9.84

Tabla N°17: Tabla de granulometría que muestra el P50 y P80 para proyecto PAD L8

PAD L- 8		FOTO 1	FOTO 2
% Passing	Size (in)	Size (in)	Size (in)
F5	0.00	0.00	0.02
F10	0.01	0.00	0.08
F20	0.07	0.01	0.31
F30	0.26	0.07	0.70
F40	0.63	0.22	1.23
F50	1.21	0.55	1.91
F60	2.05	1.18	2.86
F70	3.17	2.28	3.69
F80	4.19	3.67	4.51
F90	5.41	5.21	5.55
Topsize (99.95 %)	8.35	8.44	8.15

- **Resultados del análisis de fragmentación**

Tabla N°18: Resumen de resultados de fragmentación

PROYECTO	FOTOS PROCESADAS	MATERIAL	P80 (pulg)	% de Finos 2mm (0.08")	% de Finos 6.3mm (0.25")	5"	6"	8"	10"
3276	4	MINERAL	4.54	16.70%	83.59%	83.59%	90.00%	97.76%	97.76%
3276	4	MINERAL	4.37	15.05%	86.65%	86.65%	94.22%	99.62%	100.00%
PAD	2	MINERAL	4.19	20.52%	87.04%	87.04%	93.45%	99.78%	100.00%
		PROMEDIO	4.37	17.42%	85.76%	85.75%	92.56%	99.05%	99.25%

Tabla N°19: Porcentaje de finos por cada proyecto

PROYECTO	% DE FINOS	
	2mm (0.08")	6.3mm (0.25")
NV-3276 PL-24	16.70%	25.49%
NV-3276 PL-17	15.05%	23.50%
PAD L8	20.52%	29.51%

Tabla N°20: Resultados de fragmentación en todos los proyectos

Fecha	Proyecto	Poligono	material	P50	P80	Fecha	Proyecto	Poligono	material	P50	P80
11/04/2018	3450	115	Mineral	1.93	4.51	8/05/2018	3294	21	Mineral	1.17	4.14
11/04/2018	PAD	L6	Mineral	1.68	4.64	8/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.33	4.38
12/04/2018	3450	113	Mineral	2.08	4.81	9/05/2018	3294	15	Mineral	1.62	4.55
12/04/2018	PAD	L6	Mineral	1.33	4.33	9/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.75	4.62
13/04/2018	3432	158	Mineral	1.45	4.89	10/05/2018	3438	128	Mineral	1.55	4.41
13/04/2018	PAD	L5	Mineral	2.20	4.77	10/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.32	4.36
14/04/2018	3432	165	Mineral	1.31	3.86	11/05/2018	3438	128	Mineral	1.69	4.64
14/04/2018	PAD	L5	Mineral	1.14	4.03	11/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.58	4.30
15/04/2018	3432	162	Mineral	1.32	4.20	12/05/2018	3438	171	Mineral	1.87	4.52
15/04/2018	PAD	L5	Mineral	1.48	4.15	12/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.21	3.93
16/04/2018	3450	120	Mineral	1.56	4.08	13/05/2018	3438	171	Mineral	2.00	4.37
16/04/2018	PAD	L5	Mineral	1.25	4.09	13/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.80	4.65
17/04/2018	PAD	L5	Mineral	1.25	4.19	14/05/2018	3438	171	Mineral	2.49	4.81
18/04/2018	3450	124	Mineral	2.98	7.11	14/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.44	3.74
18/04/2018	PAD	L7	Mineral	1,36	4.03	15/05/2018	3294	115	Mineral	1.60	4.67
19/04/2018	3450	123	Mineral	2.15	4.91	15/05/2018	PAD	L6	Mineral	0.88	3.09
19/04/2018	PAD	L5	Mineral	1.51	4.58	16/05/2018	3294	17	Mineral	2.11	4.76
20/04/2018	3432	107	Mineral	2.28	4.79	16/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.63	4.31
20/04/2018	PAD	L7	Mineral	1.12	4.05	17/05/2018	3294	119	Mineral	1.03	3.57
21/04/2018	3432	135	Mineral	1.58	3.76	17/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.37	4.62
21/04/2018	PAD	L7	Mineral	1.98	4.58	18/05/2018	3294	24	Mineral	2.13	5.15
22/04/2018	3250	128	Mineral	2.07	4.52	18/05/2018	PAD	L6	Mineral	2.23	4.92
22/04/2018	PAD	L5	Mineral	2.31	4.34	19/05/2018	3294	24	Mineral	3.12	5.03
23/04/2018	3450	124	Mineral	2.07	4.52	19/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.70	4.14
23/04/2018	PAD	L5	Mineral	2.13	4.41	20/05/2018	3294	26	Mineral	2.23	5.10
24/04/2018	3432	169	Mineral	2.07	4.52	20/05/2018	PAD	L6	Mineral	2.19	4.04
24/04/2018	PAD	L5	Mineral	1.05	4.59	21/05/2018	3432	171	Mineral	1.65	4.14
25/04/2018	3450	130	Mineral	1.28	3.73	21/05/2018	3296	27	Mineral	2.12	4.45
25/04/2018	PAD	L7	Mineral	1.87	4.79	21/05/2018	PAD	L6	Mineral	2.43	4.65
26/04/2018	3450	131	Mineral	1.23	4.49	22/05/2018	3414	220	Mineral	1.52	4.37
26/04/2018	PAD	L7	Mineral	1.24	4.30	22/05/2018	3296	27	Mineral	1.60	4.56
27/04/2018	3450	131	Mineral	0.94	3.38	22/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.79	4.64
27/04/2018	PAD	L7	Mineral	1.86	4.70	31/05/2018	3294	27	Mineral	1.16	4.68
28/04/2018	3450	132	Mineral	1.54	3.68	31/05/2018	PAD	L6	Mineral	1.35	4.75
28/04/2018	PAD	L7	Mineral	1.12	4.32	1/06/2018	3294	27	Mineral	1.10	4.74
29/04/2018	3444	140	Mineral	2.28	4.65	1/06/2018	PAD	L6	Mineral	1.20	4.20
29/04/2018	PAD	L7	Mineral	1.89	4.29	2/06/2018	3294	27	Mineral	1.14	4.42
30/04/2018	3438	119	Mineral	1.66	4.33	2/06/2018	PAD	L6	Mineral	0.70	4.56
30/04/2018	PAD	L6	Mineral	1.29	4.48	4/06/2018	3294	25	Mineral	0.76	3.97
1/05/2018	3438	120	Mineral	1.74	4.68	4/06/2018	PAD	L6	Mineral	0.96	4.33
1/05/2018	PAD	L7	Mineral	2.43	4.70	5/06/2018	3294	25	Mineral	2.06	4.93
2/05/2018	3438	122	Mineral	2.13	4.51	5/06/2018	PAD	L6	Mineral	0.85	4.46

