

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**Evaluación técnica – económica de la aplicación del Anfo
Pesado Ártico para reducir los índices P80 de fragmentación
en el tajo Susan, minera IRL – unidad Corihuarmi**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor : Bach. John Jairo CHEPPE AGUIRRE

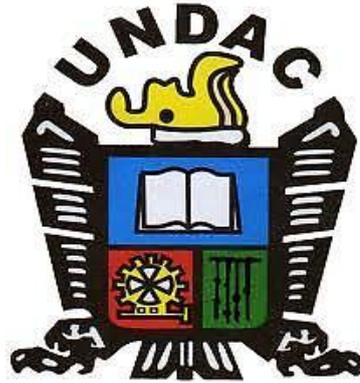
Asesor : Mg. Edwin Elías SÁNCHEZ ESPINOZA

Cerro de Pasco – Perú – 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**Evaluación técnica – económica de la aplicación del Anfo
Pesado Ártico para reducir los índices P80 de fragmentación
en el tajo Susan, minera IRL – unidad Corihuarmi**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Floro Pagel ZENTENO GÓMEZ
PRESIDENTE

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO

Mg. Edgar ALCÁNTARA TRUJILLO
MIEMBRO

DEDICATORIA

La elaboración del presente proyecto de investigación, honra los resultados de este trabajo, a la familia Cheppe Aguirre, mi familia; cuyo soporte fue, es y siempre será de valor inconmensurable. Del mismo modo, a Dios por guiarme y brindarme sabiduría en las decisiones realizadas.

AGRADECIMIENTO

Concluir la etapa del pregrado, aflora personalmente esa sensación de haber compartido con los mejores, un sinfín de emociones emergen desde el fondo de los recuerdos, mis pensamientos.

Sobran palabras de gratitud hacia las personas que fueron participes y tuvieron influencia en mi desarrollo profesional; mención importante y singular a los catedráticos de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, cuyas enseñanzas forjan y coadyuvan en el desarrollo de nuevos profesionales, en el rubro de la minería.

Gracias al Ing. Edwin Sánchez Espinoza, por el esmero dedicado en la asesoría del presente proyecto de investigación.

Agradecimiento especial a Minera IRL – Corihuarmi, por permitirme ejecutar el presente trabajo en sus instalaciones.

Del mismo modo, mi más sincero agradecimiento a Famesa Explosivos S.A.C, por brindarme las facilidades técnicas en la realización del presente trabajo.

RESUMEN

Hoy en día las empresas mineras buscan valor agregado en todas sus operaciones, es así que una propuesta de valor planteada y evaluada correctamente, puede generar beneficios económicos significativos.

Partiendo de esta premisa, se plantea el proyecto de investigación “Evaluación técnica – económica de la aplicación del Anfo Pesado Ártico para reducir los índices P80 de fragmentación, en el Tajo Susan, Minera IRL – Unidad Corihuarmi” ; el mismo que fue ideado con el principal objetivo de reducir parcialmente o totalmente la producción de fragmentos gruesos de mineral, productos de la voladura. Consecuentemente la supresión de voladuras secundarias (plasteo o cachorro), cuya ejecución estaba implicando un costo adicional en los KPI’s económicos del área de voladura.

Identificando las necesidades de la mina y buscando alternativas de subsanación de las deficiencias presentadas, vimos una oportunidad de mejora y se estimó que el punto declive era el explosivo empleado en ese momento (Emulnor 5000), entonces considerando las características del Tajo Susan, donde las condiciones geológicas eran apropiadas para un explosivo de alta densidad y teniendo en cuenta el rendimiento en bajas temperaturas, se decide evaluar el Anfo Pesado Ártico (HAA).

A partir de la evaluación, se muestran efectos positivos en su aplicación, reduciendo la producción de material grueso, eliminación de voladuras secundarias y por consiguiente reducción en los costos de voladura.

Palabras claves: HAA, plasteo, explosivo, voladura, cachorro, KPI.

ABSTRACT

Nowadays, mining companies look for value added in all of their operations, is so that a value proposal raised and evaluated correctly, can generate significant economic perks.

Based on this premise, is raised the investigation project called "Technical – economical evaluation of the application of Arctic Heavy Anfo to reduce P80 fragmentation in the Pit Susan, IRL Mining – Corihuarmi Unit"; the same that was devised with the main objective of reducing partially or totally the production of thick ore fragments, blasting outcomes.

Consequently, the secondary blasting elimination (mud blast or sand blast), whose execution was implicating an additional cost in the economic KPI's of the blasting area.

Identifying the needs of the mine and looking for alternatives to remedy the deficiencies presented, we found the opportunity for improvement and it was estimated that decline was the explosive employee in that moment (Emulnor 5000), so, considering the Tajo Susan features, where the geological conditions weren't appropriate for an explosive of high-density and taking into account that the performance in low temperatures, it's decided to evaluate Heavy Anfo Arctic.

From the evaluation, it shows positive effects in its application, reducing the production of thick material, elimination of secondary blasting and consequently reduction in blasting costs.

Keywords: HAA, mud blast, explosive, blasting, sand blast, KPI.

INTRODUCCIÓN

La gran variedad de herramientas tecnológicas y estudios disponibles hoy en el mundo de la minería nos extiende un amplio campo de posibilidades de análisis beneficiosos en diversos aspectos del mismo.

Empleamos principios del Trade Off para la realización de este análisis, donde a partir de la identificación del problema en Minera IRL – Corihuarmi, la cual denotaba la necesidad de suplir un ingrediente esencial en la ejecución de proyectos de voladura, este es el caso del explosivo (Emulnor 5000) por otro (Anfo Pesado Ártico). Si bien es cierto, los principios del Trade Off hacen alusión a conceder a la pérdida de un tipo de cualidad, para ganar o aprovechar otro tipo de cualidad o bien y para que las decisiones sean viables, se realiza una evaluación en la cual se determina si se logra o no una ventaja sustentable respecto al otro elemento.

Dadas las circunstancias en la unidad, se plantea el desarrollo del presente proyecto de investigación, en el cual se busca sustituir las características técnicas beneficiosas del Emulnor 5000, por un explosivo cuyas características técnicas son inferiores, pero a determinadas condiciones de temperatura, podría presentar un performance superior, este es el caso del Anfo Pesado Ártico, cuyas propiedades resultan efectivas a las condiciones de la mina. Evidentemente, para la determinación de la viabilidad de su aplicación, se realiza estudios técnicos y análisis económicos basados en resultados. En el presente proyecto se propone la realización de pilotos mensuales en los proyectos de voladura, para hacer seguimiento al desempeño en el Tajo Susan, que es el punto de la población a evaluar.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	V
ÍNDICE.....	VI
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.1.1. Alternativas de Evaluación.....	4
1.1.1.1. Reducción del diseño de malla de perforación.....	4
1.1.1.2. Ajuste a la secuencia de tiempos de retardos de salida de los taladros.....	7
1.2. Delimitación de la investigación.....	8
1.2.1. Generalidades de la Mina.....	8
1.2.1.1. Ubicación.....	8
1.2.1.2. Accesibilidad.....	9
1.2.1.3. Climatología.....	11
1.2.1.4. Relieve.....	11

1.2.1.4.1. Cadena de cerros altos.....	12
1.2.1.4.2. Circos glaciares	12
1.2.1.4.3. Laderas suaves y depresiones	13
1.2.1.5. Hidrología e Hidrogeología.....	13
1.2.1.6. Breve Reseña Histórica	14
1.2.2. Geología	15
1.2.2.1. Estratigrafía.....	15
1.2.2.1.1. Formación Casapalca (KsTi-c).....	16
1.2.2.1.2. Formación Sacsaquero (Tm-ss).....	16
1.2.2.1.3. Formación Caudalosa (Ts-c).....	16
1.2.2.1.4. Formación Astobamba (Ts-as).....	16
1.2.2.1.5. Depósitos cuaternarios	17
1.2.2.2. Geología Regional	17
1.2.2.3. Geología Local.....	17
1.2.2.3.1. Toba de lapilli dacítica.....	18
1.2.2.3.2. Brecha hidrotermal	18
1.2.2.3.3. Toba de lapilli andesítica.....	19
1.2.2.3.4. Lava andesítica	19
1.2.2.3.5. Depósitos cuaternarios	19
1.2.2.4. Geología Estructural	20
1.2.2.5. Geología Económica	22

1.2.2.6. Mineralización.....	24
1.2.2.7. Alteraciones.....	25
1.2.2.7.1. Sílice Granular.....	25
1.2.2.7.2. Sílice Masiva.....	26
1.2.2.7.3. Sílice Granular Alunita.....	26
1.2.2.7.4. Sílice Alunita.....	26
1.2.2.7.5. Argílica.....	26
1.2.2.8. Reservas de Mineral.....	27
1.2.3. Operaciones Mina.....	28
1.2.3.1. Voladura.....	28
1.2.3.2. Carguío y Acarreo.....	29
1.2.3.3. Flota de Minado.....	30
1.2.3.4. Seguridad.....	31
1.2.3.5. Medio Ambiente.....	31
1.3. Formulación del problema.....	32
1.3.1. Problema General.....	32
1.3.2. Problemas Específicos.....	32
1.4. Formulación de objetivos.....	33
1.4.1. Objetivo General.....	33
1.4.2. Objetivos Específicos.....	33
1.5. Justificación e importancia de la investigación.....	34

1.6. Limitaciones de la investigación	34
CAPÍTULO II	35
MARCO TEÓRICO	35
2.1. Antecedentes de estudio	35
2.1.1. Internacionales	35
2.1.2. Nacionales.....	36
2.2. Bases teóricas – científicas	39
2.3. Definición de términos básicos	57
2.4. Formulación de hipótesis	71
2.4.1. Hipótesis General	71
2.4.2. Hipótesis Específicas	71
2.5. Identificación de variables	71
2.5.1. Variable Independiente	72
2.5.2. Variable Dependiente	72
2.5.3. Variables Intervinientes	72
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	72
CAPÍTULO III	77
3. METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	77
3.1. Tipo de investigación.....	77
3.2. Métodos de investigación	77
3.3. Diseño de la investigación	79
3.4. Población y muestra	80

3.4.1. Población	80
3.4.2. Muestra	80
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	80
3.5.1. Técnicas	80
3.5.2. Instrumentos	81
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	81
3.7. Tratamiento estadístico de datos	82
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de	
investigación	82
3.8.1. Selección	82
3.8.2. Validación.....	83
3.8.3. Confiabilidad	83
3.9. Orientación ética	83
CAPÍTULO IV	86
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
4.1. Descripción del trabajo de campo	86
4.1.1. Perforación.....	87
4.1.2. Voladura	87
4.1.2.1. Control de Densidades	87
4.1.2.2. Velocidad de Detonación	88
4.1.2.3. Análisis de Fragmentación	89
4.1.2.4. Calidad de Humos	89

4.1.3. Carguío y Acarreo.....	90
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	90
4.2.1. Evaluación General del Anfo Pesado Ártico	90
4.2.1.1. Análisis de Parámetros Nominales.....	90
4.2.1.2. Modelo Predictivo de Fragmentación.....	91
4.2.2. Evaluación Técnica del Anfo Pesado Ártico	93
4.2.2.1. Control de densidades.....	94
4.2.2.2. Evaluación del Factor Potencia.....	95
4.2.2.3. Evaluación de la Velocidad de Detonación.....	98
4.2.2.4. Análisis de Fragmentación.....	103
4.2.2.5. Evaluación de Calidad de Humos	104
4.2.3. Evaluación Económica del Anfo Pesado Ártico	107
4.2.3.1. Precios Unitarios.....	107
4.2.3.2. Evaluación del Costo de Voladura.....	108
4.2.3.3. Simulación de Análisis Económico Comparativo	111
4.3. Prueba de hipótesis	115
4.3.1. Prueba de Hipótesis General	115
4.3.2. Prueba de Hipótesis Secundaria	116
4.4. Discusión de resultados	118

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño de malla.....	4
Figura 2: Vista panorámica de Minera IRL – Corihuarmi.....	14
Figura 3: Muestra de sílice masiva.....	25
Figura 4: Interfaz Wipfrag.....	53
Figura 5: Interfaz Split Desktop.....	54
Figura 6: Interfaz Portametrics.....	55
Figura 7: Interfaz Split Online.....	56
Figura 8: Etapas de fracturamiento.....	64
Figura 9: Zonificación de fracturamiento.....	64
Figura 10: Ciclo de perforación.....	87
Figura 11: Muestra de densidad de Anfo Pesado Ártico.....	89
Figura 12: Instalación de VOD.....	89
Figura 13: Monitoreo de fragmentación con Portametrics.....	90
Figura 14: Ciclo de minado.....	91
Figura 15: Clasificación de humos.....	106
Figura 16: Evaluación de calidad de humos.....	107
Figura 17: Diseño de carga Emulnor 5000.....	112
Figura 18: Diseño de carga Anfo Pesado Ártico.....	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diseño de malla de perforación.....	6
Gráfico 2: Modelo fragmentos Kuz Ram.....	47
Gráfico 3: Mecanismo de fracturamiento.....	63
Gráfico 4: Resultados de predictivo de fragmentación.....	94
Gráfico 5: Control de densidades.....	96
Gráfico 6: Evaluación factor potencia.....	97
Gráfico 7: Evaluación velocidad de detonación.....	99
Gráfico 8: Resultados VOD proyecto piloto 20 – 4820.....	100
Gráfico 9: Resultados VOD proyecto piloto 11 – 4825.....	101
Gráfico 10: Resultados VOD proyecto piloto 12 – 4815.....	102
Gráfico 11: Resultados VOD proyecto piloto 23 – 4820.....	103
Gráfico 12: Evaluación de P80.....	105
Gráfico 13: Precios unitarios.....	109
Gráfico 14: Evaluación costo de voladura.....	110
Gráfico 15: Resultados de simulación económica.....	115
Gráfico 16: Proyección ahorro en costo de voladura anual.....	116
Gráfico 17: Campana de Gauss de determinación de hipótesis.....	118
Gráfico 18: Discusión de resultados.....	120

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Ubicación Minera IRL – Corihuarmi.....	9
Plano 2: Ruta de acceso a Mineral IRL – Corihuarmi.....	10
Plano 3: Yacimientos mineros del Perú.....	15
Plano 4: Mapa Geoestructural Minera IRL – Corihuarmi.....	21
Plano 5: Alteraciones Minera IRL – Corihuarmi.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Evaluación diseño de malla.....	5
Tabla 2: Dimensiones perforadora.....	6
Tabla 3: Ruta de acceso a Minera IRL – Corihuarmi.....	11
Tabla 4: Reservas Minera IRL – Corihuarmi.....	28
Tabla 5: Flota de equipos Minera IRL – Corihuarmi.....	30
Tabla 6: Índices de seguridad Minera IRL – Corihuarmi.....	31
Tabla 7: Parámetros geomecánicos.....	49
Tabla 8: Data condición de roca.....	51
Tabla 9: Clasificación Anfo Pesado.....	57
Tabla 10: Características Técnicas Anfo Pesado Ártico.....	58
Tabla 11: Características Técnicas booster.....	59
Tabla 12: Características Técnicas Emulnor 5000.....	61
Tabla 13: Retardos de Fanel por periodos.....	65
Tabla 14: Retardos de Fanel CTD.....	66
Tabla 15: Tiempos de Fanel Dual.....	67
Tabla 16: Características Técnicas Fulminante.....	68
Tabla 17: Operacionalización de variables e indicadores.....	76
Tabla 18: Parámetros nominales Emulnor 5000 y Anfo Pesado Ártico.....	91
Tabla 19: Modelo predictivo de fragmentación.....	93
Tabla 20: Resultado predictivo de fragmentación.....	94
Tabla 21: Control de densidades.....	95
Tabla 22: Evaluación factor potencia.....	97
Tabla 23: Análisis factor potencia de proyectos piloto.....	98
Tabla 24: Resultados VOD – proyecto piloto 20 – 4820.....	100

Tabla 25: Resultados VOD – proyecto piloto 11 – 4825.....	101
Tabla 26: Resultados VOD – proyecto piloto 12 – 4815.....	102
Tabla 27: Resultados VOD – proyecto piloto 23 – 4820.....	103
Tabla 28: Control de fragmentación.....	104
Tabla 29: Precios unitarios.....	109
Tabla 30: Evaluación costo de voladura.....	110
Tabla 31: Análisis de costo de voladura.....	111
Tabla 32: Datos simulación económica.....	112
Tabla 33: Diseño de carga Emulnor 5000.....	112
Tabla 34: Simulación de costo unitario de voladura primaria con Emulnor 5000.....	113
Tabla 35: Diseño de carga Anfo Pesado Ártico.....	113
Tabla 36: Simulación de costo unitario de voladura primaria con Anfo Pesado Ártico.....	113
Tabla 37: Simulación de costo promedio de voladura secundaria.....	114
Tabla 38: Análisis de simulación económica.....	114
Tabla 39: Resultados de simulación económica.....	115
Tabla 40: Proyección ahorro en costo de voladura anual.....	116
Tabla 41: Muestras P80.....	117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Anexo 2: Hoja de trabajo de verificación de taladros.

Anexo 3: Worksheet de voladura de Minera IRL – Corihuarmi.

Anexo 4: Tablas de densidades.

Anexo 5: Análisis de fragmentación Portametrics.

Anexo 6: Análisis de resultados de fragmentación.

Anexo 7: Muestras P80 enero 2019 – abril 2020 con Emulnor 5000.

Anexo 8: P80 promedio.

Anexo 9: Muestras P80 enero 2020 – abril 2020 con Anfo Pesado Ártico.

Anexo 10: Personal de voladura de Minera IRL – Corihuarmi.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Definitivamente conceptualizar la expresión “minería moderna” en un contexto en el cuál las mentes, en su mayoría, se refugian en el argumento de que mencionada actividad radica en la extracción de la materia prima (mineral), del medio natural, de manera arbitraria, es fuente de debate y discusión; es ahí donde los que somos partícipes y uno de los principales actores de esta hermosa actividad, podemos refutar y argumentar en base a hechos consistentes y evidentes, que la actividad, actualmente se realiza en base a directrices, cuyo objetivo principal es la realización de ésta, de una manera excelente, fructuosa y responsable; no olvidemos que somos implicados y estamos inscritos por fortunio, en el siglo de la tecnología de las cosas, por consiguiente, tenemos al alcance una gran variedad de herramientas que conllevan a la realización de la actividad minera de tal manera. Basándonos en este

preámbulo, podemos enfatizar la importancia de la tecnología en este medio, cuya participación es indispensable en el resultado de los procesos. Ejemplo de ello, es la situación actual por la cual están atravesando las empresas mineras del país, cuyo amoldamiento a las nuevas tecnologías busca optimizar procesos, a partir del buen aprovechamiento e impecable administración de los recursos tecnológicos empleados, ya sea en minería del subsuelo o a cielo abierto, en el campo de Perforación, Voladura, Geomecánica, Ventilación, etc. Todos con la misma convicción: “GENERAR, SIN DESCUIDAR”.

Si bien es cierto, cada una de las áreas en la actividad minera es de suma relevancia, ojo ninguna más importante que la otra; si cada una de ellas es ejecutada óptimamente influirá en que la correcta articulación de las actividades realizadas en cada área respectivamente, incida en el próspero cumplimiento de los objetivos. Es imprescindible encontrar la presencia de fallas al momento de la ejecución de las operaciones en cualquier área, por ende, vuestro trabajo influye en la mejora o minimización de estas figuras negativas. Basándome en esta premisa, tomo la decisión de poner como foco al área de Voladura.

Es sabido que en la minería contemporánea; más sustancial que el obtener la materia prima, es la manera como se realiza la obtención. Clara muestra de ello, es la voladura del siglo XXI; cuyos parámetros cuantitativos y cualitativos pre y post-voladura como: Diseño de malla, Secuencia de retardos de tiempo de salida, Medición de vibraciones,

Lectura de velocidades de detonación, Fragmentación etc., nos facilitan realizar el análisis de mencionado proceso.

Del “GENERAR, SIN DESCUIDAR”, abordamos a MINERA IRL - UNIDAD CORIHUARMI, cuyo desarrollo de sus operaciones está atravesando por una etapa de ampliación, por consiguiente, en coordinación con Superintendencia de Mina y Planta, se plantea un mejoramiento y un reajuste en los resultados de fragmentación, especialmente en el Tajo Susan, cuyos valores respecto a las leyes del yacimiento son explotablemente beneficiosas para la compañía. Teniendo en cuenta precedentes en mencionado Tajo, cuyos resultados en cuánto al P80 y al Porcentaje de Gruesos, está presentando anomalías al momento de la verificación de resultados, éstos están siendo afectados económicamente al tener que realizar procesos de voladura secundaria de forma continua, por lo tanto, con un incremento en los costos unitarios de voladura.

A inicios del presente año, se establece realizar un trabajo en conjunto entre Minera IRL – Unidad Corihuarmi y Famesa Explosivos SAC., con el objetivo de satisfacer las necesidades solicitadas, antes ya mencionadas. Para corregir estas deficiencias, se decide realizar un piloto mensual en las voladuras de mencionado Tajo, supliendo el explosivo utilizado en ese entonces el EMULNOR 5000, por el HEAVY ANFO ÁRTICO.

1.1.1. Alternativas de Evaluación

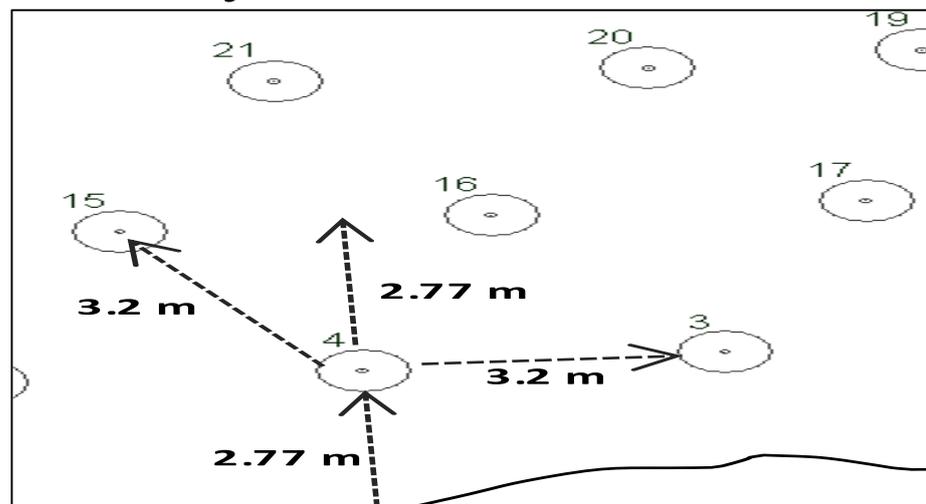
El desarrollo del presente proyecto de investigación enfoca sus estudios principalmente en la sustitución del explosivo actual, Emulnor 5000, por otro que brote un performance superlativo, en este caso el Anfo Pesado Ártico, esto con el objetivo de mejorar los índices de fragmentación en el Tajo Susan de Minera IRL – Corihuarmi, específicamente valores P80.

Sin embargo, existen otras alternativas que podrían coadyuvar a la subsanación de las deficiencias presentadas, ya mencionadas anteriormente.

Entre estas propuestas destacan, la reducción del diseño de malla de perforación y el ajuste adecuado a la secuencia de tiempo de retardos de salida de los taladros.

1.1.1.1. Reducción del diseño de malla de perforación

Figura 1: Diseño de Malla



Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta el modelo matemático para la obtención del burden propuesto por (C. Konya, 1998), el cual prescribe la obtención del burden y espaciamiento a partir de parámetros de roca y explosivo se obtiene la siguiente modificación a partir de la ecuación siguiente:

$$B = 3.15 \times \phi \times \sqrt[3]{\frac{\delta_{expl.}}{\delta_{roca}}}$$

Dónde:

B = Burden en pies

ϕ = Diámetro de taladro en pulgadas.

δ = Densidad.

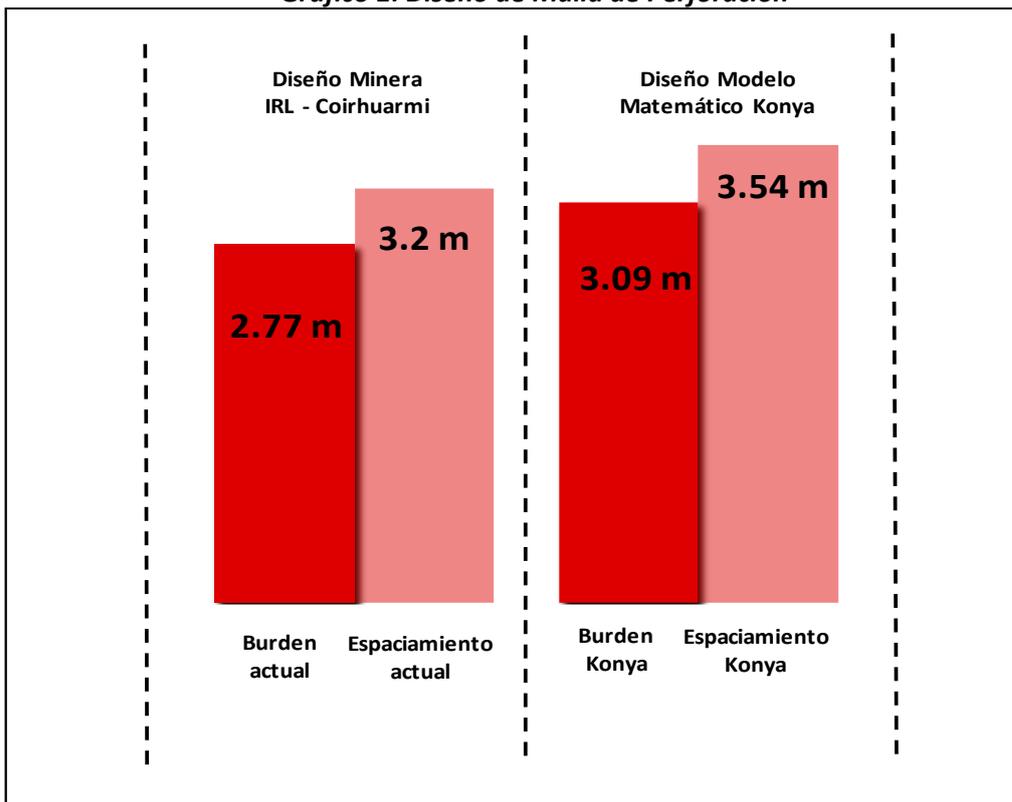
Tabla 1: Evaluación Diseño de Malla

Diseño de malla actual Tajo Susan		Diseño de malla según Konya	
Burden (m)	2.77	Burden (m)	3.09
Espaciamiento (m)	3.2	Espaciamiento (m)	3.54
Diámetro explosivo (pulg)	4	Diámetro taladro (pulg)	4
Altura de banco (m)	5	Altura de banco (m)	5
Sobreperforación (m)	0.5	Sobreperforación (m)	0.5
Densidad de explosivo (g/cc)	1.16	Densidad de explosivo (g/cc)	1.16
Densidad de roca (g/cc)	2.23	Densidad de roca (g/cc)	2.23

Fuente: Elaboración Propia.

A partir del desglose de datos reales, simulamos un diseño de malla a condiciones de bancos pequeños, planteado por Konya, del cual se obtiene un burden y espaciamiento superior a lo aplicado actualmente en la mina, es decir, el diseño empleado actualmente ya se encuentra ajustado a las dimensiones mínimas. Cómo se muestra a continuación.

Gráfico 1: Diseño de Malla de Perforación



Fuente: Elaboración Propia.

Además a estas alturas una reducción en el diseño de malla, implicaría cierto riesgo en el libre desplazamiento de la perforadora, además de la alta probabilidad del tapado de taladros consecuentemente. Se tiene en cuenta que las dimensiones se encuentran al límite de la longitud de burden y espaciamento.

Tabla 2: Dimensiones Perforadora

Dimensiones Perforadora Soosan STD 14E	
Peso bruto (kg)	12500
Longitud total (m)	8.63
Ancho Total (m)	3.1
Altura Total (m)	3.1

Fuente: Minera IRL - Corihuarmi.

Como se puede apreciar en el cuadro, el ancho de la perforadora es de 3.1 m, longitud similar a la del espaciamento actual que es de 3.2 m.

Y si fuera el caso de reducción de malla, esto conllevaría al incremento de taladros, por consiguiente, un aumento en horas de perforación, de material explosivo para más taladros, desgaste de brocas, etc.

1.1.1.2. Ajuste a la secuencia de tiempos de retardos de salida de los taladros

Considerando que actualmente Minera IRL – Corihuarmi, trabaja con faneles duales y faneles CTD, del tipo pirotécnico, cuyos tiempos de retardos mínimos son de 17 ms en superficie, con una dispersión de hasta 8% en su efectividad de salida. Se hace imposible el reducir los tiempos a un margen menor, ya que esto generaría un punto declive desastroso, a partir del acoplamiento de taladros, niveles exorbitantes de vibraciones en la mina, inestabilidad de taludes, deepfreeze entre taladros, proyección de rocas e incluso hasta PTQ's.

Afortunadamente existen actualmente los detonadores electrónicos, cuya efectividad es 99.99%, y a partir de su aplicación se podría ajustar los tiempos de salida en intervalos exactos, con márgenes de error de hasta 0.0001% respecto a la dispersión, sin embargo, lo desfavorable es el precio unitario de los mismos, cuyos valores oscilan entre los 14 y 20 \$/unidad. Por ende su

implementación, significaría una elevación en los costos de voladura.

Cabe resaltar que actualmente, no se presentan problemas de vibraciones, con los diseños presentados, además el diseño de malla tiene forma de salida en diamante.

1.2. Delimitación de la investigación

La ejecución del presente trabajo de investigación tuvo lugar en las instalaciones de la Unidad Corihuarmi perteneciente a Minera IRL, específicamente en el Tajo Susan, durante el periodo de enero a abril del año 2020.

A partir de las necesidades halladas en Minera IRL – Unidad Corihuarmi, se plantea el presente proyecto de investigación partiendo de los principios QA/QC (calidad en voladura), explorando e indagando en el vasto campo de la voladura, considerando métodos, técnicas, modelos matemáticos y hasta tecnología aplicadas al mismo, con foco principal en el progreso positivo de los resultados.

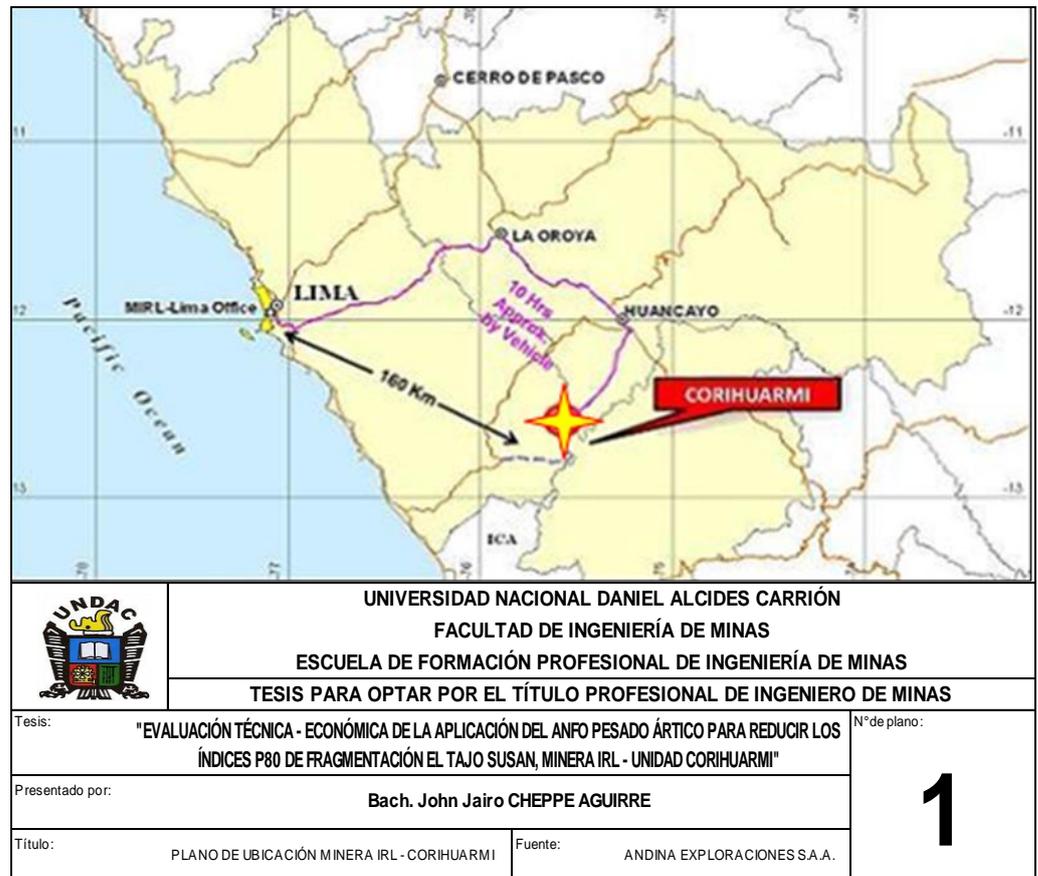
1.2.1. Generalidades de la Mina

1.2.1.1. Ubicación

Minera IRL - Corihuarmi se ubica a 175 km. en línea recta al sureste de La Ciudad de Lima, en el Distrito de Huantán, Provincia de Yauyos y Departamento de Lima. Las coordenadas UTM de ubicación de la parte central es: N 8'610,300.00, E 439,600.00 y 4,600 – 5,000 msnm.

En el ámbito jurisdiccional local, se puede acotar que Minera IRL – Corihuarmi se ubica al Nor-oeste de las lagunas Coyllorcocha y Huichicocha, en las tierras pertenecientes a las comunidades campesinas de Atcas y Huantán, según referencias del estudio hidrogeológico proporcionado por la minera.

Plano 1: Ubicación Minera IRL - Corihuarmi



Fuente: Andina Exploraciones S.A.A.

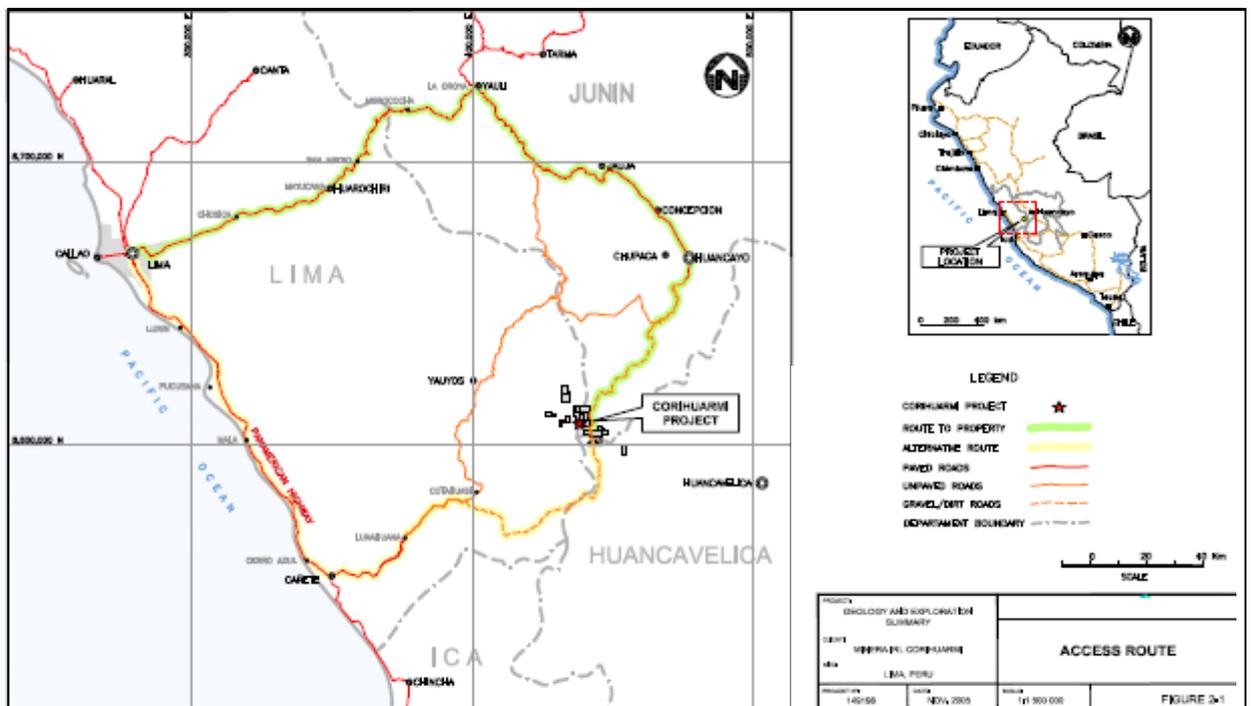
1.2.1.2. Accesibilidad

El acceso común a la mina, partiendo desde la ciudad de Lima, se realiza a través de la Carretera Central (vía asfaltada) hasta la ciudad de Huancayo en aproximadamente seis horas de viaje, luego desde

Huancayo hacia CORIHUARMI a través de Carretera afirmada aproximadamente cuatro horas de viaje en condiciones normales llegando a las instalaciones de la unidad. Otra opción de acceso, es vía terrestre por el tramo Lima – Cañete.

Existen 02 vías de acceso a Minera IRL – Corihuarmi desde la Capital:

Plano 2: Ruta de acceso a Minera IRL - Corihuarmi



	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS	
	Tesis: "EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DE LA APLICACIÓN DEL ANFO PESADO ÁRTICO PARA REDUCIR LOS ÍNDICES P80 DE FRAGMENTACIÓN EL TAJO SUSAN, MINERA IRL - UNIDAD CORIHUARMI"	N° de plano:
Presentado por: Bach. John Jairo CHEPPE AGUIRRE		2
Título: PLANO DE RUTAS DE ACCESO MINERA IRL - CORIHUARMI	Fuente: ANDINA EXPLORACIONES S.A.A.	

Fuente: Andina Exploraciones S.A.A.

Tabla 5: Ruta de acceso a Minera IRL - Corihuarmi

Tramo 1	Vía	Km	Horas
Lima - Huancayo	Vía asfaltada	330	6
Huancayo - Vista Alegre - Corihuarmi	Vía afirmada	115	4
Total		445	10

Tramo 2	Vía	Km	Horas
Lima - Cañete - Lunahuaná	Vía asfaltada	145	2.5
Lunahuaná - Dv.Yauyos - Llapay	Vía afirmada	155	4
Llapay - San Valentín - Corihuarmi	Vía afirmada	70	3.5
Total		370	10

Fuente: Minera IRL - Corihuarmi

1.2.1.3. Climatología

La unidad se encuentra al lado oriental de la divisoria continental de aguas en los Andes del Perú a una altura entre los 4800 y 4950 msnm. En base a los criterios de clasificación climatológica del SENAMHI, esta zona corresponde a la clasificación B (I) D'H3 (lluvioso con invierno seco, semifrío, húmedo). Por otro lado según la clasificación de Holdridge, se encuentra en la zona de vida "tundra pluvial-alpino tropical", donde se evidencia una baja presencia de vientos, como es típico en esta región.

1.2.1.4. Relieve

La geomorfología en el contexto regional corresponde al sector Oriental de la Cordillera de los Andes del Perú. En un contexto más localizado el área de estudio se encuentra ubicada en la divisoria de aguas continental, habiendo sido afectada por una intensa actividad glaciaria, siendo las morfologías más características del sector la presencia de

“cadena de cerros altos, circo glaciar, laderas suaves y cubetas de depresión” los cuales se sintetizan líneas abajo:

1.2.1.4.1. Cadena de cerros altos

Morfologías conformadas por un trend de cerros con altitudes que alcanzan los cinco mil metros sobre nivel del mar y se extienden de “Sur a Norte”, un ejemplo típico de esta morfología constituye el Cerro Cayhua. Esta sub-unidad geomorfológica se caracteriza por su relieve agreste, donde se aprecian la predominancia de afloramientos rocosos con laderas de fuerte pendiente parcialmente cubiertas por depósitos coluviales y suelos residuales.