- Promedio total de resultados de fragmentaciones

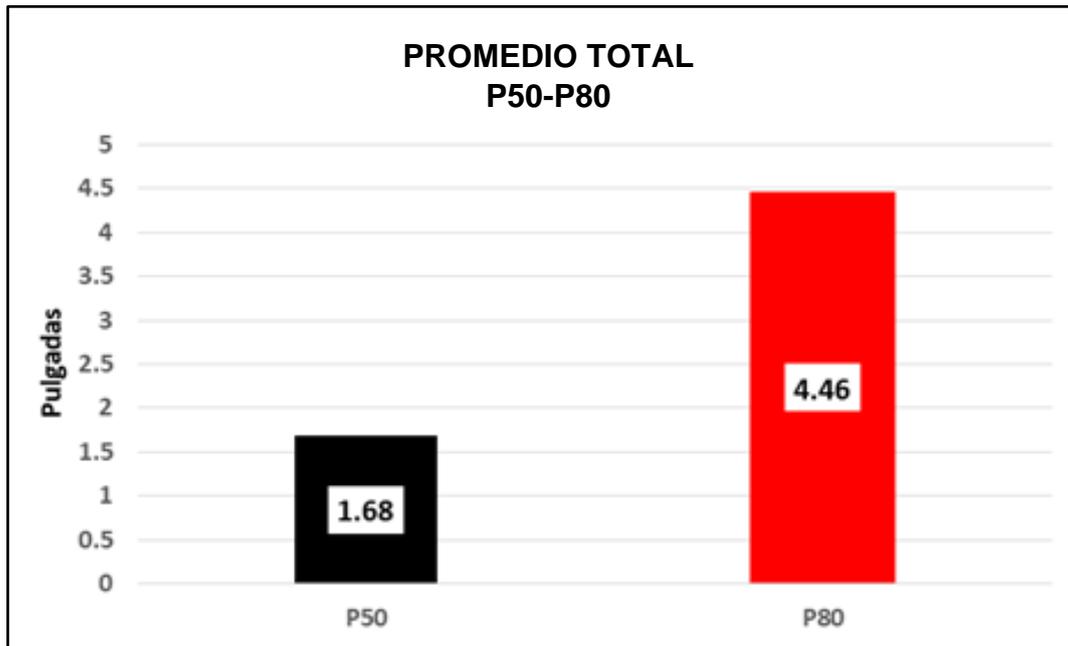


Figura N°29: Promedio total de los resultados de fragmentación P50 y P80

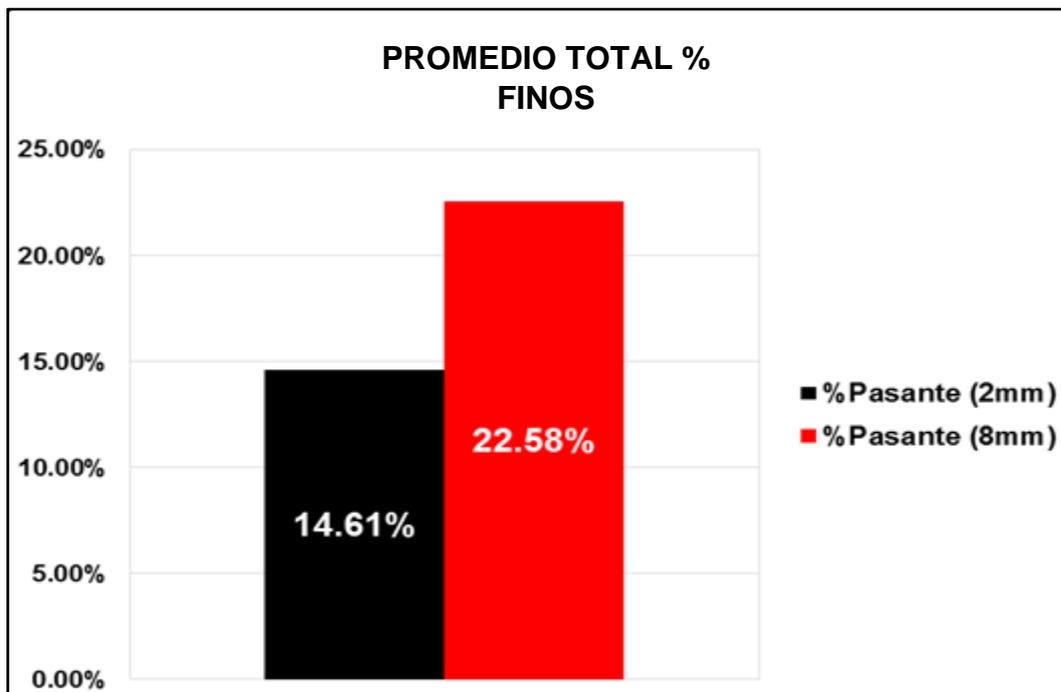


Figura N°30: Promedio total del porcentaje de finos del total de resultados de fragmentación.

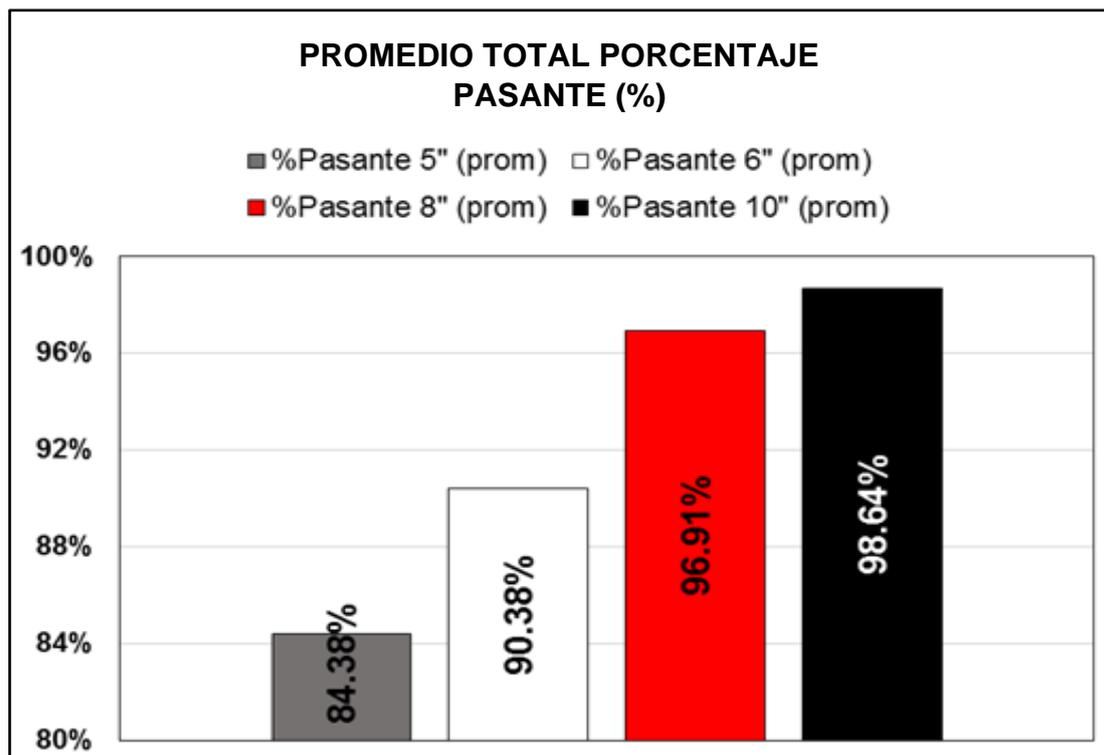


Figura N°31: Promedio total del porcentaje de pasante

Como se puede apreciar en los resultados, las fotos analizadas y las tablas utilizadas, los resultados de las voladuras en cuanto a fragmentación, están en los estándares requeridos, eso quiere decir que el explosivo y todo el procedimiento de carguío se está efectuando de la mejor manera.

3.8.4. Medio ambiente

Un importante factor en minería es el cuidado y conservación de medio ambiente para lo cual es importante tomar las medidas de prevención necesarias para no afectarla.

A continuación, se presenta los resultados medidos en mina con los equipos necesarios, en el caso de vibraciones se utilizó un equipo de medición de vibraciones Minimate – Instantel.

Tabla N°21: Registro de vibraciones en los diferentes proyectos.

MONITOREO DE VIBRACIONES										
Fecha	Proyecto	Ubicación del Geofono	PPV_Distanc	Trans_PPV	Trans_Hz	Vert_PPV	Vert_Hz	Long_PPV	Long_Hz	PPV_Sum
09/04/18	P3396_048	EX POZA 3	425m							NO REGISTRO
10/04/18	P3450_036	DIQUE MINA	185 m	7.92	14.00	11.97	24.00	13.19	28.00	14.46
11/04/18	P3432_042	DIQUE MINA	435 m	1.09	15.00	1.56	51.00	1.61	29.00	2.22
12/04/18	P3432_043	DIQUE MINA	460 m	1.11	12.00	1.17	13.00	0.98	14.00	1.39
13/04/18	P3396_049	EX POZA 3	318 m	2.43	23.00	2.74	24.00	2.57	18.00	3.54
14/04/18	P3450_037	DIQUE MINA	188 m	8.57	22.00	13.61	60.00	14.10	35.00	19.81
15/04/18	P3432_047	DIQUE MINA	636 m	0.83	13.00	1.18	13.00	1.12	9.00	1.29
17/04/18	P3444_035	DIQUE MINA	188 m	2.50	23.00	3.31	19.00	3.04	11.00	3.27
18/04/18	P3426_043	DIQUE MINA	444 m	0.87	21.00	0.78	11.00	1.30	18.00	1.29
19/04/18	P3444_036	DIQUE MINA	208 m	7.62	39.00	8.61	57.00	5.53	26.00	11.91
20/04/18	P3426_044	DIQUE MINA	191 m	2.91	18.00	7.22	51.00	7.01	15.00	8.61
20/04/18	P3444_037	DIQUE MINA	191 m	2.91	18.00	7.22	51.00	7.01	15.00	8.61
22/04/18	P3390_046	CASERIO LA ZANJA	1500m	0.11	16.00	0.20	54.00	0.15	18.00	0.21
23/04/18	P3426_045	DIQUE MINA	504 m	0.70	12.00	0.67	8.00	0.86	14.00	0.97
24/04/18	P3444_038	DIQUE MINA	188 m	9.49	23.00	11.49	49.00		33.00	14.48
26/04/18	P3444_039	DIQUE MINA	300 m	2.36	10.00	2.13	33.00	2.36	10.00	3.43
28/04/18	P3438_033	DIQUE MINA	201 m	8.23	8.00	8.48	9.00	6.92	29.00	11.87
29/04/18	P3284_004	POZA 11A	970m							NO REGISTRO
29/04/18	P3426_046	DIQUE MINA	680m							NO REGISTRO
30/04/18	P3294_005	POZA 16	159 m	5.74	10.00	5.01	8.00	6.78	10.00	7.39
02/05/18	P3420_050	DIQUE MINA	483 m	1.26	27.00	1.25	1.16	1.48	14.00	2.12
03/05/18	P3294_006	POZA 16	198 m	3.02	7.00	3.39	6.00	2.94	8.00	3.75
04/05/18	P3438_034	DIQUE MINA	233 m	1.16	6.00	1.26	5.00	1.82	7.00	1.93
08/05/18	P3438_035	DIQUE MINA	260.000	2.11	42.00	2.29	42.00	2.75	9.00	3.05
09/05/18	P3420_051	DIQUE MINA	631 m							NO REGISTRO
10/05/18	P3432_045	DIQUE MINA	211 m	4.32	11.00	4.74	27.00	4.86	14.00	6.12
12/05/18	P3384_040	POZA 11A	843 m	0.84	6.00	0.39	15.00	0.72	10.00	0.91
13/05/18	P3294_007	POZA 16	247 m	4.05	43.00	3.97	34.00	8.91	38.00	9.33
13/05/18	P3432_046	DIQUE MINA	727m							NO REGISTRO
16/05/18	P3414_063	DIQUE MINA	525 m	0.73	6.00	0.63	3.00	0.86	5.00	1.08
17/05/18	P3294_008	POZA 16	262 m	0.02	0.00	0.31	5.00	0.36	3.00	0.37
12/06/18	P3288_003	DIQUE MINA	243 m	2.60	6.00	5.64	3.00	2.27	5.00	6.12
18/06/18	P3288_004	DIQUE MINA	435 m	1.09	15.00	1.56	51.00	1.61	29.00	2.22
20/06/18	P3384_041	CURVA 9	250 m	0.65	5.00	1.01	4.00	2.04	5.00	2.08
28/06/18	P3294-010	PIR	170m	1.50	6.00	1.96	8.00	2.41	9.00	2.95