1.2.1.4.2. Circos glaciares

Morfologías típicas de la actividad glaciar, constituidas por un alineamiento de cerros con aspecto circular, laderas de fuerte pendiente y fondo amplio, en cuya conjunción se configuran desfiladeros, como el que aprecia entre el área del Proyecto y el PAD (constituyen la parte intermedia entre los cerros altos y las laderas suaves-depresiones de la parte inferior.

1.2.1.4.3. Laderas suaves y depresiones

Morfologías caracterizadas por un relieve sub-horizontal y ligeras depresiones, conformadas mayormente por depósitos morrénicos, bofedales y lagunas. Estas geoformas se distribuyen en las zonas inferiores y no alcanzan al ámbito de la mina.

1.2.1.5. Hidrología e Hidrogeología

Hidrográficamente el Proyecto se localiza en el sector Este de la divisoria continental de aguas en los Andes, específicamente en la sub-cuenca del Río Chacote, por lo tanto el drenaje natural será hacia el lado oriental formando parte de la cuenca del Río Mantaro. Es necesario acotar que las aguas de la sub-cuenca del Río Chacote están contenidas en la cuenca del Río Aymaraes el mismo que a su vez descarga es un afluente del Río Mantaro. Las distintas componentes instaladas por Minera IRL – Corihuarmi, se encuentran circunscritas entre los Ríos Chacote y Aymaraes, el primero afluente del segundo.

Desde el punto de vista de la cantidad del recurso hídrico en el ámbito de la mina, existe amplia exposición de zonas de pantanos, bofedales y lagunas de diferentes tamaños y formas, como se encuentran descritos en el estudio

hidrogeológico. Esto es sin duda un indicador de la existencia de aguas subterráneas cercanas a la superficie y una estrecha interacción con las aguas superficiales, lo cual se contrastan con los resultados del muestreo los mismos que demuestran una calidad de agua superficial similar al agua subterránea.

1.2.1.6. Breve Reseña Histórica

Corihuarmi fue adquirida por Minera IRL S.A. como un proyecto de exploración en octubre del 2002. La perforación fue hecha en el 2003, 2004 y 2005 en los dos cuerpos silíceos conocidos como Susan y Diana. Estas labores permitieron identificar un volumen de reservas mineras probada y probable de aproximadamente 144,000 onzas de oro. El estudio de factibilidad fue desarrollado en abril del 2006. El Estudio de Impacto Ambiental (EIA), fue completado y aprobado a comienzos del 2007. La construcción comenzó en junio del 2007, iniciándose la producción con un minado a Tajo Abierto en enero del 2008. La primera barra de oro se produjo en marzo del 2008.

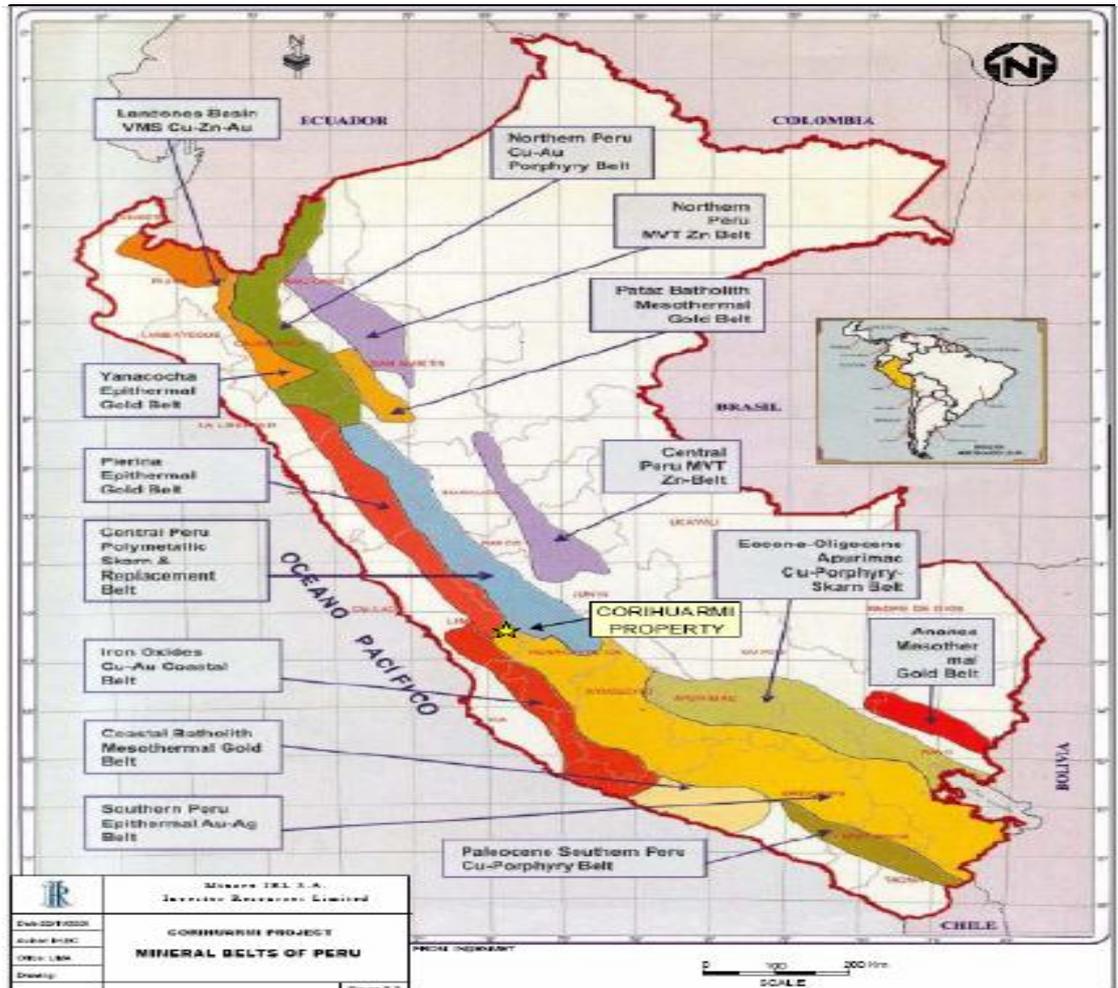
Figura 2: Vista Panorámica de Minera IRL - Corihuarmi



Fuente: Minera IRL - Corihuarmi

1.2.2. Geología

Plano 3: Yacimientos Mineros del Perú



		UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS	
Tesis: "EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DE LA APLICACIÓN DEL ANFO PESADO ÁRTICO PARA REDUCIR LOS ÍNDICES P80 DE FRAGMENTACIÓN EL TAJO SUSAN, MINERA IRL - UNIDAD CORIHUARMÍ"		N° de plano:	
Presentado por:		Bach. John Jairo CHEPPE AGUIRRE	
Título:		PLANO DE YACIMIENTOS MINEROS DEL PERÚ	Fuente: ANDINA EXPLORACIONES S.A.A.

3

Fuente: Andina Exploraciones S.A.A.

1.2.2.1. Estratigrafía

El resumen estratigráfico de la geología asociada al proyecto en el contexto regional del más antiguo al reciente muestra la siguiente descripción:

1.2.2.1.1. Formación Casapalca (KsTi-c)

Representada por afloramientos de areniscas y limolitas rojas, con algunos planos de areniscas más finas y conglomerados calcáreos.

1.2.2.1.2. Formación Sacsaquero (Tm-ss)

Es una secuencia volcánica-sedimentaria, principalmente constituida por rocas andesíticas, tobas, areniscas y rocas limosas-argiláceas. Esta aparece a elevaciones menores, principalmente en la zona oeste del proyecto.

1.2.2.1.3. Formación Caudalosa (Ts-c)

Es una secuencia volcánica, principalmente constituida por piroclastos, flujos andesíticos, riolacitas y areniscas tufáceas. Se puede apreciar en zonas de terreno suaves (sector del pad).

1.2.2.1.4. Formación Astobamba (Ts-as)

Esta es una secuencia volcánica constituida por flujos andesíticos, tobas ignimbríticas, piroclastos, y dacíticas intrusivas. Está principalmente distribuida en una zona meridional, coronando los picos principales, como el cerro Cayhua y su entorno. Estos afloramientos han sufrido grados

de alteración variables como clorificación, argilización y silicificación.

1.2.2.1.5. Depósitos cuaternarios

Estos están ampliamente distribuidos en la zona del proyecto, constituidos por depósitos morrénicos y coluviales, en algunos casos afectados por procesos de remoción y deposición. Dependiendo del principal agente de transporte, se tornan en depósitos fluvial-glaciales, coluvial-glaciales y coluvial-aluviales. Además, algunos afloramientos rocosos han sido altamente alterados y erosionados, originando suelos residuales. (Andina Exploraciones, 1996).

1.2.2.2. Geología Regional

La geología de la mina en el contexto regional se caracteriza por la presencia de afloramientos rocosos constituidos por secuencias volcánicas-sedimentarias del Cretácico Tardío al Cuaternario Reciente, representadas por las formaciones Casapalca (KsTi-c), Sacsaquero (Tm-ss), Caudalosa (Ts-c), Astobamba (Ts-as) y Depósitos cuaternarios. (Andina Exploraciones, 1996).

1.2.2.3. Geología Local

A nivel local en el área de estudio afloran rocas volcánicas constituidas por tobas de composición andesítica

pertenecientes a la formación Astobamba (Ts-as), instruidas por domos sub-volcánicos dacíticos-riodacíticos que como se aprecia en el plano geológico local, los cuales se encuentran parcialmente tapizados por depósitos coluviales, aluvio-glaciares, y vegetación hidromórfica del cuaternario.

La intensa actividad volcánica ocurrida ha generado vulcanismo de diferente composición cuyas características macroscópicas son:

1.2.2.3.1. Toba de lapilli dacítica

Se constituyen por fragmentos angulosos a sub-angulosos dacíticos, englobados en matriz dacítica, de textura porfirítica, color gris con tonalidades rosáceas, moderada meteorización.

1.2.2.3.2. Brecha hidrotermal

Se constituyen de clastos soldados, angulosos a sub-angulosos de composición dacítica (monomítica), de tamaño variable $< 0.05\text{m}$, textura fragmentada-gruesa, matriz con sílice granular en ocasiones de carácter deleznable (foto talud), con óxidos de hierro (limonita-hematita), en su conjunto tienen coloración beige con tonalidades amarillentas-marrón clara, moderada-muy meteorizada.

1.2.2.3.3. Toba de lapilli andesítica

Sus afloramientos puntuales se encuentran hacia el sector noroeste del área en estudio; Se constituyen de fragmentos angulosos a sub-angulosos andesíticos de tamaño variable, englobados en matriz andesítica, textura porfirítica, grano fino a medio, gris de tonalidad azulada, ligera a moderada meteorización.

1.2.2.3.4. Lava andesítica

Esta unidad se encuentra hacia el sector noroeste del área en estudio, en forma de crestones; presentan una matriz afanítica-porfirítica, grano fino-medio, color gris con tonalidades oscura-azulada, ligera a moderada meteorización.

1.2.2.3.5. Depósitos cuaternarios

Depósito coluvial (Q-co). Se encuentran en las partes intermedias a finales de las laderas formando superficies con pendiente moderada-alta (10 a 50%). Se constituyen por acumulaciones de fragmentos angulosos a sub-angulosos heterométricos de naturaleza volcánica a sub-volcánica, por lo general se encuentran sueltos (no cohesivos) y secos.

Depósito aluvio/glaciar (Q-al/gl). Se encuentran emplazados en las partes inferiores bordeando

las laderas de los cerros (arroyadas) formando superficies con pendiente ligera- moderada (2 a 10%). Se constituyen por horizontes de grava limosa-arcillosa y arena-limosa con grava, de compacidad suelta a medianamente densa, que engloba fragmentos heterométricos de rocas, por lo general se aprecian húmedo a saturado con agua. Los espesores son muy variables dependiendo la profundidad y amplitud de las zonas de las partes bajas, por lo general superficialmente se encuentran cubiertas por una vegetación hidromórfica.

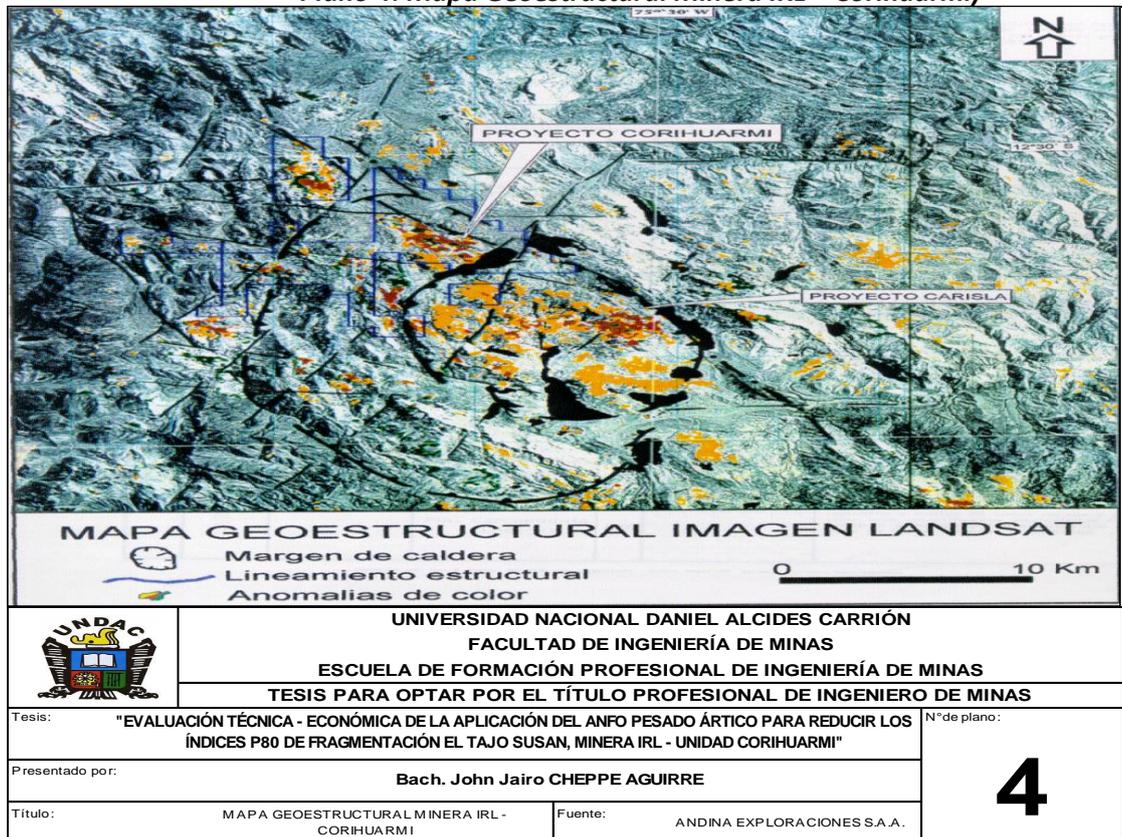
Turba (Vegetación hidromórfica). Depósitos ubicados en el lecho de las quebradas y parte inferior de laderas, se encuentran tapizando gran parte de los depósitos aluvio/glaciares. Se constituyen por una alternancia de niveles limo-arenosos y turbas saturadas, de espesor variable desde escasos centímetros hasta unos metros. (Andina Exploraciones, 1996).

1.2.2.4. Geología Estructural

Los rasgos estructurales más importantes según referencias consultadas evidencian a nivel regional una típica tectónica de fallamientos del tipo tensional. Gran parte de esta actividad tectónica en el sector estaría

asociada al sistema de fallas Chonta, el cual ha generado a nivel local (Mina Corihuarmi) fallamientos principales con dirección (N75-85°W/80-85°SW y N70-80E°/80-85°NW), también fallamientos secundarios con dirección (N70-80°W/25- 40°NE) y otras de carácter aleatorio. Es evidente que la intensa actividad tectónica ocurrida ha generado sistemas de diaclasamiento en la roca, por ello podemos acotar que gran parte de la masa rocosa en el Cerro Cayhua se encuentra muy fracturada sobre todo en sectores adyacentes al sistema de fallas (N75-85°W/80-85°SW), los sectores menos fracturados (crestones y afloramientos altos) están asociados a rocas volcánicas hidrotermalmente alteradas por fluidos de composición sílicea. (Andina Exploraciones, 1996).

Plano 4: Mapa Geoestructural Minera IRL – Corihuarmi



Fuente: Andina Exploraciones S.A.A.

1.2.2.5. Geología Económica

El tipo de mineralización epitermal de alta sulfuración de Corihuarmi se formó mediante procesos similares a aquellos que generaron los depósitos de oro de la mina Yanacocha. El sistema mineralizado de oro se formó en rocas volcánicas y sedimentarias del Terciario, las cuales han sido intruidas por dacitas y latitas porfiríticas subvolcánicas del Terciario Tardío.

Originalmente, llamó la atención la zona de Corihuarmi por mostrarse como una gran zona de alteración. Las características físicas sugieren la presencia de una gran caldera con rocas volcánicas de composición de intermedia a ácida, típicamente andesíticas, con depósitos de brecha, piroclastos y tobas volcánicas, así como domos de riolíticos a dacíticos. Se presenta una mineralización epitermal típica con un desarrollo característico de sílice-alunita-azufre nativa.

La mineralización de oro diseminado en la mina, contiene dos afloramientos prominentes: Susan, el más grande, y Diana. Ambos están compuestos de sílice porosa maciza; el contenido de sílice en las zonas mineralizadas es de un 90% o más. El oro está generalmente asociado con la sílice porosa pero no toda esta contiene oro. Una parte del afloramiento Susan está coronada por una sílice estéril que

cubre lo que probablemente representa la etapa final de la deposición hidrotermal.

Los valores de oro son uniformes en decenas de metros de espesor y tienden a desaparecer transitoriamente hacia los bordes laterales. Tanto en Susan como en Diana se desarrolla una envolvente de 0.4 g/t Au a espesores de 15-50 m y buzamientos al suroeste. Aparentemente, Susan en general es más dura y más silicificada que Diana. Con la capa mineralizada en ambos afloramientos, los mejores niveles están en las elevaciones más altas y tienden a decrecer hacia abajo y lateralmente.

El registro geológico de testigos demuestra la presencia de micro venillas laminadas bien definidas. La oxidación aparece completa a través de las zonas mineralizadas que han sido perforadas tanto en Susan como en Diana. La matriz sílice porosa se caracteriza por óxidos de hierro remanentes, a veces intensos, dando a la roca una textura generalmente porosa, excepto en zonas de mayor silicificación. Se observa en algunas zonas restringidas una brecciación hidrotermal.

El yacimiento Corihuarmi es moderadamente anómalo en mercurio (de 1 a 7 ppm en muestras metalúrgicas), pero bajo en cobre (5-20 ppm) y plata (similar a los niveles de oro). Es posible observar azufres nativos. En el perímetro

de los afloramientos masivos de Susan y Diana se pueden observar zonas de alteración argílica y otras de alto contenido de pirita, cerca de la superficie de corte. Las más recientes contienen poco o nada de oro pero se cree que son responsables de los manantiales fríos y ácidos en la base de los afloramientos. Este es un modelo que se repite en otros depósitos de los Andes altos. (Andina Exploraciones, 1996).

1.2.2.6. Mineralización

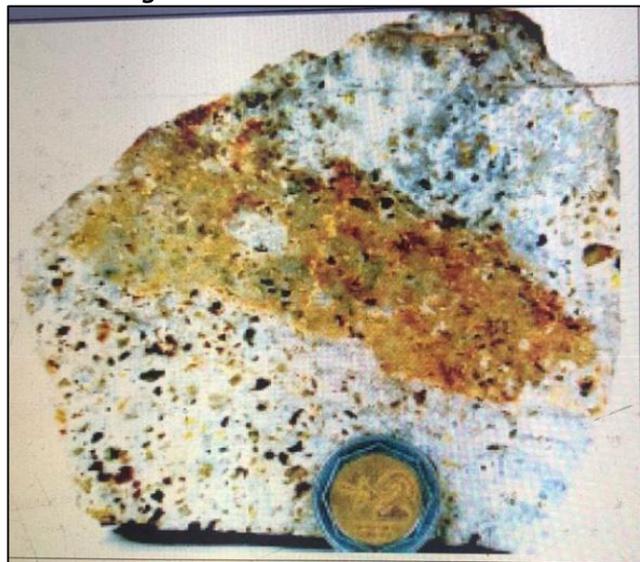
El yacimiento aurífero CORIHUARMI, está tipificado como un “epitermal de alta sulfuración” cuya mineralización se presenta en rocas volcánicas de composición “intermedia-ácida” con afloramientos de secuencias andesíticas estériles y secuencias “dacíticas-riodacíticas mineralizadas”. Macroscópicamente la mineralización aurífera del Cerro Cayhua está compuesta por sílice masiva y sílice cavernosa (dacitas silicificadas); el contenido de sílice en la zona mineralizada representa casi el 90% a más, el Oro generalmente está asociado a sílice cavernosa lo cual no necesariamente es un indicador de la existencia de mineralización aurífera. El contenido de oro es notablemente uniforme a través de unas decenas de metros de espesor, tendiendo a desaparecer hacia los bordes laterales y en profundidad. Existe un control estructural con dirección “N75-85°W/80-85°SW” juega un

papel importante en la mineralización y es limitante de la misma hacia el extremo Sur.

1.2.2.7. Alteraciones

Las alteraciones presentes en el área de interés son de tipo alta sulfuración (sílice granular, sílice masiva, sílice granular- alunita, sílice calcedónica-oquerosas, sílice alunita y argílica). Líneas abajo se hace una breve descripción de las características macroscópicas que definen estas alteraciones:

Figura 3: Muestra sílice masiva



Fuente: Minera IRL - Corihuarmi

1.2.2.7.1. Sílice Granular

Se encuentra en la parte central del proyecto, con textura obliterada en ocasiones presentando características masivas, oquerosas y deleznales principalmente asociadas a las brechas, también se observa la presencia de óxidos de hierro

(limonita y hematita) en discontinuidades y oquedades.

1.2.2.7.2. Sílice Masiva

Esta alteración se presenta en la parte intermedia del sistema mineralizado, presenta una textura obliterateda, con presencia de óxidos de hierro en discontinuidades (hematita-goethita).

1.2.2.7.3. Sílice Granular Alunita

Esta alteración se encuentra gradando a la sílice granular, presenta texturas obliteratedas con características masivas y oquerosas, también muestran óxidos de hierro en oquedades y discontinuidades a manera de trazas (limonita y hematita).

1.2.2.7.4. Sílice Alunita

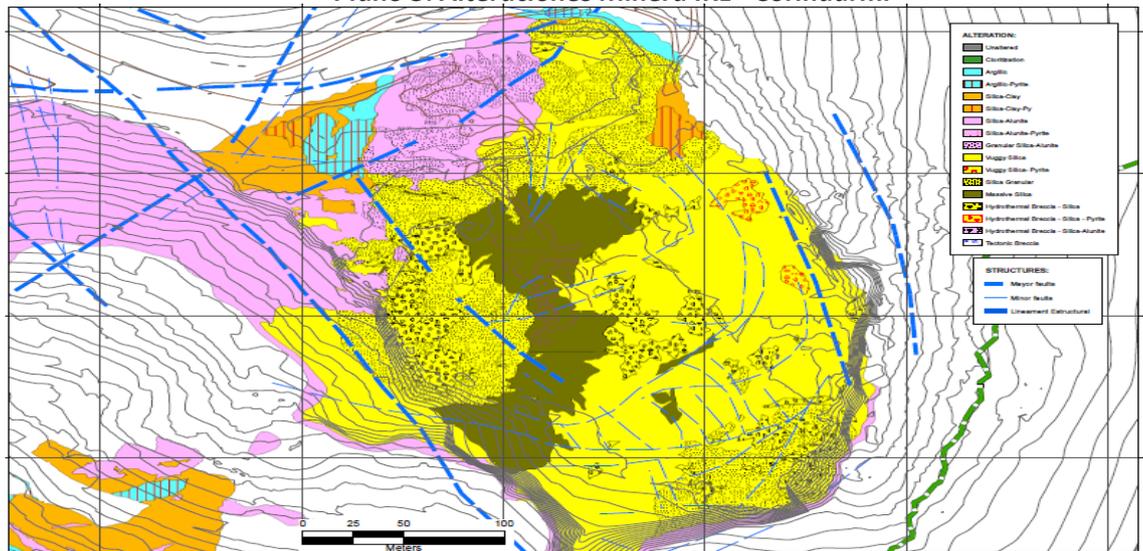
Esta alteración se encuentra gradando a la sílice granular, presentando también textura obliterateda, con características masivas y oquerosas principalmente. Se observan óxidos de hierro en oquedades y fracturas a manera de trazas (limonita y hematita).

1.2.2.7.5. Argílica

Esta alteración se encuentra más al borde del sistema epitermal gradando a sílice alunita,

posiblemente arcillas de tipo caolín, en estos sectores también se muestra también presencia de óxidos de hierro en discontinuidades (hematita y goethita). (Andina Exploraciones, 1996).

Plano 5: Alteraciones Minera IRL - Corihuarmi



	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS	
	Tesis: "EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DE LA APLICACIÓN DEL ANFO PESADO ÁRTICO PARA REDUCIR LOS ÍNDICES P80 DE FRAGMENTACIÓN EL TAJO SUSAN, MINERA IRL - UNIDAD CORIHUARMI"	N° de plano:
Presentado por:	Bach. John Jairo CHEPPE AGUIRRE	
Título: PLANO DE ALTERACIONES MINERA IRL - CORIHUARMI	Fuente: ANDINA EXPLORACIONES S.A.A.	5

Fuente: Andina Exploraciones S.A.A.

1.2.2.8. Reservas de Mineral

La actualización de las reservas al 31 de Diciembre 2019 contempla toda la información de las exploraciones realizadas en los años 2018 y 2019, también se ha integrado información de blast holes y taladros largos a diciembre 2019, cuya información es más densificada por la cercanía entre muestras y por la malla de perforación.

Las Reservas cubicadas al 31 de Diciembre del 2019 son de 8, 313,360 TM con una ley promedio de 0.268 g/t de Au, los cuales hacen 71,549.83 onzas.

Con las reservas estimadas al 31 de Diciembre del 2019, el LOM (Life of Mine) se proyecta hasta Noviembre del 2021, prolongando así la vida de la mina hasta el Q4 del 2021. (Minera IRL – Investor Resources Limited, 2018).

A continuación, se resume las reservas estimadas en la U.M. Corihuarmi., que viene a ser la suma de todos los tajos.

Tabla 4: Reservas Minera IRL - Corihuarmi

PRECIO AU USD	CUT OFF	TAJO	TM MINERAL	LEY Au	ONZAS Au	TM DESMONTE	TM TOTAL	SR
1,250	0.127	Susan	2,009,802	0.257	16,612	410,548	2,420,350	0.20
	0.111	Scree Slope	342,580	0.273	3,010	83,882	426,462	0.24
	0.115	Cayhua	2,913,143	0.297	27,830	1,533,403	4,446,546	0.53
	0.111	A. Diana	587,135	0.314	5,927	332,366	919,501	0.57
	0.113	Laura	1,635,271	0.205	10,784	303,424	1,938,695	0.19
	1.12	Tambo Nuevo	825,429	0.278	7,387	638,605	1,464,034	0.77
				8,313,360	0.268	71,550	3,302,228	11,615,588

Fuente: Minera IRL - Corihuarmi

1.2.3. Operaciones Mina

1.2.3.1. Voladura

De acuerdo al plan de minado inicial, se plantea utilizar ANFO (nitrato de amonio y diesel) y Emulsión encartuchada para las voladuras.

En promedio la ejecución de voladuras de producción primarias es de 3 voladuras, mientras que la ejecución de

voladuras secundarias (ya sea por plasteo o cachorro) se realiza diariamente.

La ejecución de las voladuras se realiza en horario diurno, a las 12:00 horas del día: En casos particulares, por circunstancias fortuitas, se reprograma el horario de las mismas, previa coordinación con todas las áreas, respetando el protocolo de voladura. A continuación, puntos resumen del protocolo de voladura:

1. El disparo será avisado mediante sirena 30, 15 y 5 minutos antes de iniciarse
2. Durante ese lapso se prohibirá el ingreso a la zona y se detendrán todas operaciones en las cercanías.
3. Una vez que se haya verificado el despeje del área, el personal a cargo procederá a ejecutar el disparo.
4. Luego de realizado el disparo y de haber esperado durante un periodo de tiempo prudente, el encargado ingresará al área del disparo, revisará la zona y dará la orden de liberar los ingresos y continuar con las operaciones.

1.2.3.2. Carguío y Acarreo

El mineral y desmonte obtenidos de las voladuras quedan en el frente de trabajo, desde donde se cargan mediante excavadoras Caterpillar 330 o equivalentes y camiones de 25 t (15 m³) para su extracción y acarreo. La supresión del

polvo de las voladuras se realiza mediante el riego de la zona y constituye la primera tarea que realizarán los equipos al ingresar a la zona del disparo.

Las operaciones de minado se llevan a cabo generalmente en un horario de 24 horas al día, durante 7 días a la semana, para maximizar el uso del equipo de minado y reducir los costos asociados a la operación.

1.2.3.3. Flota de Minado

Considerando el volumen movido en la unidad, y estando dentro de la clasificación de mediana minería, actualmente Mineral IRL – Corihuarmi, cuenta con los equipos mencionados a continuación, sin embargo, de acuerdo al plan de minado 2020, se está proyectando el incremento de la producción, por consiguiente, la inversión en implementación de equipamiento.

Tabla 3: Flota de equipos Minera IRL - Corihuarmi

Unidad	Tipo / Capacidad	Cantidad
Retroexcavadora	HYUNDAI	2
Excavadora	HYUNDAI	6
Nivelador (de desmonte y de camino)	140G	1
Volquete	17 m3	14
Camión cisterna		1
Tractor	CAT	3
Rodillo		1
Perforadora	SOOSAN	3
Cargador frontal	HYUNDAI	4
Dozer para pad de lixiviación	D6	1
Camión para servicio	JAC	1

Fuente: Minera IRL - Corihuarmi

1.2.3.4. Seguridad

Hasta la fecha en la cual se realizaron los estudios correspondientes al presente proyecto, se recabó información estadística del área de Seguridad y Salud Ocupacional de la mina, obteniendo los ratios mostrados, a continuación:

Tabla 6: Índices de seguridad Minera IRL - Corihuarmi

ÍNDICES DE SEGURIDAD 2020 MINERA IRL - CORIHUARMI				
ITEM	MES			
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
ACCIDENTES LEVES	0	2	0	0
ACCIDENTES INCAPACITANTES	1	1	1	1
ACCIDENTES FATALES	0	0	0	0
DÍAS PERDIDOS	17	36	46	85
ÍNDICE DE FRECUENCIA	15	12	12	13
ÍNDICE DE SEVERIDAD	257	435	544	1118
ÍNDICE DE ACCIDENTABILIDAD	4	5	6	15
Nº PERSONAL	382	386	391	397
HORAS HOMBRE TRABAJADAS (HHT)	66198	82840	84634	76023
INCIDENTES	3	2	2	3
INSPECCIONES	7	7	7	7
HORAS HOMBRE CAPACITACIÓN	2	2	4	2

Fuente: Minera IRL - Corihuarmi

1.2.3.5. Medio Ambiente

Minera IRL - Corihuarmi cumpliendo y respetando los lineamientos de minería cuenta con un plan de manejo ambiental, el cual incluye:

1. Políticas globales ambientales, de salud y de seguridad.
2. Plan de mitigación.
3. Planes de monitoreo (agua, suelo, calidad del aire, indicadores biológicos).

4. Planes de contingencia.

5. Plan de cierre conceptual.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

¿Cómo mitigamos los costos forzados colaterales generados por altos valores de P80, que se invierten en el uso de explosivo adicional, empleado en la ejecución de voladuras secundarias (ya sea por plasteo o por cachorro), en el Tajo Susan, de Minera IRL – Unidad Corihuarmi, a partir de la evaluación entre el explosivo utilizado actualmente, Emulnor 5000, con el Heavy Anfo Ártico?

1.3.2. Problemas Específicos

- a. ¿La sustitución del explosivo matriz actual, Emulnor 5000, por el propuesto en este caso, Anfo Pesado Ártico; influye en los resultados post voladura; por consiguiente, en los KPI's económicos, específicamente en los costos de voladura del Tajo Susan – Minera IRL - Corihuarmi?
- b. ¿Es posible que un explosivo de características inferiores respecto a sus parámetros, pueda generar mejor performance en la evaluación de los resultados post voladura y así mitigar la ejecución de voladuras secundarias en el Tajo Susan – Minera IRL - Corihuarmi?

- c. ¿Se reducen porcentajes de gruesos a partir de un explosivo, cuyo performance es inferior a condiciones normales, sin embargo, a bajas temperaturas, es óptimo?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo General

Aminorar favorablemente los KPI's económicos operativos, específicamente los valores cuantitativos correspondientes a costos de voladura; esto generado, a partir de la sustitución del explosivo matriz actual Emulnor 5000, por el propuesto, en este caso, el Anfo Pesado Ártico en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Moderar los valores cuantitativos de P80 (80% pasante), generados en los proyectos de voladura cargados en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi, a partir de la sustitución de explosivo matriz actual, por el propuesto Anfo Pesado Ártico.
- b. Mitigar la ejecución de voladuras secundarias constantes, ya sea por plasteo o cachorro, en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi.
- c. Disminuir el porcentaje de gruesos producto de las voladuras primarias en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

El planteamiento y elaboración del presente proyecto nace a partir de la necesidad de reducir la práctica continua de voladuras secundarias en el Tajo Susan en Minera IRL – Corihuarmi; ya sean por Plasteo o por Cachorro. Por consiguiente, una sólida reducción en indicadores económicos de voladura.

1.6. Limitaciones de la investigación

Por fortuna nuestro, Minera IRL – Corihuarmi, brindó las facilidades técnicas adecuadas, condiciones de trabajo solicitadas e información complementaria, para el desarrollo y ejecución del presente proyecto de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Internacionales

Linares Carrasco (2013), en su tesis "*Estudio sobre la medida de la velocidad de detonación*", enfoca su investigación en un análisis de comparación de los resultados entre diferentes agentes, específicamente la velocidad de detonación, para ello, realizó medidas con dos tipos de explosivos por diferentes métodos y con dispositivos de medida distintos, con el objetivo de obtener cuál explosivo generaba la velocidad de detonación más adecuada.

Paulina Hernández (2019), en su tesis "*Estudio Comparativo de la Sobre-excavación en Desarrollos Horizontales con Anfo versus desarrollos realizados con Emulsión en la mina esmeralda, División El Teniente, Codelco*", enfoca su investigación en una evaluación del performance de la emulsión en las labores de avance de desarrollo, para su posterior implementación. El estudio compara la Emulsión con el Anfo, con el objeto principal de reducir la sobre excavación.

Se concluye que el performance de la emulsión es superior al Anfo, en el aspecto de control de sobre excavación, ya que se genera un ahorro del 18% a partir de su aplicación.

2.1.2. Nacionales

Francisco Yana (2017), en su tesis "*Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de los costos de voladura en tajo de la mina Toquepala*", enfoca su investigación en la determinación de los costos de los dos explosivos (Heavy Anfo y Quantex), para así evaluar la variación de resultados de fragmentación en ambos escenarios.

En el mismo se concluye que el costo de voladura empleando el Heavy Anfo 55 es de 0.173 \$/t, mientras que con el explosivo Quantex 73 es de 0.158 \$/t, obteniendo un porcentaje inferior de 8.65% a favor de Quantex 73.

Del mismo modo, se obtiene un promedio de fragmentación del explosivo Heavy Anfo 55 con un P80 de 26 cm, mientras que los resultados de Quantex 73 con un P80 de 24.86 cm, es decir, con una reducción de fragmentación de 4.40%.

Beraun Anco (2019), en su tesis *“Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336 - Sociedad Minera El Brocal Colquijirca”*, enfoca su investigación en la demostración entre dos agentes, que son, el Heavy Anfo y la Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada, del performance superlativo entre ambos en resultados post voladura de fragmentación.

Se concluye que a partir de la aplicación de la Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada, se obtiene a partir de su aplicación una significativa mejora del 26% en valores de P80, respecto al Heavy Anfo.

Wilmer García (2017), en su tesis *“Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba”* enfoca sus estudios principalmente en la optimización de fragmentación que se estaba obteniendo con la aplicación del Heavy Anfo 46 en las voladuras, con la propuesta del SANG. Se hicieron pruebas y comparaciones de performances para su determinación.

Concluyéndose que en la evaluación granulométrica se obtuvo una sólida reducción de hasta el 52%, es decir se obtuvieron valores de P80 de hasta 2.84 pulg con la voladura cargada con SANG, mientras que la voladura cargada con Heavy Anfo 46, se obtuvo valores de P80 de 5.46 pulg.

Cesar Pocoy (2017), en su tesis "*Análisis de la Factibilidad para el uso de Anfo Pesado a base Emulsión Gasificable en la UNACEM*" enfoca sus estudios en el análisis de la factibilidad técnica, económica y ambiental del Anfo Pesado gasificable, respecto al Anfo Pesado. Para esto se realiza un análisis comparativo entre ambos para determinar la existencia de ventajas desde el punto de vista económico, ambiental y operativo.

Se concluye una mejora en la fragmentación empleando el Anfo Pesado gasificable, mostrando mejores resultados, es decir, se obtuvo una reducción del 13% en el P80.

Del mismo modo se obtiene un costo de voladura del Anfo Pesado gasificable de 0.11 \$/t, mientras que del Anfo Pesado normal es de 0.13 \$/t, reducción del 15 %.

Luis Iglesias (2016), en su tesis "*Estudio Técnico - Económico del Uso de la Mezcla Explosiva Quantex 73 en la Unidad Minera Toquepala*", enfoca su investigación en analizar la viabilidad técnica económica y operativa del Quantex 73, respecto al Anfo Pesado, cuya aplicación genera gases nitrosos al medio ambiente.

Del mismo modo, reafirmar su mejor performance respecto a la fragmentación obtenida.

Se concluye que empleando el Quantex 73, se obtiene un ahorro de hasta el 20% respecto a los costos generados con Anfo Pesado.

Del mismo modo, se observa una reducción favorable en índices de fragmentación P80 de hasta el 26%, respecto a lo obtenido con Anfo Pesado.

2.2. Bases teóricas – científicas

Modelo de Fragmentación KUZ-RAM

Claude Cunningham (1983 – 2005).

El modelo de Kuz-Ram fue realizado a partir de evidencias de publicaciones rusas antiguas que desarrollaron una relación elemental entre los parámetros de voladura y el tamaño medio de fragmentación. Cabe resaltar que mencionado modelo está basado en ecuaciones empíricamente obtenidas experimentalmente.

El nombre de Kuz-Ram es una abreviación de los dos principales contribuyentes a las ecuaciones que forman la base del modelo: Kuznetsov y Rosin-Rammler.

La Ecuación de Kuznetsov

Esta fórmula proporciona una estimación del tamaño medio de partícula de roca como consecuencia de la voladura, y se expresa de la siguiente manera:

$$x_{50} = A \left(\frac{V_0}{Q} \right)^{0.8} Q^{\frac{1}{6}}$$

Dónde x_{50} es el tamaño medio del fragmento, A es el factor de roca, V_0 es el volumen de roca quebrado por taladro y Q es la masa de TNT que es equivalente en energía al de la carga de cada taladro.

La ecuación de Kuznetsov, por lo tanto, establece que el tamaño medio de partícula de una voladura depende de las propiedades de la roca y del explosivo.

El término (V_0/Q) representa el inverso del factor de carga equivalente. La ecuación, por lo tanto, indica que el tamaño medio de la partícula disminuye casi linealmente con el aumento del factor de carga: a medida que el factor de carga aumenta el tamaño medio de partícula disminuye. La ecuación también sugiere una débil dependencia del peso del explosivo por taladro. Esto sugiere que la ecuación diferencia entre diámetros de taladros grandes y pequeños. Diámetros de taladros pequeños producirán una pila de material más fino en virtud de la distribución mejorada de energía.