Es importante resaltar que como se puede ver en los resultados obtenidos en los análisis hechos anteriormente, se puede verificar que gracias al uso de la Emulsión Gasificable Sang Apu, se reduce la cantidad de explosivo en las voladuras basadas en un adecuado diseño de secuencia de tiempos de voladura; con eso se asegura y garantiza la reducción del factor de potencia, energía y nivel de vibraciones, respetando así con la planificación hecha en mina para el cuidado de taludes, planta concentradora, carretera, viviendas y otras infraestructuras a cuidar.

Es importante mencionar que los registros de las vibraciones inducidas con el explosivo Sang Apu y verificadas en los tajos San Pedro y Pampa Verde se ajustaron a las Normas Internacionales Española (UNE 22.381.93), Alemana (DIN 4150) y Americana (USBM RI8507) hechas especialmente para el cuidado de estructuras y límite de vibraciones producidas por voladuras.

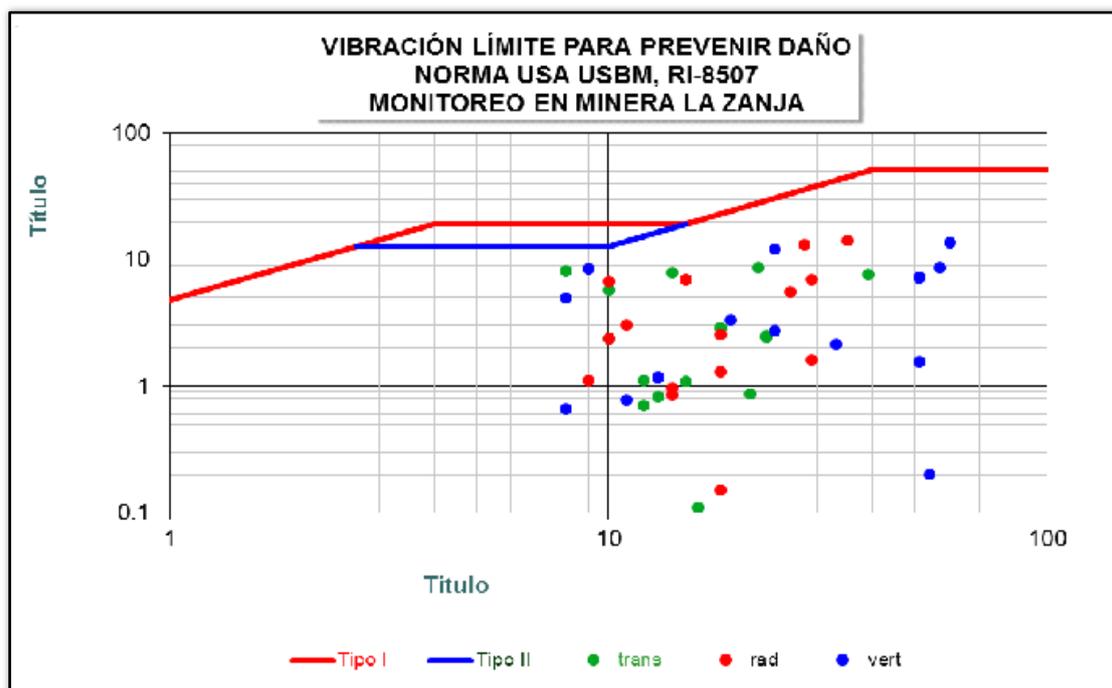


Figura N°32: Resultados de vibración con la norma USA USBM, RI - 8507

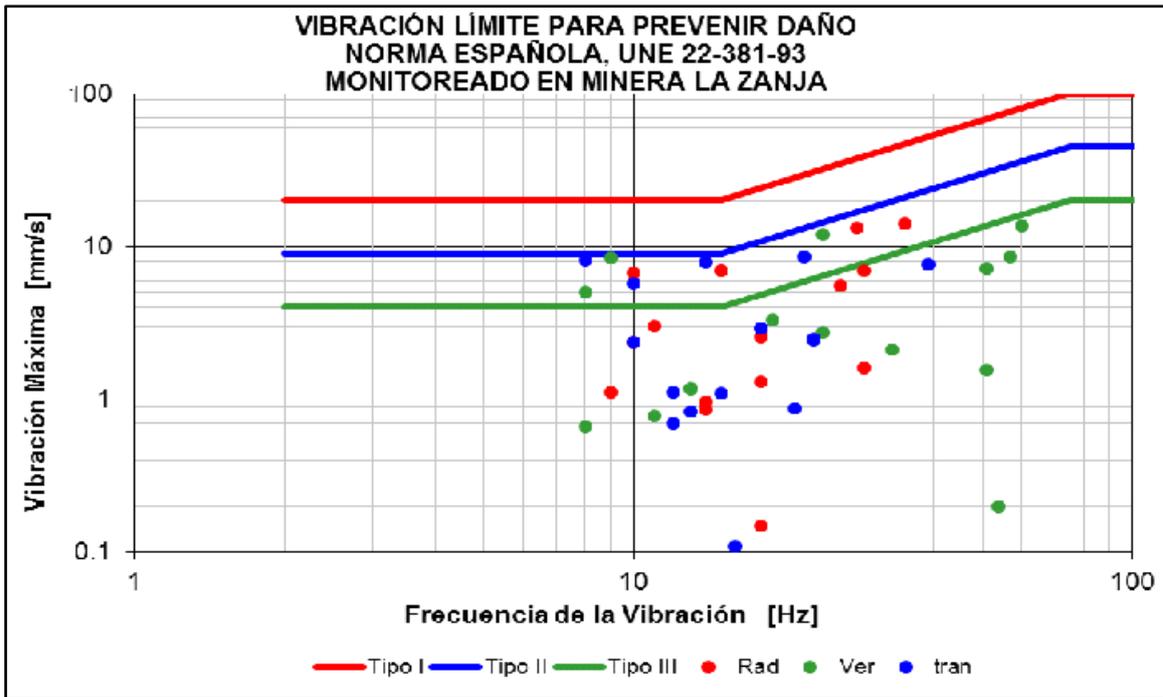


Figura N°33: Resultado de vibraciones con la norma Española UNE 22-381-93

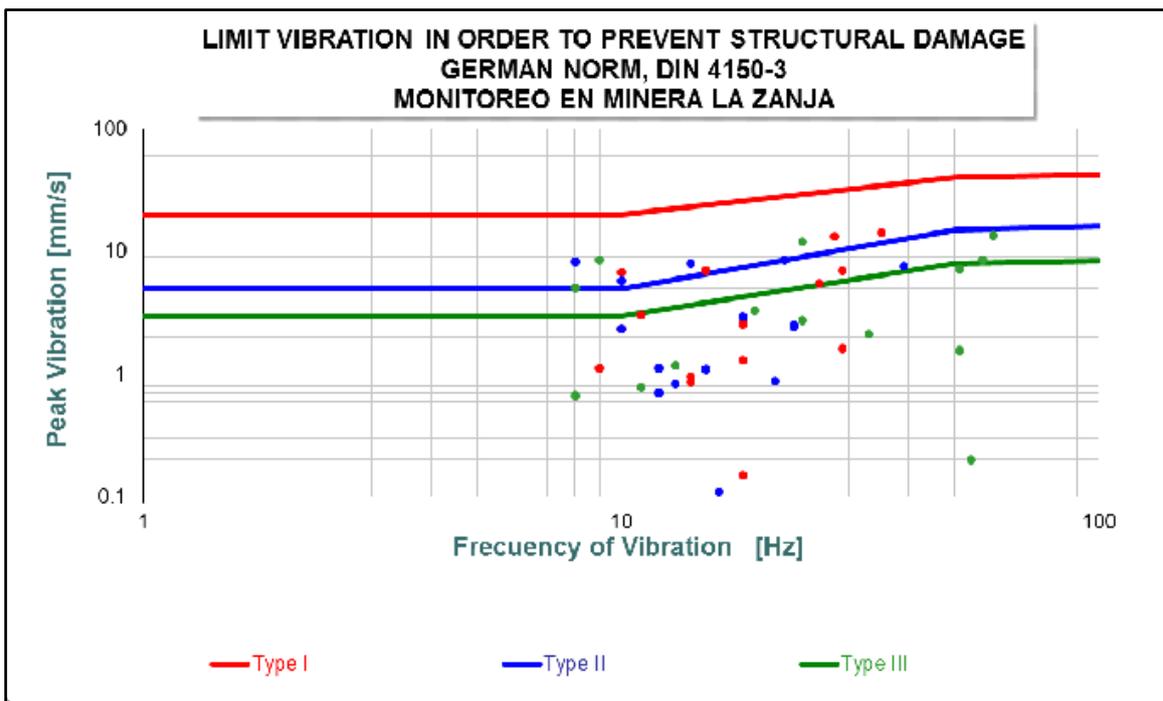


Figura N°34: Resultados de vibraciones con la norma alemana DIN 4150-3

Se ha analizado los resultados del control de vibraciones con las tres normas que se utilizan para determinar daños o alguna anomalía y en las tres hemos comprobado resultados positivos y que en ninguna de las voladuras realizadas con el explosivo Sang Apu, se han detectado daños ni afectaciones al medio ambiente ni a estructuras.