Después de ajustes a la ecuación de Kuznetsov para permitir la expresión de la potencia en peso respecto al ANFO, la ecuación se convierte en:

$$x_{50} = A \left(\frac{V_0}{Q_e} \right)^{0.8} Q_e^{\frac{1}{6}} \left(\frac{115}{E} \right)^{0.633}$$

Dónde Q_e es la masa real del explosivo usada por taladro, E es la potencia en peso relativo del explosivo (Anfo= 100%) y el término $(115/E)$ representa un ajuste para la potencia en peso relativo del TNT respecto del ANFO.

Observaciones:

_El término $\left(\frac{V_0}{Q_e} \right)$ representa el inverso del Factor de Carga F_c ; por lo tanto a medida que el factor de carga aumenta, el tamaño medio de fragmentación disminuye.

_La ecuación también se ve influenciada por los kilos de explosivo por taladro, asociado al diámetro de perforación, de la expresión se observa que el tamaño medio es directamente proporcional al diámetro de perforación.

La Ecuación de Rosin Rammler

La curva de Rosin-Rammler ha sido generalmente reconocida tanto en minería como en el procesamiento de los minerales que entrega una buena descripción de la distribución de tamaño de las rocas voladas y trituradas. La curva se define como:

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

Dónde R es la proporción del material retenido en un tamiz de abertura X, y X_c, es el tamaño característico y n es el índice de uniformidad descrito en la pendiente general de la curva.

La ecuación de Rosin-Rammler se puede hacer lineal para facilidad de la estimación de ajuste y parámetros:

$$\text{Ln}\left(\text{Ln}\frac{1}{R}\right) = n\text{Ln}(x) - n\text{Ln}(x_c)$$

Luego, si el logaritmo natural doble del inverso de la proporción de material retenido en un tamiz de tamaño x se plotea contra el logaritmo natural del tamaño, la curva resultante debe ser lineal, con una pendiente igual al índice de uniformidad n y con una intersección igual a $-n\text{Ln}(X_c)$.

Las Ecuaciones de Kuz-Ram

La ecuación de Kuznetsov proporciona una estimación del tamaño medio, o sea, el tamaño del tamiz por el cual pasa el 50% de la roca. Puesto que la ecuación de Rosin Rammler se puede definir completamente por un punto de la curva y la pendiente de la línea Rosin Rammler, todo lo que se necesita después de la determinación del tamaño medio, es una estimación de n en la ecuación de Rosin Rammler y se puede calcular una distribución completa de tamaño de la pila.

Para obtener una expresión para el cálculo de n , Cunningham (1983) usó la teoría moderna de fracturas para obtener una relación entre n y los siguientes factores:

- _Exactitud de la perforación.
- _Relación del burden al diámetro de hoyo.
- _Relación espaciamento/burden.
- _Relación del largo de la carga a la altura de banco.

Tamaño Medio (x_{50}):

$$x_{50} = A \left(\frac{V_0}{Q_e} \right)^{0.8} Q_e^{\frac{1}{6}} \left(\frac{115}{E} \right)^{0.633}$$

Tamaño Crítico (x_c):

$$x_c = \frac{x_{50}}{0.693^{\frac{1}{n}}}$$

Índice de Uniformidad (n):

$$n = \left(2.2 - 14 \frac{B}{d} \right) \left(\frac{1+S}{2} \right)^{0.5} \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left(\frac{\text{abs}(BCL-CCL)}{L_t} + 0.1 \right)^{0.1} \frac{L_0}{H}$$

Fracción Retenida (R):

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

Dónde:

V_0/Q_e = El inverso de la carga específica o factor de carga (m³/kg).

Q_e = La masa por barreno de explosivo siendo usado (kg).

E = La fuerza de peso relativa del explosivo siendo usado (%).

W = La desviación estándar de la exactitud de perforación (m).

d = El diámetro del taladro (mm).

A = El factor de roca.

L_0 = La longitud de la carga sobre el nivel del grado (m).

H = La altura del banco (m).

B = El burden (m).

BCL = La longitud de la carga base (m).

CCL = La longitud superior de la carga de la columna (m).

S = El espaciamiento (m).

L_t = La longitud total de la carga ($CCL + BCL$) (m).

Estimación del índice de uniformidad

La principal contribución de Cunningham al modelo Kuz-Ram fue el proponer un método para estimar n en la ecuación de Rosin Rammler,

basado en la geometría del taladro. La relación desarrollada por Cunningham se muestra en la siguiente ecuación:

$$n = \left(2.2 - 14 \frac{B}{d}\right) \left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2}\right)^{0.5} \left(1 - \frac{W}{B}\right) \left(\frac{\text{abs}(BCL - CCL)}{L_t} + 0.1\right)^{0.1} \frac{L_0}{H}$$

Examinando cada término en dicha ecuación, se revela la forma en que la geometría del taladro afecta a n . El primer término, que involucra al burden y al diámetro del taladro, sugiere que a medida que el burden aumenta para un diámetro fijo de taladro, el n disminuirá (un rango más amplio de tamaño de partícula). Esto parece muy razonable. El segundo término de la ecuación de Cunningham, que involucra a la relación S/B , sugiere que a medida que la relación S/B aumenta, n también aumenta (un rango más estrecho de tamaño de partícula). Esto está de acuerdo con el método Sueco, pero Cunningham precave que este término refleja la malla de perforación, no la malla de iniciación y que la relación nunca debe exceder a 2. Dentro de estas limitaciones, nuevamente es completamente razonable que la uniformidad del tamaño de partícula debe mejorarse con el aumento de la relación S/B . Los usuarios deben recordar que las voladuras para armadura de rocas (un buen ejemplo de tamaño de partículas no uniforme) generalmente involucran relaciones S/B menores a 1.

El tercer término, que involucra a la exactitud de la perforación, sugiere que a medida que mejora, n mejora. Esto nuevamente parece completamente razonable. El cuarto término, que involucra el uso de la

carga de fondo con explosivo de alta energía sugiere que n aumentará aumentando el largo de la carga de fondo. El uso de una carga de fondo fue propuesto por Langefors y Kihlstrom para sobrepasar el confinamiento adicional y la dificultad aumentada de fragmentación en la base de la voladura en banco. La energía más alta en esta sección de la voladura ayuda específicamente a mejorar la fragmentación y minado en las voladuras.

El término final en la ecuación de Cunningham, que involucra la relación del largo de la carga a la altura del banco, refleja la fragmentación mejorada esperada cuando la carga es distribuida uniformemente a través del banco. Diámetros grandes de hoyo conducen a cargas cortas y valores bajos para la relación altura de carga/altura del banco, conduciendo a su vez a una combinación de fragmentación gruesa en la región del collar y una fragmentación fina en la base de la carga. Esta combinación es característica de un “ n ” bajo.

Limitaciones del modelo:

_La razón Espaciamiento / Burden no debe exceder de 2, estando referida al esquema de perforación y no a la secuencia de salida. .

_La secuencia de salida y los tiempos de retardos deben ser tales que proporcionen una buena fragmentación.

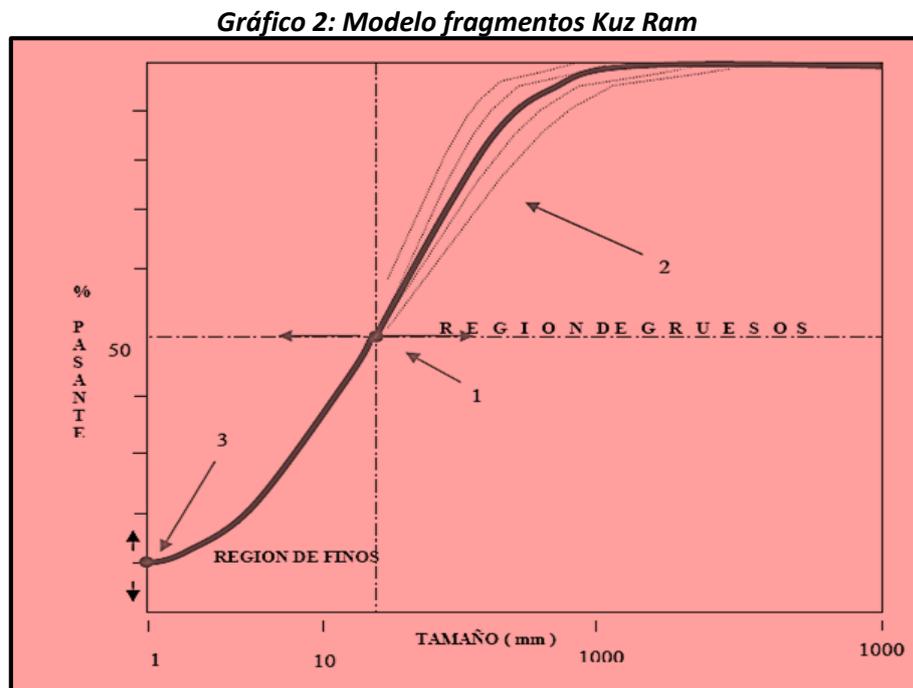
_El explosivo debe desarrollar una energía próxima a la potencia relativa en peso calculada.

Modelo de Fragmentación JKMRC

Este modelo se basa en el supuesto de considerar que una pila de material volado está compuesta por una combinación de tamaños, agrupados en dos distribuciones; una para la Fracción Gruesa y la otra para la Fracción Fina.

El modelo JKMRC se genera a partir de estudios realizados al modelo de Kuz - Ram, en el cual queda demostrado que éste subestima considerablemente la distribución de la fracción fina.

La curva de distribución granulométrica del modelo se encuentra descrita dentro de dos regiones, modelada principalmente por la definición de tres componentes:



Fuente: Arte de la tronadura – Cameron Mckenzie

_En el punto (1) se tiene el tamaño medio de fragmentación (X50).

_Comportamiento de la fragmentación según modelo de Kuz-Ram.

_El punto que indica el porcentaje de volumen de fino.

La zona de fracción fina está definida por dos puntos de la curva, el primero corresponde al tamaño medio X50 y el segundo corresponde a la generación de finos, la cual establece que el tamaño de partículas es menor a 1 cm donde la presión del explosivo supera la resistencia de compresión de la roca.

La distribución de fragmentación en la fracción gruesa está representada por Rosin Rammler.

$$R(x) = 1 - e^{-0.693 * \left(\frac{x}{x_c}\right)^n}$$

Con:

R(x) : Porcentaje Pasante del material.

X50 : Tamaño medio de fragmentación, entregado por Kuznetsov.

n : Índice de Uniformidad determinado por Cunningham.

Estimación del Factor de Roca (JKMRC)

El modelo de fragmentación JKMRC propone una metodología para determinar el factor de roca, basado en el modelo desarrollado por Cunningham, pero con ciertas modificaciones en los parámetros requeridos:

$$A = 0.06 (RMD + JF + SGI + HF)$$

Tabla 7: Parámetros Geomecánicos

PARÁMETRO	RANKING
X(80 cm)	Tamaño asociado al 80% pasante in situ
X(80 m)	
UCS (MPa)	Resistencia a la Compresión Simple.
E (Mpa)	Módulo de Young.
E (Gpa)	
B	Burden
B/2	
RMD = 100 * X80	X80 < 0.1 m.
RMD = 5.56 + 44.4 * X80	0.1 < X80 < 1 m.
RMD = 50	X80 > 1 m.
JF = 50	X80 > B/2 m.
JF = 100 * X80 / B	X80 < B/2 m.
SGI = 0	SG < 2
SGI = 25 * SG - 50	SG > 2
HF = E / 3	E < 50 GPa.
HF = UCS (MPa) / 5	E > 50 GPa.

Fuente: Elaboración Propia

Modelo de Fragmentación de Schuman - Gaudin

Corresponde a un modelo predictivo de la fragmentación, el cual posee dos parámetros obtenidos por regresión A y B, los cuales están asociados a la uniformidad de la distribución.

$$X = K * \left[\frac{y}{100} \right]^\alpha$$

$$\alpha = \left(\frac{A - y}{B} \right)$$

Dónde:

X: Tamaño de partícula asociado a un porcentaje en particular.

K: Tamaño máximo de partícula.

α : Módulo de distribución asociada a la uniformidad de la fragmentación.

Como los parámetros A y B son desconocidos, mediante un arreglo matemático se deja B en función de A.

Linealizando la ecuación de Schuman- Gaudin y emplazando $X = X_{50}$ e $Y = 50$ y despejando el parámetro B se tiene:

$$B = \left(\frac{A - 50}{\ln(0.5)} \right) * (\ln X_{50} - \ln K)$$

De acuerdo a lo obtenido en las ecuaciones anteriores, el valor para "A", debe estar acotado para un valor mayor a 100, y K debe ser obligadamente mayor a X_{50} .

Ecuación de Larsson

Esta configuración matemática fue planteada por Larsson en el año 1973, la similitud a la expresión planteada por Kuznetsov se debe a la aplicación de parámetros de diseño de voladura, propiedades del explosivo, así como características del macizo rocoso.

$$X_{50} = \left[S * e^{\{0.58 * \ln B - 0.154 * \ln \left[\frac{E}{B} \right] - 1.18 * \ln \left[\frac{CE}{c} \right] - 0.82\}} \right]$$

Dónde:

B = Burden (m).

S/B = Razón Espaciamiento / Burden.

CE = Consumo Específico de Explosivo (kg/m³).

C = Constante de roca. Equivale al consumo específico de explosivo gelatinoso necesario para fragmentar la roca, normalmente varía entre 0.3 y 0.5 kg/m³.

S = Constante de Volabilidad. Es un factor que considera la heterogeneidad y discontinuidades y discontinuidades del macizo ROCOSO.

Tabla 8: Data Condición de roca

CONDICIÓN DE ROCA	S
Roca muy fisurada y diaclasas muy próximas	0.6
Roca Diaclasada	0.55
Roca normal con algunas grietas	0.5
Roca relativamente homogénea	0.45
Roca homogénea	0.4

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de SveDeFo (Swedish Detonatic Research Foundation)

A diferencia de la ecuación de Larsson, la presentada por SveDeFo considera el efecto de la altura del banco y la longitud del taco en el cálculo del tamaño medio de fragmentación:

$$X_{50} = S * \left[1 + 4.67 * \left(\frac{T}{L} \right)^{2.5} \right] * e^{\left\{ 0.29 * \ln B^2 * \sqrt{\frac{S}{B}} - 1.18 * \ln \left[\frac{CE}{c} \right]^{-0.82} \right\}}$$

Las nuevas variables son:

T: Longitud del Taco (m).

L: Profundidad del Pozo (m).

De estos algoritmos utilizados para el cálculo del tamaño medio se consideran las características de diseño, así como las características de la roca a tronar definido por A para la ecuación de Kuznetsov y S para las ecuaciones de Larsson y SveDeFo.

Fórmula de Dinis da Gama

Considera que la voladura es un proceso de conminución en el que el material fragmentado sigue la ley de distribución siguiente:

$$PC = a * W^b * \left(\frac{T_b}{B}\right)^c$$

Dónde:

PC = Porcentaje acumulado de material menor que la fracción de tamaño T_b .

W = Energía necesaria para la fragmentación de la roca (kwh/t).

$$W = 10 * \frac{Wi}{X_{80}^{\frac{1}{2}}}$$

Wi = Índice de Bond de la roca.

X80 = Tamaño por el cual pasa el 80% del material.

B = Burden.

a, b y c= Constantes que dependen de las características de la roca y explosivos.

Los valores de las constantes se obtienen resolviendo un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas planteando a partir de los datos de la curva granulométrica de una muestra representativa del material volado.

Software y Dispositivos de Análisis Granulométrico

El uso de los programas de análisis digital de imágenes ha ido en aumento con el pasar de los años en el sector de la minería, en el chancado, la molienda y en las industrias desde que se planteó su aplicación en los años ochenta.

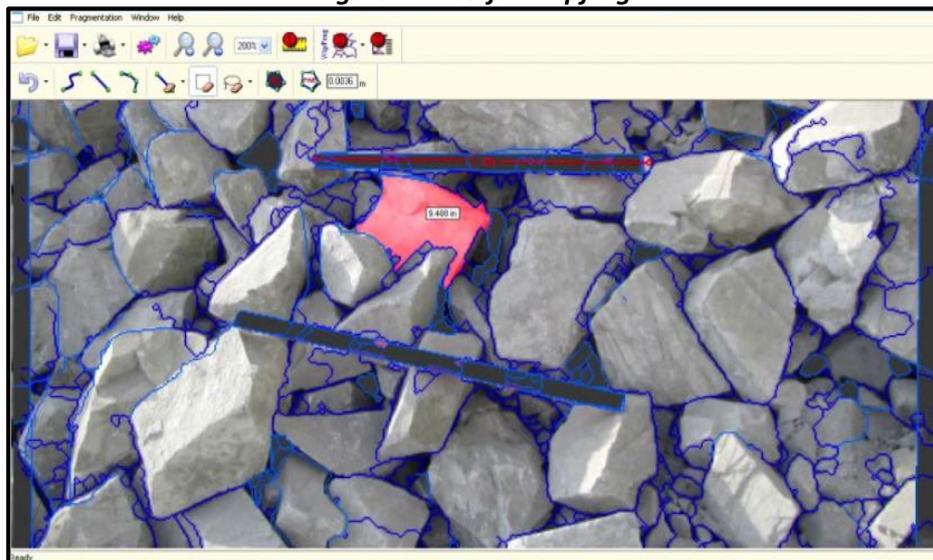
El objetivo principal de estos programas es la obtención de la curva de distribución granulométrica a partir del análisis de fotos digitales de roca

fragmentada. Estos programas tienen una serie de limitaciones en las que destaca, entre otros, el hecho de que a partir de una imagen (con datos en dos dimensiones) extrapola volúmenes, por consiguiente, el margen de error es latente en la aplicación de éstos, sin embargo, puede brindarnos datos cuantitativos bastante aproximados a lo real.

Wipfrag

El software utilizado para medir la fragmentación a partir de la edición de fotografías es el programa Wipfrag desarrollado por la empresa Wipware Inc. Este software utiliza una imagen de la roca fragmentada y lo convierte en una imagen digital con el escombro de roca delineado a partir de la cual, el programa puede obtener una curva granulométrica, este proceso apoyado a partir de algún elemento escalador referente. Posteriormente mide la malla y muestra la curva granulométrica correspondiente. Wipfrag permite comparar el mallado resultante con la imagen de la roca y corregir inexactitudes por medio de la edición manual.

Figura 4: Interfaz Wipfrag

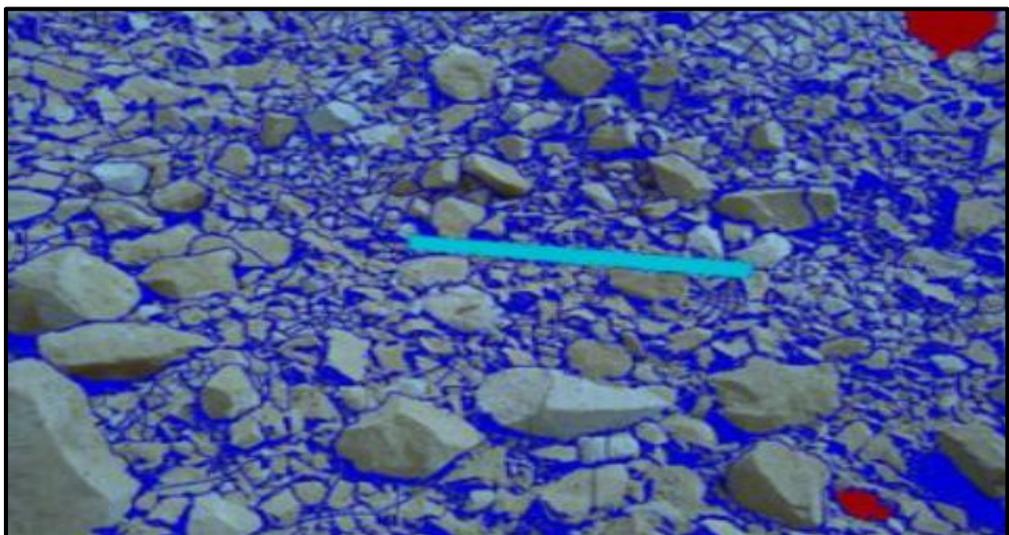


Fuente: Elaboración Propia

Split desktop

Split-Desktop es un programa de procesamiento de imágenes diseñado para calcular la distribución de tamaños de fragmentos de roca, a través de análisis de imágenes digitales. Del mismo modo, a partir del software se podrá obtener la curva granulométrica del material, por ende, se podrá apreciar gráficamente los cambios que se van presentando en los tamaños de los fragmentos de roca. Al igual que el Wipfrag, utiliza un objeto o herramienta escalador referencial. Entre las principales herramientas brindadas por su interfaz, permite clasificar fragmentos de roca a partir de una delimitación o delineación del mismo, en fragmentos propiamente dichos, en material fino y en áreas a excluir del procesamiento del cálculo. La principal ventaja respecto al Wipfrag, a experiencia propia, es la facilidad de manipulación del cursor, lo cual nos permite realizar la delimitación manual de manera práctica y más rápida.

Figura 5: Interfaz Split Desktop



Fuente: Elaboración Propia

Portametrics

Es un dispositivo compuesto por tres cámaras de alta resolución compiladas en un paquete industrial resistente y completo con una pantalla táctil fácil de usar con guantes, PortaMetrics™ es capaz de capturar y procesar imágenes en cualquier entorno de minería. Los usuarios pueden seleccionar fácilmente su región de interés, capturar una imagen y mostrar resultados instantáneamente en una interfaz gráfica de usuario intuitiva. Este dispositivo de apuntar y disparar incluye capacidades de corrección manual para ajustar imágenes y hacer ajustes si es necesario. Una de las principales ventajas respecto a los Software de escritorio, es que este dispositivo no requiere el empleo de un escalador referencial, por consiguiente, el personal de la mina ya no necesita acercarse a la superficie del banco o trepar para colocar un objeto a escala.

Figura 6: Interfaz Portametrics



Fuente: Elaboración Propia

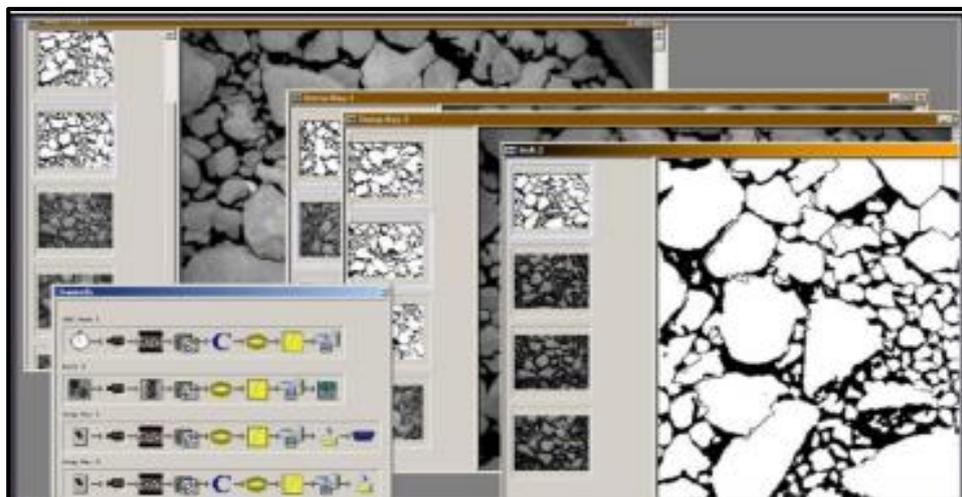
Split - Online

Es un sistema automático de procesamiento de imágenes, diseñado para monitorear y operar continuamente sobre áreas del proceso. Para

asistir en el monitoreo y control de su proceso, algoritmos de procesamiento que son específicos a la industria y especializados, son conectados al sistema base de entrada/salida de Split-Online.

Su funcionamiento tiene como finalidad el monitoreo continuo de los tamaños de fragmentos de roca en lugares donde la instalación permanente de cámaras de video es posible. Los lugares más convenientes para instalar dichas cámaras son en las Palas de minado, descarga de los vagones, correas transportadoras del producto de trituradores primarios, correas transportadoras de material para molinos de bolas, etc. Split-Online opera continuamente y puede capturar imágenes de una o más cámaras en tiempos predeterminados por el usuario o al ser activado por algún switch de operación como lo podría ser el activado por la descarga de un camión de acarreo. Al mismo tiempo calcula una curva completa de tamaños de roca para cada una de las imágenes que captura. Así como el porcentaje de material de tamaño pasable por mallas en rangos de 10%, desde 10% hasta 90%.

Figura 7: Interfaz Split Online



Fuente: Motionmetrics

2.3. Definición de términos básicos

Acuageles

Son explosivos diseñados específicamente para mejorar la resistencia al agua y la potencia en volumen del ANFO, y consiste en una solución acuosa saturada de nitrato de amonio y otros nitratos y contiene también combustibles y cantidades adicionales de nitritos en suspensión.

Anfo

Es un agente explosivo granular compuesto con Nitrato de Amonio en prills grado ANFO, un combustible líquido y un colorante. La mezcla se realiza en equipos modernos de alta precisión que sumados a la alta calidad de los componentes, nos permite producir un agente de voladura de óptima calidad.

Anfo Pesado

El ANFO pesado es un explosivo conseguido por la mezcla adecuada entre una emulsión explosiva y ANFO. A continuación se presenta la tabla de distintas configuraciones de Anfo Pesado:

Tabla 9: Clasificación Anfo Pesado

PRODUCTO ANFO PESADO	DENSIDAD gr/cc
	PROMEDIO
ANFO PESADO - 28	0.97
ANFO PESADO - 37	1.07
ANFO PESADO - 46	1.19
ANFO PESADO - 55	1.28
ANFO PESADO - 64	1.31
ANFO PESADO - 73	1.32
ANFO PESADO - 82	1.34

Fuente: Elaboración Propia

Anfo Pesado Ártico

Este agente ha sido diseñado para trabajar en diámetros iguales y superiores a 4" como carga de columna en taladros inundados o con abundante agua que no es posible evacuar o donde no se puede cargar en forma mecanizada. El ANFO Pesado Ártico soporta altas presiones hidrostáticas y generan un elevado volumen y presión de gases.

El ANFO Pesado Ártico fabricado por Famesa Explosivos SAC empleado en la ejecución del presente proyecto, es similar al Anfo Pesado 46 respecto a las características técnicas, pero con ciertas modificaciones en cuanto a viscosidad (se aumentó la viscosidad para evitar pérdidas del explosivo por estructuras geológicas a causa de la fluidez) y performance a bajas temperaturas, esto debido a las condiciones geológicas (presencia de fallas), y temperaturas críticas (10°C bajo 0) en la Unidad Minera dónde se llevó a cabo la investigación. A continuación se presenta las características técnicas del agente en mención:

Tabla 10: Características Técnicas Anfo Pesado

ANFO PÉSADO ÁRTICO	
CARACTERÍSTICA TÉCNICAS	
Densidad Relativa (gr/cc)	1.20 ± 5%
Velocidad de Detonación (m/s)	5300
Presión de Detonación (kbar)	95
Energía (kcal/kg)	921
Volumen normal de los gases (L/kg)	957
Potencia relativa en peso	93
Potencia relativa en volumen	137
Resistencia al agua	Excelente
Sensibilidad al booster HDP	340 g
Temperatura de trabajo	-20°C a 5°C

Nota:

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

_Velocidad de detonación confinado en tubo de hierro de 4" de diámetro.

Booster o Multiplicador

El Booster HDP, es también conocido con los nombres de “primer”, “cebo” o “Cast Booster” y está compuesto básicamente por pentolita. Es un explosivo potente de alta densidad, velocidad y presión de detonación, por lo que la columna explosiva que será activada con éste. A continuación se presenta las características técnicas del booster:

Tabla 11: Características Técnicas Booster

	TIPOS DE BOOSTER HDP						
	HDP - 1/5 (90 g)	HDP - 1/3 (150 g)	HDP - 1/2 (225 g)	HDP - 3/4 (340 g)	HDP - 1E (450 g)	HDP - 2E (900 g)	HDP - 3Lb (13500 g)
Diámetro (mm)	30.5 ± 2.0	37.0 ± 2.0	43.0 ± 2.0	51.6 ± 2.0	60.0 ± 2.0	81.5 ± 2.0	98.0 ± 2.0
Altura (mm)	106.0 ± 2.0	106.0 ± 2.0	120.0 ± 2.0	120.0 ± 2.0	120.0 ± 2.0	120.0 ± 2.0	120.0 ± 2.0
Peso (g)	90 ± 10	150 ± 10	225 ± 15	340 ± 15	450 ± 15	900 ± 30	1350 ± 35
Velocidad de detonación (m/s)	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000
Diámetro de perforación en plancha de fierro de 1/2" de espesor (mm)	Min. 27	Min. 23	Min. 28	Min. 40	Min. 58	Min. 80	Min. 96
Resistencia presión hidrostática por 2 horas (kg/cm²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Sensibilidad al cordón detonante	5P	5P	5P	5P	5P	5P	5P
Resistencia al agua	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Densidad (g/cm³)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

En Minera IRL – Corihuarmi, se emplea Booster HDP del tipo $\frac{3}{4}$ de 340g.

Burden y Burden Efectivo

El burden de un taladro se refiere a la dimensión lineal entre el taladro y la cara libre y se mide perpendicular a la dirección de la línea de taladros que constituyen una fila.

Concentración de Carga Lineal

La concentración de explosivo, medida en kg/m, a lo largo de un taladro.

El término puede ser independiente de diámetro del pozo (por

explosivos desacoplados), o dependiente del diámetro (cargas totalmente acopladas). Es representado comúnmente por “ γ ”.

$$\gamma = 0.507 * d(\text{pulg})^2 * \text{densidad explosivo}$$

Dónde:

γ = Concentración de Carga Lineal (kg/m).

d = Diámetro de taladro (pulg).

Diámetro Crítico

El diámetro crítico es el diámetro mínimo al cual una carga explosiva todavía puede detonar.

Emulsión

Las emulsiones explosivas son unas dispersiones estables de dos líquidos, una solución acuosa y compuesto orgánico aceitoso, inmiscibles entre sí, pero que con un emulsionante se mantienen en estado disperso.

y que tiene las siguientes características:

_Alta velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s).

_Excelente resistencia al agua.

_Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.

Emulnor 5000

El Emulnor es una emulsión explosiva encartuchada en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura. Específicamente,

Emulnor 5000 está diseñado para la voladura de rocas muy duras, su uso está orientado a cualquier tipo de trabajo:

Para la elaboración del presente proyecto, se realizó un seguimiento al performance del explosivo utilizado en la Unidad Minera IRL – Corihuarmi, (Emulnor 5000 de 16” x 3”), en base al mismo se realizó el análisis.

A continuación se presenta las características técnicas del explosivo en mención:

Tabla 12: Características Técnicas Emulnor 5000

EMULNOR 5000	
CARACTERÍSTICA TÉCNICAS	
Densidad Relativa (gr/cc)	1.16 ± 0.1%
Velocidad de Detonación (m/s)	
_Confinado	5500 ± 300
_Sin Confinar	4200 ± 300
Presión de Detonación (kbar)	88
Energía (kcal/kg)	1010
Volumen normal de los gases (L/kg)	870
Potencia relativa en peso	112
Potencia relativa en volumen	159
Resistencia al agua	Excelente
Sensibilidad al fulminante	Nº 8
Categoría de Humos	Primera

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Espaciamiento y Espaciamiento Efectivo

El espaciamiento para un taladro de voladura se refiere a la dimensión lineal entre taladros de voladura adyacentes que forman una fila, y se mide usualmente paralelo a la cara libre.

Estabilidad

Se usa el término estabilidad generalmente con respecto a los explosivos emulsión y acuagel y se refiere al tiempo que un producto

explosivo puede quedar en un taladro de voladura sin que ocurra un cambio en la composición química o física.

Explosivos Primarios

Un explosivo que detona por ignición simple de medios tales como chispas, llamas, impacto, y otras fuentes primarias de calor. Explosivos Primarios incluyen aquellos que se hallan en detonadores, cordón detonante, e iniciadores.

Explosivos Secundarios

Son explosivos en que la detonación es iniciada por el impacto de la detonación de un explosivo inicial (primario). Esta definición incluye todo explosivo usado en voladura de la roca. Materiales insensibles tales como nitrato de amonio se clasifican como explosivos terciarios.

Factor de Carga

Este es el término usado para describir la cantidad de explosivo usado para romper un volumen o peso unitario de roca, El término tiene por eso las unidades de kg/m³ o kg/ton.

Factor de Energía

Este término es similar al Factor de carga, pero la energía del explosivo se expresa como una relación al peso o volumen de roca quebrada (o sea. MJ/m³ o MJ/ton). El factor de Energía es por eso el producto de Factor de la Carga y la potencia en Peso.

Fragmentación de la roca

En la detonación de un explosivo podrían diferenciarse dos fases:

_Una primera fase, representada por la presencia de una onda de detonación de mayor o menor velocidad, característica representativa en gran medida del poder rompedor del explosivo.

_Una segunda fase, representada por la formación de un gran volumen de gases a elevada temperatura.

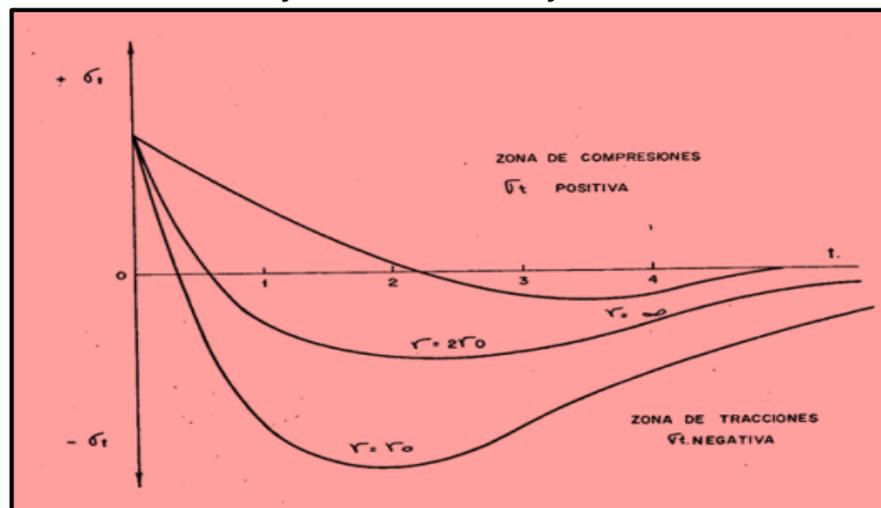
Cuando el explosivo se encuentra confinado dentro de un taladro y se detona, se genera una onda de detonación que se propaga a través de la roca circundante. En un punto próximo al taladro esa onda de detonación produce un efecto de compresión al llegar al mismo, pero al sobrepasarlo, ese esfuerzo se convierte en un esfuerzo de tracción.

La fragmentación de la roca se debe a estos dos fenómenos:

_Reflexión de las ondas de compresión.

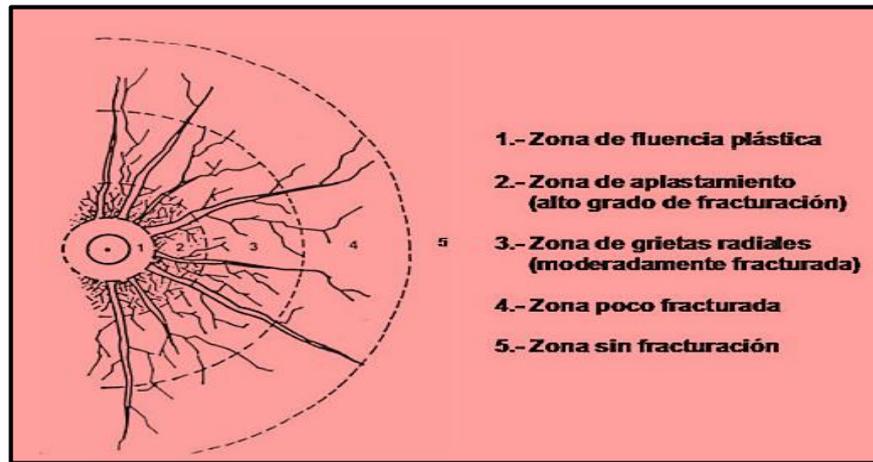
_Expansión de los gases.

Gráfico 3: Mecanismo de fracturamiento



Fuente: Arte de la Tronadura – Cameron Mckenzie.

Figura 8: Etapas de fracturamiento

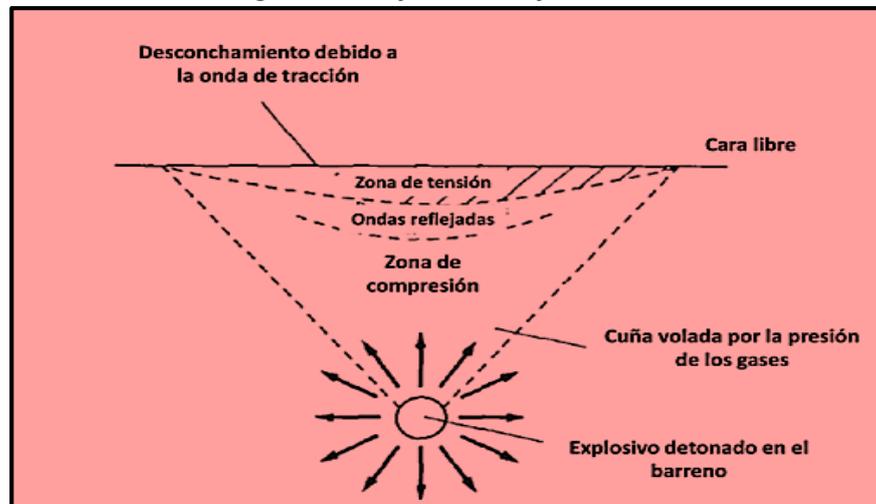


Fuente: Arte de la Tronadura – Cameron Mckenzie.

Esta primera etapa es básica para la rotura de la roca. En ella es empleada la parte de energía del explosivo que corresponde a la onda de detonación y que no alcanza valores superiores al 10% de la energía total del explosivo.

A esta primera fase de formación de grietas y desconchamiento le sigue una segunda fase, más lenta, en la cual los gases del explosivo a elevada presión y temperatura penetran por estas fisuras originalmente creadas por la onda de detonación, abriéndolas totalmente y lanzando la roca hacia adelante en su frente libre.

Figura 9: Zonificación de fracturamiento



Fuente: Arte de la Tronadura – Cameron Mckenzie.

Fanel

Sus iniciales provienen de Fulminante antiestático no eléctrico. Está formado por los siguientes componentes:

_Fulminante de retardo.

_Manguera fanel o tubo de choque.

_Etiqueta.

_Conector de plástico tipo "J".

A continuación la escala de tiempos nominales de retardo de los faneles:

Tabla 13: Retardos de Fanel por periodos

N° Serie	Periodo Corto MS	Periodo Largo LP
0	0	-
1	25	0.5
2	50	1
3	75	1.5
4	100	2
5	125	2.5
6	150	3
7	175	3.5
8	200	4
9	225	4.5
10	250	5
11	300	5.6
12	350	6.2
13	400	6.8
14	450	7.4
15	500	8
16	600	8.6
17	700	-
18	800	-
19	900	-
20	1000	-

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Fanel CTD o Conector de superficie

El Fanel CTD es un sistema de iniciación que se usa para retardar taladros y está compuesto por un fulminante de retardo ensamblado a la manguera fanel e insertado dentro de un bloque plástico, similar al usado por el fanel dual, dónde se puede alojar hasta seis mangueras fanel.

El Fanel CTD está formado por los siguientes componentes:

- _Fulminante de retardo:
- _Manguera fanel o tubo de choque.
- _Etiqueta.
- _Conector plástico tipo hongo.