3.9. Evaluación económica

3.9.1. Precios de agentes y accesorios de voladura

Así como la parte técnica es importante, la evaluación económica es igualmente importante, pues en base a ello podemos determinar si la utilización de un determinado explosivo nos va a garantizar buenos resultados técnicos, sino también buenos resultados en la parte económica, es decir, obtener el mayor beneficio económico.

Es clave poder analizar el dinero que vamos a invertir y determinar en base a comparativos que estos van acorde o con una disminución significativa a los precios del mercado, que nos permitan tener mayores ganancias, pero eso sí, sin afectar el tema técnico, pues ello de nos el correcto, nos llevaría en los siguientes procesos a aumentar el costo y esto significaría pérdidas significativas y un aumento en el costo de producción.

Es importante resaltar que los precios que se tratan en este documento, fueron los precios con los que se contaban en el momento de hacer las pruebas con el explosivo y que estos costos varían temporalmente de acuerdo al acuerdo que se realice entre la empresa contratista y la unidad minera.

Tabla N°22: Densidad de fábrica y precios unitarios de agentes de voladura

EXPLOSIVO	DENSIDAD (g/cm³)	(\$/TM)
AN FO	0.81 ± 3%	584.31
EMULSIÓN PYROSAN-G	1.35 ± 3%	524.56
EMULSION SANG APU	1.32 ± 3%	492.11

Los explosivos y accesorios de voladura que se utilizan en Minera La Zanja son los que se muestra a continuación junto a su respectivo costo unitario.

Tabla N°23: Precios unitarios de accesorios y explosivos primarios

EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS	UNIDAD	PRECIO (\$)
Booster	UN	3.56
Det. Electrónico	UN	21.61
Det. Pirotécnico	UN	2.42
Separador de gravilla	UN	2.51
Cámara de aire	UN	5.12

3.9.2. Comparativo de costos por taladro

Con los datos de los costos unitarios de los productos principales, se procede a hacer un comparativo del costo por taladro. Para realizar este análisis es importante mencionar que la altura de banco es de 6m, se utiliza brocas de 6 3/4" de diámetro y por diseño de taladro se tiene 0.5m de subdrill.

A los precios ya determinados se le han agregado los precios de accesorios de voladura ya especificados en la tabla N°23 y así podremos al finalizar tener costos más específicos.

Tabla N°24: Parámetros de voladura

DATOS GENERALES	UNIDADES
H banco (m)	6
Diámetro (in)	6 3/4
Subdrill (m)	0.5
Taco(m)	2.5

Tabla N° 25: Costo por taladro del Anfo

ANFO		
Densidad inicial	0.81	gr/cm3
Densidad final	0.81	gr/cm3
Esponjamiento teórico	0	
Esponjamiento real	0	
Producto	Unidades	\$
Metro de carga real	3.5	51.13
Booster	1	3.56
Detonador electrónico	1	21.61
Detonador pirotécnico	1	2.42
Sep. De gravilla	0	0
		78.72

Tabla N° 26: Costo por taladro del Pyrosan G

PYROSANG		
Densidad inicial	1.35	gr/cm3
Densidad final	0.9	gr/cm3
Esponjamiento teórico	0.8	m
Esponjamiento real	0.5	m
Producto	Unidades	\$
Metro de carga real	3.5	46.68
Booster	1	3.56
Detonador electrónico	1	21.61
Detonador pirotécnico	1	2.42
Sep. De gravilla	0	0
		74.27

Tabla N° 27: Costo por taladro del Sang Apu

SANG APU		
Densidad inicial	1.35	gr/cm3
Densidad final	0.9	gr/cm3
Esponjamiento teórico	0.8	m
Esponjamiento real	0.5	m
Producto	Unidades	\$
Metro de carga real	3.5	40.84
Booster	1	3.56
Detonador electrónico	1	21.61
Detonador pirotécnico	1	2.42
Sep. De gravilla	0	0
		68.43

Con todo lo expuesto y determinado con las tablas de costos podemos concluir que la emulsión Sang Apu, nos brinda un ahorro significativo comparado con el Anfo de hasta 10.29 \$ por taladro y en comparación con el Pyrosang un ahorro hasta de 5.84 \$.

Tabla N°28: Datos de voladura del mes de setiembre del 2018

SETIEMBRE	TAJO	PROYECTO	N° TALADROS	KG DE EXPLOSIVO
2-Set	San Pedro	P3432-049	228	23405
2-Set	San Pedro	P3432-047	59	442
5-Set	San Pedro	P3432-050	251	20136
6-Set	San Pedro	P3522-027	294	28769
7-Set	Pampa Verde	P3372-037	330	32391
9-Set	San Pedro	P3626-048	308	28849
11-Set	San Pedro	P3426-050	258	28895
12-Set	Pampa Verde	P3306-013	62	5656
13-Set	San Pedro	P3522-028	40	4413
14-Set	San Pedro	P3426-049	311	33621
16-Set	San Pedro	P3426-051	143	15751
17-Set	Pampa Verde	P3366-027	267	16599
19-Set	San Pedro	PP3420-052	213	18309
20-Set	San Pedro	P3516-034	271	25580
21-Set	Pampa Verde	P3366-028	159	16917
21-Set	San Pedro	P3459-039	60	2210
23-Set	San Pedro	P3420-053	110	13725
24-Set	San Pedro	P3444-041	128	8117
25-Set	Pampa Verde	P3366-029	94	9826
26-Set	San Pedro	P3420-054	68	4701
26-Set	San Pedro	P3420-055	206	21387
27-Set	Pampa Verde	P3366-030	105	9834
29-Set	San Pedro	P3438-036	162	12676
30-Set	Pampa Verde	P3366-031	96	8830
			4223	391039

- Para calcular el ahorro que se ha tenido en comparación a otros explosivos se va a analizar las voladuras hechas en el mes de setiembre y se va a comparar los resultados y se va a calcular el ahorro mensual.

Tabla N°29: Costo total de consumo de explosivo en mes de setiembre de 2018

AGENTE	COSTO (\$/tal)	N° DE TALADROS	COSTO TOTAL (\$)
ANFO	78.72	4223	332434.56
PYROSANG	74.72	4223	315542.56
SANGAPU	68.43	4223	288979.89

- Analizando la tabla anterior el explosivo Sang Apu, tiene una gran ventaja económica con respecto a los otros dos explosivos. En comparación al Pyrosang el ahorro es de 26,562.67 \$ al mes y en comparación al Anfo el ahorro es de 43,454.67 \$ al mes.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis técnico

En cuanto a la utilización y el desempeño del agente explosivo Sang Apu, pues se tiene resultados favorables que permiten poder comparar con otros explosivos como en Pyrosang y el Anfo y determinar así, que tiene mejor desempeño en las condiciones en la que se ha trabajado.

De todos los aspectos técnicos en los que esta investigación se ha enfocado, el más resaltante e importante ha sido la evaluación de la fragmentación, pues en base a ello se ha podido determinar el buen desempeño del agente explosivo, dándonos la granulometría requerida por el área de planta para que el proceso sea satisfactorio y no tenga costos adicionales que incremente el costo de tratamiento y producción.

Otro de los puntos importantes que se ha analizado, es la facilidad y gran esponjamiento con la que cuenta la emulsión Sang Apu, esto es por la gran compatibilidad entre el agente gasificable y el agente sensibilizador.

La buena compatibilidad hará que, al gasificar correctamente, se utilice menos explosivo, en una misma sección, comparadas con otros explosivos, como se pudo determinar anteriormente y así disminuir el factor de carga que es un indicativo importante dentro de la operación unitaria de voladura, pues nos indica que con más o menos explosivo se remueve una determinada cantidad de volumen de material, ya sea mineral o estéril.