A continuación la escala de tiempos nominales de retardo de los faneles

CTD:

Tabla 14: Retardos de Fanel CTD

Tiempos de retardo (ms)
0
9
17
25
35
42
50
65
67
75
100
109
150
200
300

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Nota:

- _No se recomienda usar en la misma voladura Faneles CTD de 35 ms o 42 ms.
- _ No se recomienda usar en la misma voladura Faneles CTD de 65 ms, 67 ms y de 75 ms.
- _No se recomienda usar en la misma voladura Faneles CTD de 100 ms y de 109 ms.

En Minera IRL – Corihuarmi se emplea Faneles CTD del tipo 0, 25, 35, 42, 65 y 109 ms de 12 m de longitud.

Fanel Dual

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

Sus ventajas son:

- _Fácil y rápido amarre de la malla de detonación.
- _Reducción del costo de los inventarios.
- _Bajo nivel de ruido durante su detonación.

El Fanel Dual está compuesto de los siguientes elementos:

- _Fulminante de superficie.
- _Fulminante de profundidad.
- _Manguera fanel o tubo que choque.
- _Etiqueta.
- _Conector de plástico tipo hongo.

A continuación la escala de tiempos nominales de retardo de los faneles duales:

Tabla 15: Tiempos de Fanel Dual

Fulminante de profundidad (ms)	Fulminante de superficie (ms)
300	17
350	25
400	35
450	42
500	50
600	65
700	75
800	100
900	109
1000	150
4000	200
	300

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

En Minera IRL – Corihuarmi se emplea Faneles duales del tipo 17/500 y 17/800 ms de 12 m de longitud.

Fulminante

El fulminante está constituido por una cápsula cilíndrica de aluminio, cerrada en uno de sus extremos, en cuyo interior lleva un explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro secundario de alto poder explosivo. Éste puede ser iniciado por la chispa de una mecha de seguridad y es usado como iniciador primario.

Tabla 16: Características Técnicas Fulminante

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Fulminante común N° 6	Fulminante común N° 8	Fulminante común N° 12
Longitud del fulminante (mm).	45	45	60/68/88/92
Diámetro del fulminante (mm).	6.3	6.3	7.3
Prueba de esopo, diámetro de perforación (mm).	Min. 9	Min. 9	Min. 11
Volumen trauzl (cm3).	Min. 20	Min. 23	Min. 34
Resistencia a la humedad relativa del 100% por 24 horas.	Detona	Detona	Detona
Resistencia al impacto 2 kg/m.	No detona	No detona	No detona
Sensibilidad a la chispa de la mecha de seguridad.	Buena	Buena	Buena

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Impedancia

La impedancia de un explosivo es el producto de su densidad y velocidad de detonación. Idealmente los explosivos deben tener la misma impedancia que la roca (impedancia de la roca es el producto de la onda P y densidad) que se va a fragmentar.

Iniciadores y Reforzadores

El iniciador se usa para designar la carga que inicia a la columna, mientras que el término "reforzador" se usa para designar un aditivo a la columna para mantener una velocidad alta de detonación en el explosivo.

Masa Crítica

Es la mínima cantidad de explosivo que se necesita para que se produzca la detonación por efecto de una llama.

Potencia en peso y Potencia en peso relativa (RWS)

La potencia en peso se refiere al rendimiento de la energía de un peso conocido de explosivo, y tiene las unidades de energía por unidad de peso (MJ/kg).

Potencia en volumen y Potencia relativa en volumen (RBS)

La potencia en volumen se refiere a la energía producida por un volumen de explosivo. La potencia relativa en volumen (RBS) se relaciona a la potencia relativa en peso (RWS) por la ecuación:

$$RBS = RWS * \frac{\rho_{\text{explosivo}}}{\rho_{ANFO}}$$

Dónde:

$\rho_{\text{explosivo}}$ = Densidad de explosivo utilizado.

ρ_{ANFO} = Densidad del ANFO.

Presión de Detonación

La presión de la detonación es la presión que ocurre dentro de la zona primaria de reacción que está limitada en un lado por el frente de choque y en el otro lado por el plano de Chapman Jouguet. Se calcula de la ecuación:

$$P_d = 0.25 * \rho_{explosivo} * VOD_{explosivo}^2$$

Presión peak de taladro o Presión de explosión

Se usa para referirse a la presión peak desarrollado detrás de la zona de reacción primaria en la columna del explosivo. La presión peak de taladro generalmente es aproximadamente un 45% de la presión de detonación.

Sensibilizantes y Sensibilidad

Sensibilizantes son aditivos para explosivos a granel que se requieren para que la formulación detone más fácilmente.. La sensibilidad se usa para describir la facilidad con que se puede detonar un explosivo.

Velocidad de Detonación (VOD)

Velocidad de detonación (VOD) es una medida de la razón a que la reacción de la detonación procede por la columna del explosivo.

Velocidad peak de partícula y Velocidad de la onda P

La Velocidad peak de partícula (PPV) se refiere a la velocidad de movimiento de partículas individuales dentro de la masa rocosa como una vibración u onda de choque que se propaga por la roca.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La sustitución del explosivo matriz actual, Emulnor 5000, por el propuesto en este caso, Anfo Pesado Ártico, significa un patrón esencial en la disminución de KPI's económicos, específicamente en costos de voladura del Tajo Susan en Minera IRL – Corihuarmi.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- a. Considerando la tendencia de resultados cuantitativos de voladuras ejecutadas con el explosivo Emulnor 5000, en el tajo en estudio, se aprecia la variación favorable de valores respecto al P80 (80 % pasante), a partir de la aplicación del Anfo Pesado Ártico.
- b. Los tiempos de carguío del proceso de voladura se minimizan significativamente, debido a la no realización de carguío, ni ejecución de voladuras secundarias (ya sean por plastas o cachorros).

2.5. Identificación de variables

A partir de los criterios de determinación de variables en el desarrollo del presente proyecto y considerando que las variables de la investigación son las características y propiedades cuantitativas o cualitativas de un objeto o fenómeno que estiman diferentes valores, es decir, varían considerando las unidades de observación, las mismas

que se clasifican en variables dependientes e independientes, (Nuez Bayolo, 2008). Se establece las variables correspondientes:

2.5.1. Variable Independiente

X = Selección del explosivo matriz empleado en la ejecución de los proyectos de voladura en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

2.5.2. Variable Dependiente

Y = Reducción favorable de índices operacionales, correspondientes al proceso de voladura en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

2.5.3. Variables Intervinientes

c₁ = Eficiencia de personal encargado en el diseño de carga y secuencia de salida.

c₂ = Experiencia de personal encargado en la realización del carguío.

c₂ = Temperatura local en la zona de carguío.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Esta herramienta nos permite evaluar el performance de las variables en estudio, del proyecto de investigación, cuyas características priman a partir del carácter empírico, empleando principios deductivos, es decir, profundizando de lo global hacia lo más específico (Sampieri, 1998).

Se presenta las variables establecidas, del mismo modo los indicadores a continuación:

De la Hipótesis General:

▪ **Variable Independiente:**

X = Selección del explosivo matriz empleado en la ejecución de los proyectos de voladura en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

▪ **Variable Dependiente:**

Y = Reducción favorable de índices operacionales, correspondientes al proceso de voladura del Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

▪ **Variables Intervinientes:**

c₁ = Eficiencia de personal encargado en el diseño de carga y secuencia de salida.

c₂ = Experiencia de personal encargado en la realización del carguío.

c₂ = Temperatura local en la zona de carguío.

▪ **Dimensiones:**

Y₁ = Variación favorable respecto a KPI's económicos en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

- **Indicadores:**

Y_{11} = Moderación en Costos Unitarios de voladuras primarias
(\$/t).

Y_{12} = Moderación en Costos Unitarios de voladuras secundarias
(\$/t).

De las Hipótesis Específicas:

- **Variable Independiente:**

X = Selección del explosivo matriz empleado en la ejecución de los proyectos de voladura en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

- **Variable Dependiente:**

Y = Reducción favorable de índices operacionales, correspondientes al proceso de voladura del Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

- **Variables Intervinientes:**

c_1 = Eficiencia de personal encargado en el diseño de carga y secuencia de salida.

c_2 = Experiencia de personal encargado en la realización del carguío.

c_2 = Temperatura local en la zona de carguío.

- **Dimensiones:**

X_1 = Carguío de taladros en los proyectos de voladura del Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.

X_2 = Rendimiento superlativo del explosivo Anfo Pesado Ártico respecto al Emulnor 5000.

Y_2 = Disminución en ejecución de proyectos de voladura secundaria en el Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi.

- **Indicadores:**

X_{11} = Moderación de valores de Factor Potencia (kg/t).

X_{12} = Moderación de valores de Velocidad de Detonación "VOD" (m/s).

X_{13} = Moderación de calidad de humos (0, 1, 2, 3, 4).

X_{21} = Moderación de valores de 80% pasante "P80" (pulg).

Y_{21} = Cantidad de proyectos de voladuras secundarias (Voladuras secundarias/mes).

Tabla 17: Operacionalización de las variables e indicadores

Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnica de Análisis	Instrumentos de Análisis	Fuentes
<p>Variable Independiente: X = Selección del explosivo matriz empleado en la ejecución de los proyectos de voladura en el Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi.</p>	<p>X₁ = Carguío de taladros en los proyectos de voladura del Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi.</p> <p>X₂ = Rendimiento superlativo del explosivo Anfo Pesado Ártico respecto al Emulnor 5000.</p>	<p>X₁₁ = Moderación de valores de Factor Potencia (kg/t).</p> <p>X₁₂ = Moderación de valores de Velocidad de Detonación "VOD" (m/s).</p> <p>X₁₃ = Moderación de calidad de humos (0, 1, 2, 3, 4).</p> <p>X₂₁ = Moderación de valores de 80% pasante "P80" (pulg).</p>	Técnica de Recolección de datos.	Reportes post voladura. Software fragmentación.	Datos de área Mina Corihuarmi. Data Famesa Explosivos SAC:
<p>Variable Dependiente: Y = Reducción favorable de índices operacionales, correspondientes al proceso de voladura del Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi.</p>	<p>Y₁ = Variación favorable respecto a KPI's económicos en el Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi.</p> <p>Y₂ = Disminución en ejecución de proyectos de voladura secundaria en el Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi.</p>	<p>Y₁₁ = Moderación en Costos Unitarios de voladuras primarias (\$/t).</p> <p>Y₁₂ = Moderación en Costos Unitarios de voladuras secundarias (\$/t).</p> <p>Y₂₁ = Cantidad de proyectos de voladuras secundarias (Voladuras secundarias/mes).</p>	Técnica de Recolección de datos.	Reportes post voladura.	Datos de área Mina Corihuarmi.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La evaluación planteada en el presente proyecto de tesis, parte de una caracterización científica del tipo explicativo – experimental con enfoque cuantitativo, ya que se determinan las causas y efectos del objeto de estudio, a través de la caracterización y explicación de alguna modificación o variabilidad de mejora con respecto al proceso inicial y éstos se contrastan a partir de resultados cuantitativos numéricos obtenidos a partir de la población y muestra.

3.2. Métodos de investigación

La metodología seleccionada para el presente proyecto de tesis es del tipo analítico - inductivo, ya que reúne las condiciones metodológicas de

carácter empírico, es decir se analizan casos específicos reales, cuyos resultados son recabados para extraer conclusiones.

La ejecución de la presente investigación yace su enfoque en 2 aspectos dinámicos, las cuales consisten en realizar el seguimiento del carguío in situ en los proyectos y del trabajo analítico de gabinete post voladura.

Al realizar la recabacion de la información inicial correspondiente para el desarrollo de los estudios, se determinó que de 4 a 5 días por semana se ejecutaban principalmente Voladuras de este tipo, es decir, solo 1 o 2 proyectos primarios semanales, por consiguiente, se propone implementar una nueva alternativa en mencionado Tajo, partiendo de uno de los principios fundamentales de la Voladura (explosivos de alta densidad efectivos en roca dura); cabe resaltar que la geología compleja del Tajo en estudio, presenta zonificación de roca muy dura, extremadamente fracturada.

Es así, que a partir de este análisis se llega a la conclusión que la alternativa más compatible e ideal como propuesta de valor, es el explosivo HEAVY ANFO ÁRTICO, cuyos parámetros y características encajan perfectamente a las condiciones, no sólo geológicas, sino también el aspecto climatológico, ya que se alcanzan temperaturas extremadamente bajas de hasta 13° C bajo 0, por lo tanto esto influye en el performance óptimo de algunos posibles explosivos candidatos.

El patrón de enfoque de este proyecto básicamente está orientado en un análisis comparativo entre dos alternativas de explosivos de distinta naturaleza, cuyos parámetros y resultados en el campo nos permitirán determinar el idóneo para su elección.

Las actividades realizadas en el presente proyecto, están orientadas principalmente en análisis de Fragmentación Post Voladura, teniendo en cuenta que estándares propuestos por la minera, indican que valores de P80 de 4" y el porcentaje de gruesos de 15% son aceptables para los procesos siguientes de concentrado.

Teniendo la consigna de evaluar de manera objetiva y racional, se emplearán métodos de instrumentación especializada en Voladura, para brindarnos soporte en el control de datos complementarios de suma relevancia, que nos permitirán determinar datos cuantitativos del performance de los disparos; uso de Microtrap, Sismógrafos, Cámaras de alta velocidad, Kit de control de densidades, etc.

El desarrollo del presente proyecto de tesis se ha desarrollado en tres fases:

1. Análisis de tendencias de resultados de voladuras pasadas.
2. Planteamiento de nuevo modelo de carga en base a nueva alternativa, en este caso Heavy Anfo Ártico.
3. Análisis comparativos económicos Post Voladura.

Además como sabemos la actividad minera contemporánea actualmente no consiste solo en la extracción de la materia prima, en este caso el mineral, de forma irresponsable y arbitraria, al contrario,

actualmente se busca generar propuestas de valor para que la obtención del mismo, se desarrolle de forma óptima y sostenible, que sea económicamente beneficioso tanto para la empresa, como del país.

Es ahí donde brota la convicción del desarrollo del presente proyecto de tesis, relacionado a la actividad minera superficial, con soporte exclusivo de herramientas tecnológicas de instrumentación que nos simplifican de cierto modo el desarrollo de los estudios.

Los alcances generales de la presente investigación abarcan:

- a. Rendimientos de voladuras actuales y probables ratios, a partir de la nueva alternativa propuesta.
- b. Procesamiento de fotos Post Voladura, a partir de herramientas tecnológicas: Wipfrag, Split Desktop, Portametrics.

3.3. Diseño de la investigación

La aplicación de diseño de investigación en el presente proyecto, es de campo, ya que se realiza a partir de estudios de carácter práctico. Además, su fundamentación no es estrictamente teórica, dándole mayor relevancia a evidenciar la realidad de estudio con casos a partir de las muestras y población. La estructura empleada, se basará en principios conforme al siguiente esquema:

- OG** = OBJETIVO GENERAL
- HG** = HIPÓTESIS GENERAL
- CG** = CONCLUSIÓN GENERAL

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La matriz conjunto de la población, abarca a todos los Tajos en explotación de Minera IRL – Corihuarmi.

3.4.2. Muestra

La muestra a considerar en la ejecución del presente proyecto abarca a todos los proyectos de voladura ejecutados con EMULNOR 5000 y con HEAVY ANFO ÁRTICO en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Para la recabación de información ya sea cuantitativa o cualitativa se realizó un seguimiento continuo a las voladuras realizadas antes, durante y después de la ejecución de las mismas.

La realización de éstas consistía básicamente en el levantamiento de todos los taladros, para así determinar sus condiciones y obtener las longitudes reales. Se brindaba el soporte y la asistencia al personal encargado de realizar el carguío con el fin de evitar falencias. Del mismo modo, se tomaba registro de las voladuras mediante filmaciones reales. Posteriormente se verificaba los resultados.

Yace en la verificación de resultados, el núcleo de la investigación, ya que el foco del estudio tiene base en la fragmentación obtenida.

El procedimiento consiste en realizar el seguimiento al minado de los frentes de trabajo producto de las voladuras, éste trabajo es realizado por las excavadoras.

Durante la transición de cambio de guardia, es dónde se realizó la toma de fotografías de los frentes de minado, ya sea con cámara digital y respectivo escalador o con el equipo Portametrics, se complementa el estudio en trabajos de análisis fotográficos en gabinete mediante la aplicación de herramientas digitales (Wipfrag, Split o plataforma digital del Portametrics).

3.5.2. Instrumentos

- _ Ficha de registro de taladros.
- _ PETS.
- _ Plano de proyectos.
- _ Cámara fotográfica digital.
- _ Elemento escalador.
- _ Portametrics.
- _ Libreta de apuntes.
- _ Plumones y lapiceros.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procedimiento empleado en el desarrollo del presente proyecto de investigación, se enfocó principalmente en la técnica de recolección de

datos de orden documental, es decir, a partir la recabacion de datos reales de los proyectos piloto de los 4 meses en evaluación, el cual fue soportado por información preexistente, proveniente de voladuras antiguas en el Tajo Susan, del mismo modo se opta por análisis predictivos de resultados y apoyados de herramientas tecnológicas digitales, se realiza la evaluación.

3.7. Tratamiento estadístico de datos

Se efectuó la agrupación resumen y análisis de datos de los resultados post-voladura, considerando inicialmente, principios de estadística descriptiva, dónde realizamos la agrupación de datos empleando herramientas de soporte estadístico que comprenden de gráficos en barras, gráficos circulares, histogramas; de forma que esto nos permita visualizar , analizar y cotejar los datos que conforman la muestra que está en estudio.

De la misma manera se aplican pautas de Estadística Inferencial, en la cual se sacan conclusiones desde los estudios realizados a partir de la muestra de una población, en este caso, las voladuras realizadas en el Tajo Susan en Minera IRL – Corihuarmi. Para esto realizamos la toma de decisión, a partir de pruebas de hipótesis.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

3.8.1. Selección

La recabacion y selección de los datos empleados en el presente estudio, se realiza a partir de los reportes de voladura

presentados por la empresa encargada de prestar servicios de asistencia técnica a Minera IRL – Corihuarmi, es decir, de Famesa Explosivos S.A.C.

3.8.2. Validación

Cabe resaltar que estos reportes son presentados y sustentados al área de operaciones mina de Minera IRL – Corihuarmi, por ende, se valida su autenticidad.

3.8.3. Confiabilidad

Se garantiza la veracidad de la data empleada en los estudios, puesto que este se obtiene a partir de la recolección de datos in situ y apoyados bajo los análisis digitales de fotografías en campo, del mismo modo, con la comparación entre datos de mina y la empresa proveedora.

3.9. Orientación ética

Es necesario mencionar que el desarrollo del presente proyecto de investigación, yace su contenido en la colección de información relacionada al problema en estudio, propiamente ejecutado y evaluado personalmente en las instalaciones, tajos y oficinas de Minera IRL – Corihuarmi. Evidentemente, se dispuso el planteamiento del presente proyecto de investigación, al percatar una notable deficiencia que al mismo tiempo se convertiría en necesidad en la mina, la fragmentación. Es así que se origina la propuesta planteada, obviamente se realiza una profunda búsqueda de proyectos similares al mismo, no hallando una

similar afortunadamente, sin embargo, se encuentran muchos artículos científicos, notas empíricas, modelos matemáticos, proyectos de investigación y diferentes tesis, cuyo contenido se basan en enfoques relacionados a la fragmentación de rocas, la voladura de rocas, etc; las cuales resultan ricas en información, que si fueron útiles para poder nutrir el contenido y fortalecer el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Canalizando un poco conceptos, la ética es considerada un saber racional, entonces, esto la convierte en una herramienta para el estudio fundamentado y objetivo de los valores morales. Es por esto que se considera de gran importancia que el investigador demuestre sus más altos principios morales cuando este va a desarrollar algún tipo de estudio (Pérez & Cardona, 2004).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Como se menciona anteriormente, el desarrollo del presente proyecto de investigación, tuvo lugar en las instalaciones de Minera IRL – Corihuarmi, específicamente en el Tajo Susan. La dinámica del estudio consistía en realizar una voladura piloto mensual empleando el producto explosivo propuesto, en este caso, el Anfo Pesado Ártico, cuya aplicación era única y exclusivamente para la ejecución de las voladuras piloto mensuales, este proceso se realizó durante cuatro meses consecutivos, desde enero a abril del año 2020. A continuación se detalla los procesos operativos de la mina, del mismo modo los trabajos realizados durante ese periodo, para la obtención de datos y determinación del performance.