Tabla N°30: Densidad inicial y final tomadas en el mes de setiembre

FECHA	TAJO	PROYECTO	TIPO DE MATERIAL	DENSIDAD INICIAL DEL SANG APU	DENSIDAD FINAL SANG -APU (g/cm3)
2-Set	San Pedro	P3432-049	Mineral	1.29	0.90
2-Set	San Pedro	P3432-047	Mineral	1.30	1.00
5-Set	San Pedro	P3432-050	Mineral	1.30	1.00
6-Set	San Pedro	P3522-027	Desmonte	1.30	1.00
7-Set	Pampa Verde	P3372-037	Mineral	1.29	0.90
9-Set	San Pedro	P3626-048	Mineral	1.30	1.00
11-Set	San Pedro	P3426-050	Mineral	1.30	1.00
12-Set	Pampa Verde	P3306-013	Mineral	1.30	0.90
13-Set	San Pedro	P3522-028	Desmonte	1.30	0.95
14-Set	San Pedro	P3426-049	Mineral	1.29	1.00
16-Set	San Pedro	P3426-051	Mineral	1.30	1.00
17-Set	Pampa Verde	P3366-027	Mineral	1.30	1.00
19-Set	San Pedro	PP3420-052	Mineral	1.30	1.00
20-Set	San Pedro	P3516-034	Desmonte	1.30	0.90
21-Set	Pampa Verde	P3366-028	Mineral	1.30	1.00
21-Set	San Pedro	P3459-039	Desmonte	1.30	0.90
23-Set	San Pedro	P3420-053	Desmonte	1.30	0.90
24-Set	San Pedro	P3444-041	Mineral	1.30	0.90
25-Set	Pampa Verde	P3366-029	Mineral	1.30	0.90
26-Set	San Pedro	P3420-054	Desmonte	1.30	1.00
26-Set	San Pedro	P3420-055	Mineral	1.30	1.00
27-Set	Pampa Verde	P3366-030	Desmonte	1.30	1.00
29-Set	San Pedro	P3438-036	Mineral	1.30	0.90
30-Set	Pampa Verde	P3366-031	Desmonte	1.30	1.00

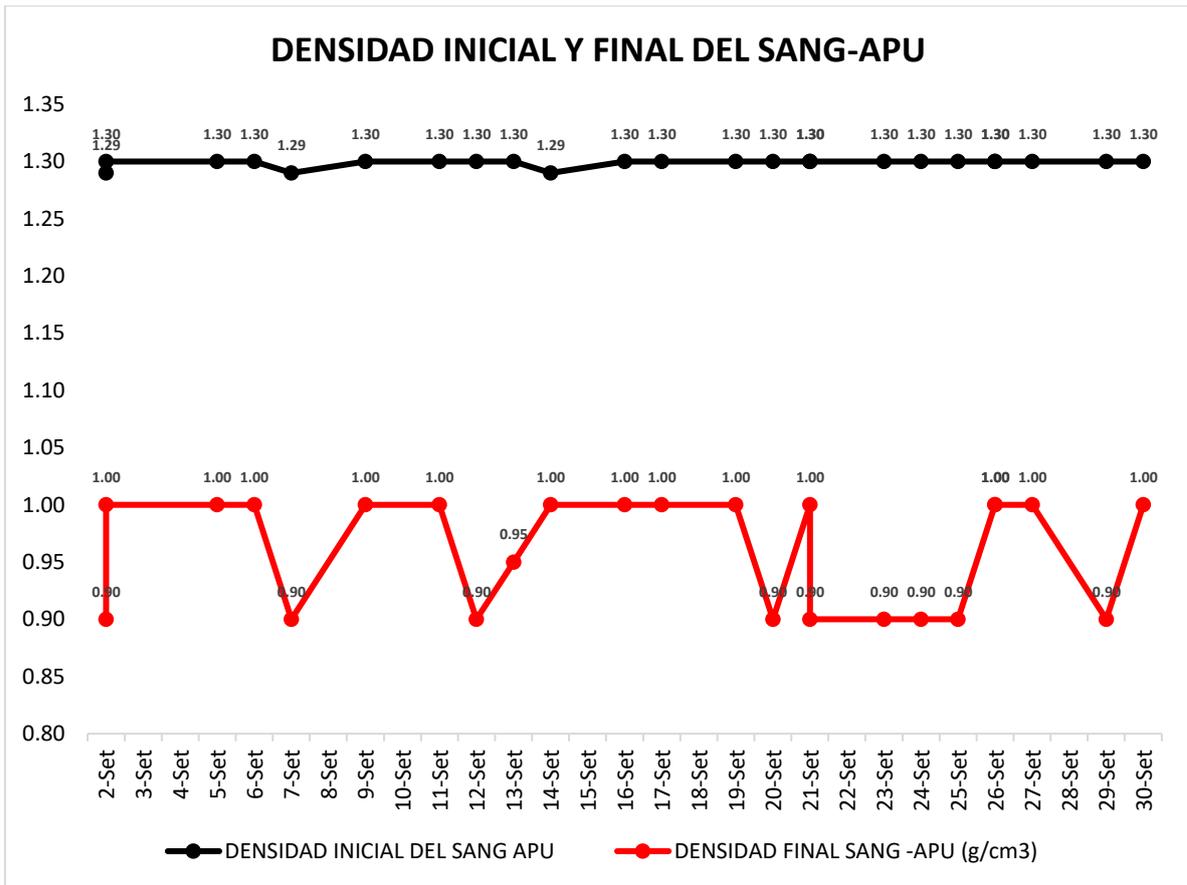


Figura N°35: Densidad inicial y final del Sang Apu en el mes de setiembre

Gracias al buen manejo de las densidades, podemos tener buena gasificación del explosivo, y así manejar adecuadamente el factor de potencia, así como mostraremos a continuación el resumen de los resultados.

Tabla N°31: Promedio de factor de potencia mensual

MES	FACTOR DE POTENCIA (FP)
JUNIO	0.32
JULIO	0.33
AGOSTO	0.34
SETIEMBRE	0.31

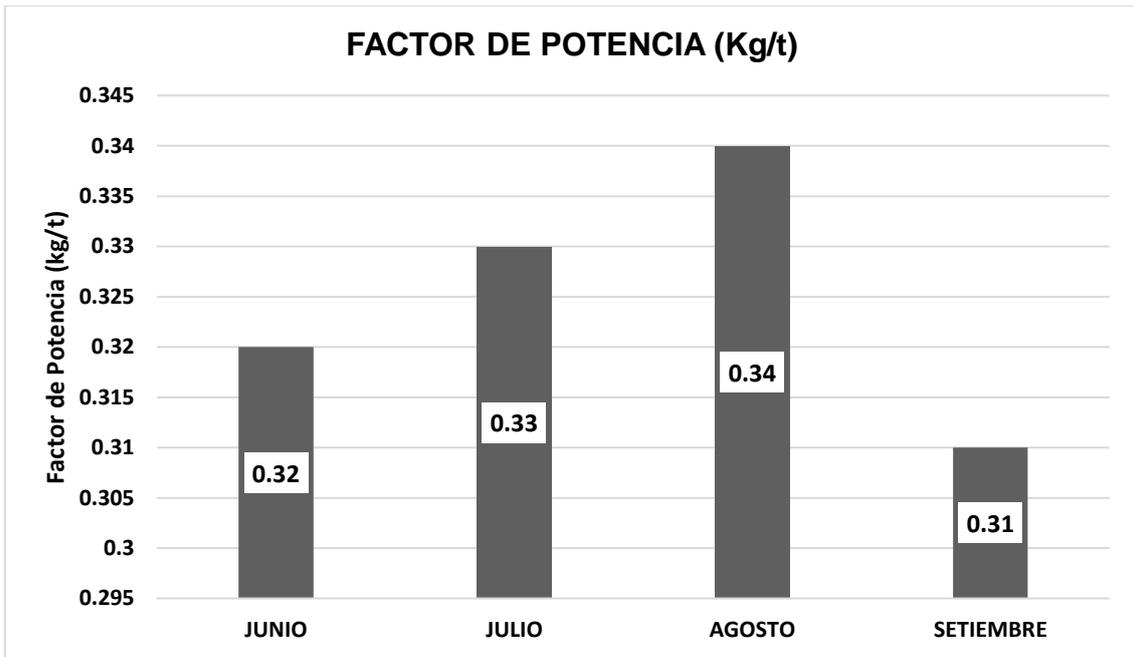


Figura N°36: Comparativo del factor de potencia

En cuanto a los resultados del factor de potencia, pues encontramos que está por debajo de los estándares del mundo minero y eso indica que se hace un buen trabajo en lo que refiere al proceso de carguío de taladros y al control de la densidad del explosivo, para que este al gasificarse, alcance su máximo potencial y al momento de utilizar una determinada cantidad de explosivo, pues se acerque lo más posible a la cantidad ideal, que nos permita obtener los resultados post voladura requeridos.

4.2. Análisis económico

En cuanto a costos se refiere, pues se ha determinado que es un explosivo ideal para una voladura con estándares económico adecuados, nos permite economizar y al mismo tiempo obtener buenos resultados en la parte técnica.

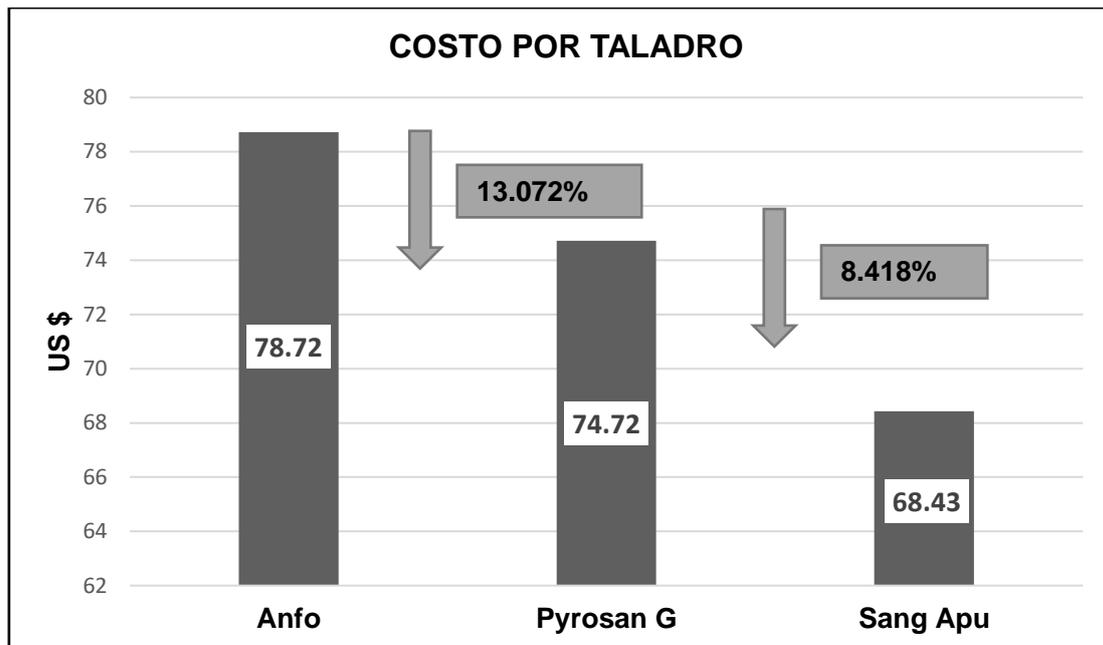


Figura N°37: Ahorro al utilizar Sang Apu con respecto a otros explosivos

Se ha considerado como se ve en los resultados y el análisis que se ha elaborado determinar el costo por taladro, pues se considera que al tener los precios unitarios, se puede ser más exactos al momento de determinar costos globales.

Además de esto como la cantidad de explosivo mensual y anualmente es variable, el enfoque de darle el costo por taladro nos permite tener una mejor visión en cuanto la utilización de los explosivos y cuál de ellos es el más recomendable a utilizar.

En cuanto a Minera La Zanja, en base a los diseños de taladros y mallas podemos determinar en base a resultados que la utilización del explosivo Sang Apu, garantiza resultados óptimos tanto económicamente como técnicamente.

Es así que se puede señalar, que al analizar los diferentes enfoques y estudios que se ha hecho en base a las emulsiones, pues esta emulsión que se está estudiando y utilizando es una de las mejores y que garantiza la disminución de costos de la operación unitaria de voladura.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los beneficios económicos obtenidos con la utilización de la emulsión gasificada Sang Apu, se ven reflejados en una importante disminución en el costo por taladro comparados con el Pyrosang y el Anfo. La emulsión gasificable Sang Apu, por taladro tiene un costo de 68.43 \$/Tal, mientras que el Pyrosang tiene un costo de 74.72 \$/Tal y el Anfo tiene un costo de 78.72 \$/Tal.

La cuantificación de los resultados de voladura luego de utilizar la emulsión gasificada Sang Apu, en el caso de la velocidad de detonación (VOD), los registros alcanzaron un valor de 5.416.11 m/s, esto para una densidad final gasificada de 1.00 g/cm³ en un diámetro de taladro de 6 ¾”.

El análisis granulométrico realizado, se obtuvo un promedio de P50= 1.68 pulg y en P80= 4.46 pulg, con estos valores se determina el buen desempeño en la fragmentación del explosivo utilizado.

El estudio de vibraciones inducidos por voladura en los tajos de San Pedro y Pampa Verde cumplen con lo estándares establecidas en las normas internacionales Española (UNE 22.381.93), Alemana (DIN 4150) y Americana (USBM RI8507) hechas especialmente para el cuidado y mantenimiento de estructuras y límite de vibraciones producidas por voladuras.

La verificación del factor de potencia (FP) con el uso de Sang Apu, se optimizó en 9.83% y 14% respecto a la Pyrosang y al Anfo respectivamente.

El análisis indica que al utilizar la emulsión gasificable Sang Apu, se tiene un ahorro del 8.418% con respecto al Pyronsang y un 13.072% con respecto al Anfo, es decir, es un explosivo que ayuda a minimizar los costos de voladura en los tajos San Pedro y Pampa Verde.

Los beneficios operativos que ofrece la emulsión gasificable Sang Apu, es la rapidez con la que permite cargar los taladros, gracias al camión fábrica especializado para Sang Apu, que cuenta con un sistema bombeable y computarizado para despachar la cantidad exacta de explosivo directo hacia el taladro.

5.2. Recomendaciones

- En lo que refiere al procedimiento de carguío de la emulsión gasificada Sang Apu en los taladros, es importante que la malla esté bien diseñada por el área de Topografía, para que el camión fábrica al momento de ingresar no tenga problemas y al pasar al lado de los taladros estos no se derrumben y pierdan sus medidas originales.
- Realizar capacitaciones constantes a todo el personal involucrado en el uso y manipulación de la emulsión gasificable Sang Apu, para lograr un desempeño óptimo del mismo y obtener máxima seguridad para el personal.
- Es importante que los encargados del área de mantenimiento, calibren el camión fábrica cada semana, para poder obtener datos exactos al momento del despacho de la emulsión gasificable Sang Apu hacia los taladros.
- La línea de supervisión debe estar en constante comunicación con el personal de campo, para que se utilice el tiempo preciso y así dejar esponjar la emulsión gasificable correctamente y posteriormente a ello poder colocar el taco, de acuerdo al diseño que se entrega diariamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A. 2016. Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el abra.
- Anchayhua, N. 2009. Aplicación de la emulsión gasificable como nuevo explosivo en la mina a tajo abierto Santa Rosa.
- Chávez, L. 2014. Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja.
- Davey Bickford. 2013. Investigación de las dificultades de fragmentación en las voladuras de mineral, informe interno Compañía Minera La Zanja.
- Exsa, 2019. Manual práctico de Voladura, documento interno.
- Famesa Explosivos SAC, 2019. Manual de voladura, documento interno.
- García, W. 2017. Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada Sang en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba.
- Guerra, R. 2013. Uso de la emulsión gasificable para reducir costos de perforación y voladura en minería superficial y subterránea.
- Huangal, C. 2014. Evaluación técnica económica del uso del sang en mina “La Arena”.
- Knight Piésold Consultores. 2007. Minera La Zanja S.R.L. Proyecto La Zanja Estudio de Impacto Ambiental.
- Konya, C., & Albarrán, E. 1998. Diseño De Voladuras. México D.F.: Ediciones Cuicatli.

López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermúdez, P. 2003. Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid: IGME.

López Jimeno, M. 2003. Evaluación de la energía de los explosivos mediante modelos termodinámicos de detonación. Madrid.

Salcedo, E. 2015. Evaluación técnica y económica de la emulsión gasificada en Minera Yanacocha SRL.

Zavala, K. 2017. Empleo de agente de voladura gasificado para minimizar costos de voladura en compañía minera Antamina S.A.

ANEXOS

- **Procedimiento para el cálculo de la densidad en campo**

Para poder realizar el cálculo de la densidad en campo, el personal debe contar con todos los equipos de protección personal (EPP).

1. Kit de densidades

- Balanza metálica
- Recipiente graduado de peso y volumen conocido.
- Espátula
- Cronómetro
- Calculadora
- Termómetro
- Trapo industrial



Figura N°38: Kit de densidades de Famesa Explosivos SAC

2. Determinación de la densidad en campo

- a) Obtener una muestra del producto a analizar, con el recipiente graduado.
- b) Llene el vaso graduado, seguidamente dando golpes al recipiente (aprox. 8 golpes ligeros de arriba hacia abajo) para poder así eliminar las burbujas creadas en el interior del recipiente.
- c) Enrase el recipiente con el producto con la ayuda de la espátula.
- d) Limpie la pared exterior del recipiente de cualquier adhesión del producto con el trapo industrial.
- e) Determine el peso total con la balanza.
- f) Verificar en el cuadro de referencias para obtener la densidad o mediante la ayuda de la siguiente formula halle la densidad:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso del recipiente vacío (gr)}}{\text{Volumen del recipiente (cm}^3\text{)}}$$

- g) Repetir los pasos desde el principio con dos a tres muestras más y luego sacar el promedio final.

• Procedimiento para la medición de vibraciones producidas por voladuras en mina

1. Instrumentos y/o equipos

- Monitor Sismógrafo INSTANTEL
- Geófonos de superficie INSTANTEL
- Caja metálica de protección del monitor
- Sacos de arena, picos, conos y cinta delimitadora roja

- a) Se coordina con el personal de voladura, los lugares de monitoreo de las vibraciones.

- b) En el caso de geófonos superficiales, se ubica un lugar seguro para realizar la medición el cual debe estar alejado aproximadamente 100 m de la voladura.
- c) Se coloca al geófono sobre sus tres púas para anclarlo a la superficie (opcional), o se entierra el geófono a una distancia de 10cm. Aprox. La dirección de la flecha que lleva este, debe de apuntar hacia el disparo.
- d) Sobre el geófono ya anclado y/o enterrado se le coloca un peso de 2 kg aproximadamente (saco con arena).
- e) Se conecta el geófono al monitor InstanTel se programa el equipo con los datos de la medición y parámetros de grabación.
- f) Se deja el equipo en proceso de monitoreo.
- g) Se coloca encima del monitor la caja metálica de protección, se señala con conos y cinta y se evacua el área
- h) Luego del disparo se procede a recoger el equipo, para posteriormente analizar las mediciones obtenidas.

- **Toma de datos para análisis de fragmentación WIPFRAG**

- a) Instrumentos y equipos
 - Cámara fotográfica digital.
 - Regleta cuadrada de 0.5m. de lado escaladas cada 10 cm. en colores rojo y blanco.
- b) En primer lugar antes de ingresar, pedir autorización radial al operador de la pala y/o cargador frontal.
- c) Si se autoriza el ingreso, esperar que el equipo de carguío (pala o cargador frontal) detenga su marcha y bajen el respectivo balde.

- d) Estando cerca del talud del banco o frente de carguío cerciorarse de las condiciones del terreno. No arriesgarse, si las condiciones no son seguras comunicar y retirarse.
- e) Si se va a realizar el trabajo en áreas alejadas de equipos en movimiento (por lo menos 50m. del área de trabajo del equipo de carguío) se debe también llamar por radio al supervisor de mina responsable del área para solicitar la autorización de ingreso.
- f) Con los instrumentos de muestreo acérquese al frente de carguío o talud de banco y ubique la regleta en forma paralela encima del material fragmentado que desea analizar.
- g) Llene el campo visor con roca fragmentada.
- h) Ubique la regleta cerca del borde de la imagen para así no ocultar fragmentos que está tratando de medir.
- i) Incluya todos los tamaños. Ningún bloque simple deberá ocupar más del 20 % del ancho de la imagen.
- j) La cantidad de fotos a tomar, queda a criterio del examinador, pero se deberá tener en cuenta la uniformidad de la fragmentación. Si la fragmentación de la pila es poco uniforme deberá incluir más fotos.
- k) Para una resolución mejorada de fragmentos pequeños, use la capacidad de acercamiento de la cámara fotográfica para combinar imágenes a diferentes escalas de magnificación.
- l) Tomar fotos panorámicas, para tener mayor información de cómo está el frente que se está minando.
- m) Una vez terminado el trabajo comuníquese al operador de la pala la culminación del trabajo.

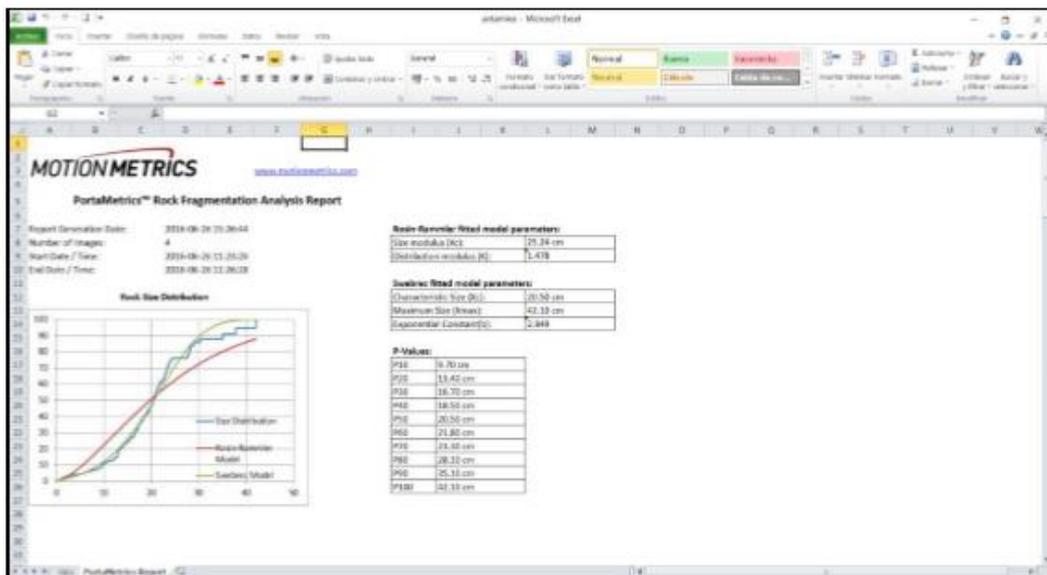
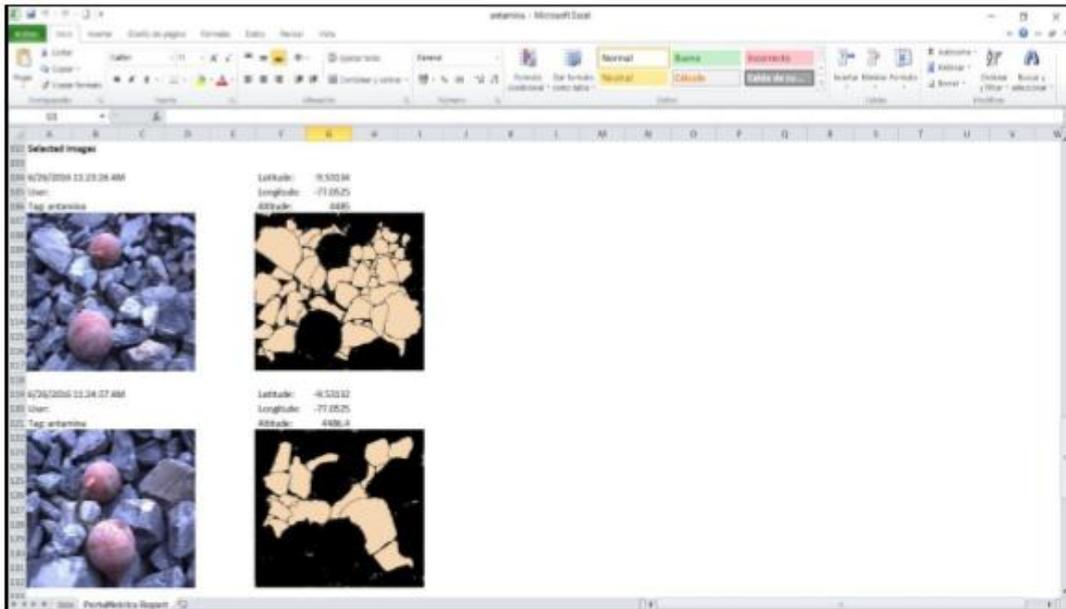


Figura N°39: Proceso de análisis en el software Wipfrag

- **Medición de la velocidad de detonación**

- a) Instrumentos y equipos:

- Monitor Microtrap.
- Cable Resistivo (10.8 Ohmios/m).
- Cable Coaxial RG-58.
- Multitester.

- Alicate de corte y cuchilla.
- Cinta aislante
- Caja metálica de protección del monitor Microtrap
- Lampa

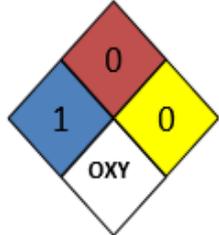


Figura N°40: Equipo Microtrap, para medición de VOD

- Separar los taladros para realizar la medición, se recomienda que estos deben de ser los primeros o los últimos de la secuencia de salida de la malla y necesariamente en taladros sin agua.
- Se realiza el cortocircuitado en un extremo del cable resistivo, luego se procede a aislar con la cinta aislante.
- Se introduce el iniciador o prima adherido con la cinta aislante el extremo cortocircuitado del cable resistivo.
- Se procede a cargar el taladro, posteriormente se llena el taco con mucho cuidado sin dañar el cable resistivo. El carguío del taladro debe de ser de preferencia el mismo día del disparo.
- Se verifica con el multítester la continuidad del cable resistivo.

- g) Se une el cable resistivo con el cable coaxial (debe verificarse que este en perfecto estado y debe tener continuidad).
- h) Con la ayuda de la lampa cubrir el cable resistivo que sale del taladro.
- i) Se debe emplear un buen criterio de ubicación para el Monitor Microtrap, pues este debe de estar en zona segura fuera del alcance de alguna proyección de la voladura o circulación de equipos en la zona.
- j) Se instala el equipo Microtrap, uniendo éste y el cable coaxial N° 58.
- k) Se activa el equipo, se cubre con la caja metálica, señalizamos con conos y cintas y se evacua a un lugar seguro.
- l) Culminado el proceso de voladura, ingresar al área, apagar el equipo y posteriormente realizar el análisis.

- Hoja de seguridad de la emulsión gasificable Sang Apu

SECCIÓN 1 : IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA				
Nombre Genérico: EMULSIÓN MATRIZ				
Nombre del Producto: SOLUCIÓN ACUOSA DE NITRATO GASIFICABLE (SAN-G APU®)				
Nombre de la Compañía:	FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.			
Dirección:	Km 28 Autopista Ancón - Puente Piedra			
Ciudad:	Lima			
Código Postal:	Lima 22			
Teléfono de Emergencia:	(51 1) 613-9850 -- (51 1) 613-9800 anexo 100			
E-mail:	famesa@famesa.com.pe			
SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS				
Marca en Etiqueta	Clase	N° UN	NFPA	
	5.1	3218		
Riesgos Potenciales Para la Salud				
Sus componentes no presentan riesgos a la salud si el usuario cumple con las normas correspondientes. Este producto no es explosivo, por lo que no puede causar lesiones físicas por detonación. La combustión del material puede producir vapores tóxicos.				
Por Inhalación	No, bajo condiciones normales de manejo.			
Contacto con la piel	No, bajo condiciones normales de manejo. En algunos casos puede causar irritación.			
Por los ojos	No, bajo condiciones normales de manejo. En el caso eventual que la emulsión haga contacto con los ojos puede causar irritación.			
Por ingestión	Ninguna bajo una correcta manipulación. La ingestión premeditada causa desordenes en el sistema gastrointestinal.			
Riesgos Especiales				
Fuego y Explosión	Prende al exponerse a fuego directo, la combustión del material puede producir vapores tóxicos.			
Detonación	Ningún riesgo de detonación espontánea. No detona cuando es iniciado con un Booster u otro cebo.			
SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES				
Naturaleza Química				
Componentes de Riesgo	PEL	TLV	N° CAS	N° UN
Nitrato de Amonio	No establecido	No establecido	6484-52-2	1942
Nitrato de Sodio	No establecido	No establecido	7631-99-4	1498

Petróleo	No establecido	No establecido	68476-30-2	1202
Aceites Minerales	No establecido	No establecido	-----	-----
Emulsificantes	5 mg/m ³	10 mg/m ³	-----	-----
Urea	-----	-----	57-13-6	-----
Thiourea	-----	-----	62-56-6	2811
CAS : Chemical Abstrac Service PEL : Permissible Exposure Limit (Límite de Exposición Permisible) TLV : Threshold Limit Value (Valor Límite Tolerable)				
SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS				
Contacto con ojos	En el caso que el producto por alguna razón eventual haga contacto con los ojos, levantar con cuidado los párpados y deja fluir agua a baja presión por lo menos 15 minutos. Buscar atención medica.			
Contacto con piel	Lavar la piel con agua y jabón.			
Ingestión	En el caso eventual que el contenido del producto sea ingerido, NO INDUCIR EL VOMITO, enjuagar la boca y dar de tomar agua, luego buscar atención médica.			
Inhalación	Si los gases de combustión son inhalados, movilizar al accidentado a un lugar y ventilado. Si la respiración es dificultosa, proporcionarle oxígeno. Buscar atención medica.			
SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS				
Medio de Extinción	Si el fuego no ha sido declarado, usar preferentemente agua como medio de extinción.			
Procedimiento en caso de fuego	Cuando hay fuego declarado en el material, no intentar extinguirlo. Despeje el área y evacue al personal a un lugar seguro. Notifique a las autoridades de acuerdo con los procedimientos de emergencia. Solo el personal entrenado y calificado en emergencia se hará cargo de la situación.			
SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL				
Precauciones Personales	Limpiar el área empleando los implementos de seguridad apropiados para evitar el contacto con la piel y el contacto con los ojos.			
Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente	Evitar el ingreso del producto a los drenajes y evitar el contacto con el suelo y cualquier fuente de agua.			
Método de eliminación de desechos	Los residuos contaminados pueden ser eliminados por voladuras bajo supervisión del personal calificado. La disposición de residuos debe cumplir las regulaciones locales de la autoridad competente.			
Método de limpieza	No usar herramientas de metal, evite choque, fricción. Hacer una barrera para evitar que se propague el derrame y usar un material absorbente (aserrín, arena u otro material inerte) recoger el producto contaminado, almacenarlo en recipientes etiquetados y disponerlos como Residuos Peligrosos. Los residuos permanentes deben ser eliminados por lavado con agua y detergente. Solicite asistencia técnica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.			
SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO				
Precauciones para el manipuleo y uso seguro	El manipuleo de este producto deberá estar a cargo del personal capacitado y autorizado para el manejo de estos productos. Antes de ingerir sus alimentos deberá efectuarse una adecuada higiene personal.			
Precauciones para el almacenamiento	La Solución Acuosa de Nitrato (SAN-G APU [®]) se almacenará solamente con productos compatibles. No almacenar junto con sustancias químicas corrosivas, volátiles combustibles acidas y bases, ni elementos metálicos. El lugar (polvorín) o silo destinado para almacenar debe cumplir con todos los requisitos establecidos por el reglamento vigente.			

SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL			
Medidas para controlar la posibilidad de exposición	El almacén e instalaciones de utilización de este material debe estar equipado con lava ojos y ducha de seguridad. Debe existir una adecuada ventilación en la zona de trabajo.		
Equipos de Protección Personal			
Protección a la vista	Usar anteojos de protección o gafas de seguridad química.		
Protección a la Piel	Usar guantes y ropa apropiada para prevenir la exposición directa.		
Protección respiratoria	Usar protección que cumpla con la OSHA 29 CFR. 1910.134 y ANSI Z88.2 o la norma europea EN 149		
SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS			
Estado Físico	Masa Pastosa	Punto de Fusión	No aplicable
Densidad promedio	1,32 g/cm ³	Temperatura de auto ignición	No aplicable
Apariencia / Olor	Pastosa / Sin olor	Punto de explosión	No aplicable
Solubilidad en agua	Muy lentamente. Casi insoluble	Punto de inflamación	No aplicable
SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD			
Estabilidad Química	Es estable bajo condiciones normales. Puede combustionar cuando es sometido a fuego directo.		
Condiciones a Evitar	Mantener alejado de fuentes de calor.		
Materiales Incompatibles	Sustancias químicas corrosivas, combustibles, ácidos y bases fuertes.		
Riesgo de Descomposición	Ninguna mientras se cumpla con los requisitos de manipulación, transporte, almacenaje y uso recomendados. Cuando existe fuego declarado puede existir una eventual descomposición de CO y NOx.		
Riesgo de Reacciones Peligrosas	Ninguna.		
SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA			
Efectos de Sobre Exposición			
Por inhalación	No bajo condiciones normales de manipuleo. Evitar respirar los gases producto de la combustión.		
Por la Piel	Por contacto prolongado y repetitivo puede causar irritación a la piel.		
Por los Ojos	No bajo condiciones normales de empleo.		
Por Ingestión	No bajo condiciones normales de manipuleo. La ingestión premeditada causa desordenes en el sistema gastrointestinal.		
Potencial carcinogénico de los componentes			
Petróleo: IARC – 3 (No clasificado como carcinogénico en humanos). Los componentes restantes de este producto no se encuentran en la siguiente lista: U.S. EPA, U.S. NTP OSHA, GERMAN MAK, IARC y ACGIH, por lo tanto no son considerados ni se sospecha que son agentes cancerígenos por los organismos antes mencionados. Thiourea – No hay conclusiones objetivas definitivas sobre el efecto cancerígeno de esta sustancia.			

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA		
Ecotoxicidad	No presenta problemas ecológicos si se realiza una adecuada disposición de los desechos.	
Persistencia / Degradabilidad	Se espera que la degradación del Nitrato de Amonio y Nitrato de Sodio suceda bajo condiciones aerobias y condiciones ambientales normales.	
Bioacumulación	Es improbable.	
Efectos sobre el medio ambiente	Evitar verter en suelos y cualquier fuente de agua y drenajes.	
SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN		
Procedimiento de eliminación del producto de los residuos	Recoger el material y disolver en recipientes con agua y detergente industrial. Mezclar con aserrín y disponer como basura industrial.	
Eliminación de envases/ embalajes contaminados	Se debe cumplir con las regulaciones locales. Si el producto se convierte en residuos deberá revisarse los requisitos de desecho con un especialista de la ley aplicable sobre Medio Ambiente, antes de disponer cualquier material explosivo.	
SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE		
Nº de Clase de riesgo	Nº de Identificación UN	Tipo de Explosivo
5.1	3218	No Explosivo Comburente
SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA		
Normas Internacionales Aplicables	Normas Nacionales Aplicables	
-----	Reglamento de Control de Explosivos de Uso Civil – Perú (SUCAMEC)	
SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES		
<p>Esta información ha sido preparada de acuerdo a la legislación vigente, y ofrecida como guía de manipulación del producto ofrecido, pero el fabricante no otorga garantía alguna expresa o implícita con respecto a esta información. El fabricante no asume responsabilidad directa, accidental o consecuente de daños resultantes del uso del producto mencionado en este documento.</p> <p>Los explosivos deteriorados así como los desperdicios generados durante su manipuleo y uso, deberán ser destruidos por personal capacitado y autorizado.</p> <p>En caso de ser necesaria alguna información adicional, a través del teléfono de emergencia de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. se le brindará la atención conveniente.</p>		



Universidad Nacional de Cajamarca
Norte de la Universidad Peruana

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica la originalidad de la tesis “EMPLEO DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE SANG APU PARA MINIMIZAR COSTOS DE VOLADURA EN MINERA LA ZANJA S.R.L”, elaborada por el bachiller en Ingeniería de Minas Jhoe Jiban López Zamora, de acuerdo al análisis realizado por el asesor Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca, con el software antiplagio Urkund que reporta 2% de índice de similitud y le asigna el código D107239769.

La Unidad de Investigación expide el presente, para los fines convenientes.

Cajamarca, 10 de junio del 2021

Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
DIRECTORA UNIDAD INVESTIGACIÓN FI