4.1.1. Perforación

Los trabajos de perforación en Minera IRL – Corihuarmi, actualmente son dirigidos por el área de Geología, y la ejecución de estos está a cargo de la empresa Uguil innovación, cuyo rendimiento promedio es de 30 a 40 taladros por guardia.

Nuestra función radica en realizar el seguimiento de la perforación y reperfusión respectivamente, controlando las longitudes de corte de los taladros, el diseño de malla, los cuales se encuentran avalados por el worksheet, el cual contiene la recolección de las alturas, se adjunta en el anexo 2.

Figura 10: Ciclo de perforación



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2. Voladura

Fundamentalmente las actividades realizadas en el presente proyecto de investigación se profundizan en estudios relacionados al área de voladura. Es así que se evaluaron los siguientes:

4.1.2.1. Control de Densidades

En realidad el control de densidades fue una actividad complementaria, y de verificación de calidad, ya que el explosivo en evaluación Anfo Pesado Ártico no es un explosivo gasificable, por lo tanto la variación de datos, sería mínima, cabe resaltar que el objetivo de este control serviría para determinar la temperatura y densidad in situ de la mezcla.

La herramienta a emplear para la obtención de datos, es denominada Kit de Densidades, la misma que está compuesta por un vaso, espátula, balanza, termómetro, kilo, cronómetro y tablas de densidades.

El proceso de medición consiste en la toma de muestras aleatorias de explosivo al momento del carguío, en distintos taladros, empleando el vaso y espátula, a partir de ella, se obtiene la densidad real empleando la balanza mencionada y las tablas de densidades correspondientes. El control de la temperatura se realiza utilizando el termómetro.

Se adjunta las tablas de densidades en el anexo 4.

Figura 11: Muestra de Densidad de Anfo Pesado Ártico



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.2. Velocidad de Detonación

Para medir el performance de ambos explosivos se realizó el control de VOD en cada proyecto piloto, empleando el equipo Microtrap, y sus elementos complementarios que comprende de cable probecable y cable RG 58.

La técnica empleada para la obtención de este parámetro consiste en tomar la lectura de la velocidad de detonación, de taladros paralelos utilizando un solo equipo, es así, que se cargó dos taladros con los dos explosivos en evaluación.

Figura 12: Instalación de VOD



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.3. Análisis de Fragmentación

Soportados de herramientas tecnológicas, como cámaras fotográficas, objetos escaladores, equipos especializados portametrics y software de fragmentación, es posible determinar el comportamiento granulométrico de las voladuras. Es así que enfocándonos en la tendencia P80, se continúa realizando la medición respectiva.

Básicamente el trabajo de campo, consiste en la toma de fotografías de los frentes de minado, en distintas secciones, para su posterior evaluación en gabinete mediante el software Split, Wipfrag o Motion metrics.

Figura 13: Monitoreo de Fragmentación con Portametrics



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.4. Calidad de Humos

De misma forma que la anterior, con la ayuda de cámaras digitales y filmadoras, se realiza la captura de la voladura, con el objetivo de evaluar la calidad de humos generados para cada tipo de explosivo y su posterior calificación.

4.1.3. Carguío y Acarreo

La limpieza de los frentes de minado se realiza con retroexcavadoras de marca Hyundai y el acarreo con volquetes de 17 m³ y 21 m³.

Figura 14: Ciclo de Minado



Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

A partir de las necesidades y deficiencias identificadas en el proceso de voladura, se determina realizar la presente evaluación, seleccionando el Anfo Pesado Ártico como variable a analizar, esto debido, a que el mismo se ajusta a las necesidades y condiciones presentadas en la mina.

4.2.1. Evaluación General del Anfo Pesado Ártico

4.2.1.1. Análisis de Parámetros Nominales

Tabla 18: Parámetros Nominales Emulnor 5000 y Anfo Pesado Ártico

	Densidad relativa (gr/cc)	Velocidad de detonación (m/s)	Presión de detonación (kbar)	Energía (kcal/kg)	Volumen de gases (L/kg)	Potencia relativa en peso	Potencia relativa en volumen	Resistencia al agua	Sensibilidad al fulminante	Categoría de Humos
EMULNOR 5000	1.16	3900 a 5800	88	1010	870	112	159	Excelente	Nº 8	Primera
HEAVY ANFO ÁRTICO	1.2	5300	95	921	957	93	137	Excelente	No (booster)	Primera

Fuente: Elaboración Propia.

Contrastando información correspondiente a ambos productos, presentamos las características de performance de los mismos.

Si bien es cierto, los valores presentados son nominales de fábrica, obtenidos a condiciones normales, mas no efectivos.

Considerando que la elaboración y formulación del Heavy Anfo Ártico fue diseñado específicamente para condiciones en la cual la temperatura alcanza picos de hasta 13° C bajo 0, dichos parámetros son reales e incluso de mejor rendimiento en la unidad, sin embargo, los parámetros del producto EMULNOR 5000 son variables y dependerán mucho de su correcta aplicación, peligrando su eficiencia en la ejecución y resultados de las voladuras. Muestra de ello son los exiguos valores de VOD obtenidos en los proyectos cargados con Emulnor 5000, por debajo respecto a su parámetro nominal.

Aparentemente las características del Emulnor 5000 presentan valores superlativos al Anfo Pesado Ártico, sin embargo a bajas temperaturas, esto se invierte, debido al mejor performance del segundo en estas condiciones.

4.2.1.2. Modelo Predictivo de Fragmentación

(Felipe Orellana, 2012) Partiendo de los principios QA/QC, parte del trabajo de seguimiento realizado a los proyectos, para garantizar la calidad en las voladuras, se plantea

emplear modelos matemáticos, que simulan posibles resultados en base a datos reales, es así dónde se evalúan modelos predictivos de fragmentación basados en ecuaciones matemáticas conocidas, para así finiquitar el panorama de fragmentación en dos posibles escenarios, empleando Emulnor 5000 y en otro escenario Anfo Pesado Ártico.

Tabla 19: Modelo Predictivo de Fragmentación

Tipo de roca	
Densidad	2.23 g/cm ³
Modulo de Young	4 GPa
UCS	200 MPa

Diaclasamiento	
Espaciamiento	0 m
Dip	90 °
Dip Direction	0 °
Bloques in situ	0 m

EMULNOR 5000

Explosivo	
Densidad (g/cc)	1.16
RWS (%) (ANFO)	112
VOD Nominal (m/s)	5500
VOD Efectivo (m/s)	4900
Potencia (%)	1.41

Diseño de Malla	
Triangular o Cuadrada	1.16
Diámetro de taladro (mm)	101.60
Longitud de Carga (m)	2.90
Burden (m)	2.59
Espaciamiento (m)	3.00
Desviación de la perforación (m)	0.20
Altura de Banco (m)	5.00
Dip Direction de Cara de Banco (°)	0.00
Sobreperforación (m)	0.50

Factor de Potencia (kg/t)	0.31
Factor de Carga (kg/m ³)	0.69
Carga por taladro (kg/tal)	27.00

Factores de Kuz Ram	
Índice de Volabilidad	1.4125
Tamaño Promedio (cm)	3.482
Exponente de Uniformidad "n"	1.407
Tamaño Característico "Xc" (m)	0.045

P80 (pulg)	2.49
------------	------

ANFO PESADO ÁRTICO

Explosivo	
Densidad (g/cc)	1.2
RWS (%) (ANFO)	93
VOD Nominal (m/s)	5300
VOD Efectivo (m/s)	5300
Potencia (%)	0.93

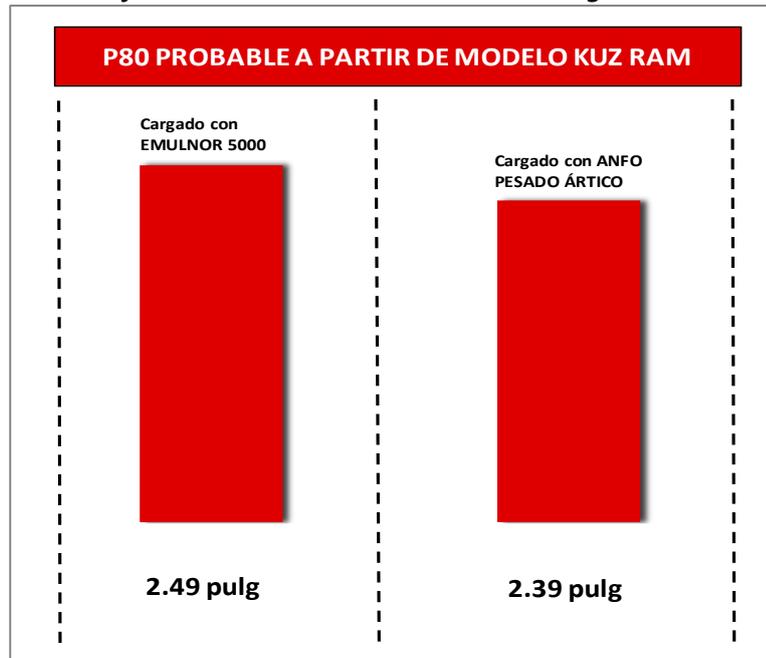
Diseño de Malla	
Triangular o Cuadrada	1.16
Diámetro de taladro (mm)	101.60
Longitud de Carga (m)	3.70
Burden (m)	2.59
Espaciamiento (m)	3.00
Desviación de la perforación (m)	0.20
Altura de Banco (m)	5.00
Dip Direction de Cara de Banco (°)	0.00
Sobreperforación (m)	0.50

Factor de Potencia (kg/t)	0.41
Factor de Carga (kg/m ³)	0.91
Carga por taladro (kg/tal)	36.00

Factores de Kuz Ram	
Índice de Volabilidad	1.4125
Tamaño Promedio (cm)	3.808
Exponente de Uniformidad "n"	1.795
Tamaño Característico "Xc" (m)	0.047

P80 (pulg)	2.39
------------	------

Gráfico 4: Resultados de Predictivo de Fragmentación



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20: Resultado Predictivo de Fragmentación

	P80 probable
P80 predictivo Emulnor 5000 (pulg)	2.49
P80 predictivo Anfo Pesado Ártico (pulg)	2.39

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la proyección planteada, empleando un modelo predictivo de fragmentación según los principios de Kuz Ram, se obtiene una reducción favorable de 4.02 % respecto al 80% pasante - P80.

4.2.2. Evaluación Técnica del Anfo Pesado Ártico

A partir de la ejecución de los proyectos piloto en el Tajo Susan, se determina el mejor rendimiento a partir de los resultados obtenidos en voladuras en el tajo. Los indicadores muestran una mejora respecto al producto EMULNOR 5000.

Proyecto	Mes de piloto	Malla (BxS)	Diámetro taladro (pulg)	Explosivo Utilizado	Factor Potencia (kg/t)	Costo Voladura (\$/t)	P 80 (pulg)	VOD (m/s)	
								Anfo Pesado Ártico	Emulnor 5000
Proyecto 20 - Banco 4820 - Tajo Susan	Enero	2.77 x 3.2	4	Anfo Pesado Ártico	0.56	0.68	4.92	5659.0	5111.7
Proyecto 11 - Banco 4825 - Tajo Susan	Febrero	2.77 x 3.2	4	Anfo Pesado Ártico	0.51	0.62	4.37	5102.6	5068.0
Proyecto 12 - Banco 4815 - Tajo Susan	Marzo	2.77 x 3.2	4	Anfo Pesado Ártico	0.58	0.76	4.29	4973.9	4561.6
Proyecto 23 - Banco 4820 - Tajo Susan	Abril	2.77 x 3.2	4	Anfo Pesado Ártico	0.51	0.61	4.45	5509.1	5319.8

4.2.2.1. Control de densidades

Tabla 21: Control de Densidades

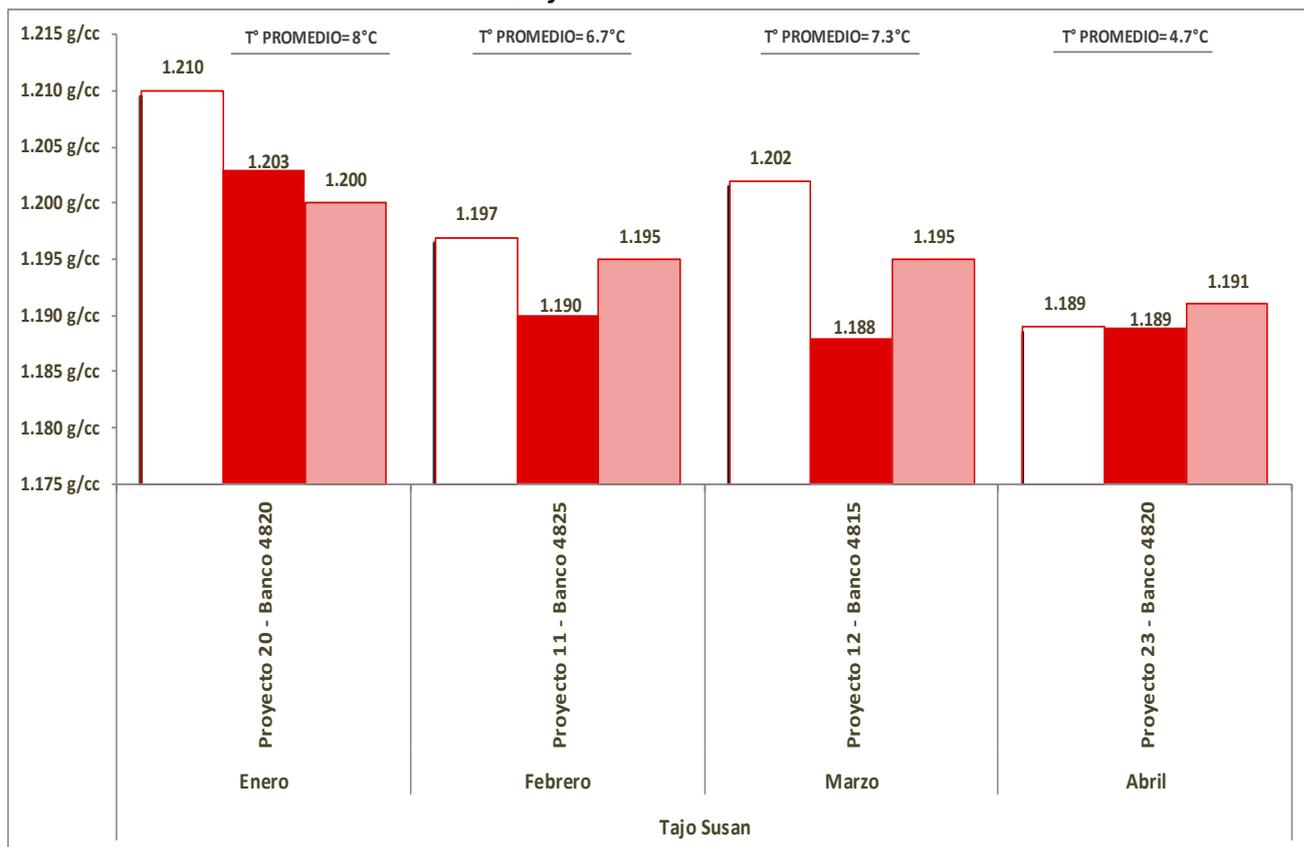
TAJO	MES PILOTO	PROYECTO	DENSIDADES ANFO PESADO ÁRTICO (g/cc)						DENSIDAD PROMEDIO (g/cc)
			MUESTRA 1	T° 1	MUESTRA 2	T° 2	MUESTRA 3	T° 3	
Tajo Susan	Enero	Proyecto 20 - Banco 4820	1.210	8°C	1.203	8°C	1.200	8°C	1.204
	Febrero	Proyecto 11 - Banco 4825	1.197	7°C	1.190	6°C	1.195	7°C	1.194
	Marzo	Proyecto 12 - Banco 4815	1.202	8°C	1.188	6°C	1.195	8°C	1.195
	Abril	Proyecto 23 - Banco 4820	1.189	4°C	1.189	5°C	1.191	5°C	1.190

Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo, parte del seguimiento realizado durante el carguío, se realizó el control de densidades, con el objetivo de controlar la calidad del producto antes, durante y después de la voladura. Teniendo en cuenta que es un agente explosivo acuoso a granel, se utilizó el kit de densidades para su determinación, sin embargo al ser un explosivo no gasificable, no se requiere un control continuo, sólo para su respectivo registro de control.

A continuación se presenta el comportamiento del explosivo respecto a su densidad:

Gráfico 5: Control de Densidades



Fuente: Elaboración Propia.

(Famesa Explosivos, 2017) Se sabe que la densidad del Anfo Pesado Ártico es de 1.20 g/cc, en planta y en la evaluación realizada se obtiene un comportamiento cuasi similar entre las muestras, sin embargo se puede apreciar que esto varía según la temperatura medida del explosivo.

4.2.2.2. Evaluación del Factor Potencia

De acuerdo al work sheet del área de Operaciones Mina, se realiza un compendio mensual promedio de los index obtenidos en proyectos de voladura, específicamente ejecutados en el Tajo Susan. En los siguientes cuadros se estima la variabilidad de factores empleando ambos explosivos.

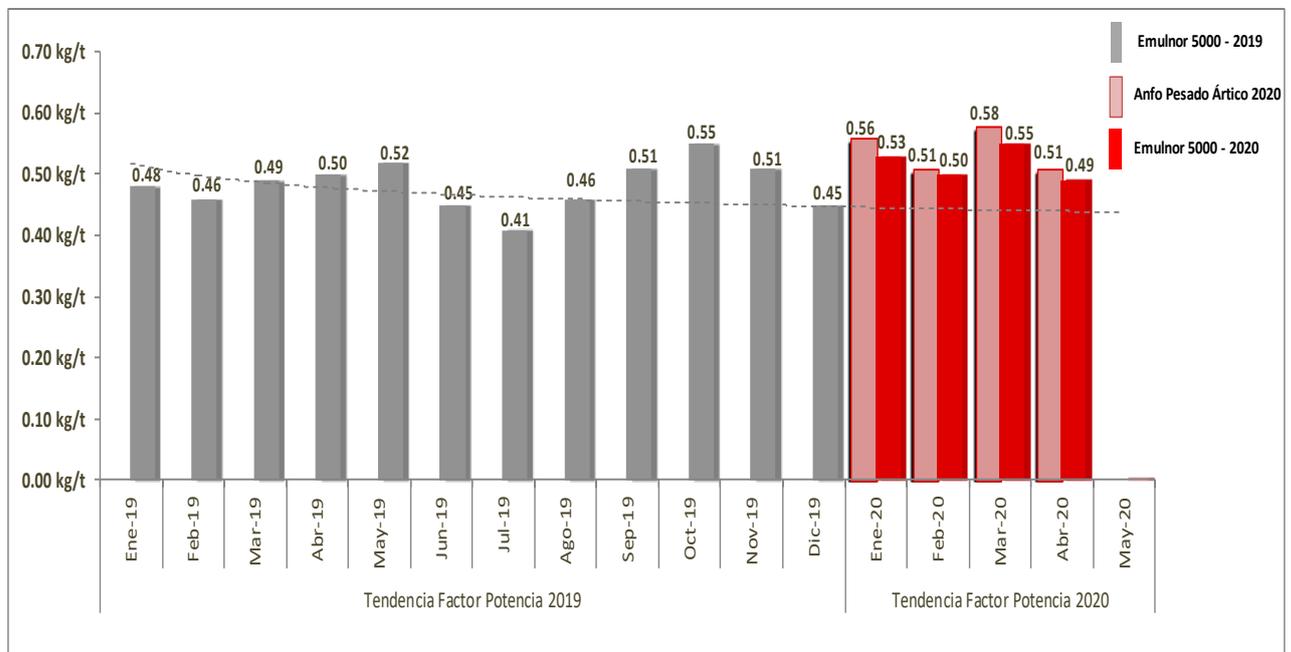
Tabla 22: Evaluación Factor Potencia

MES	FACTOR POTENCIA PROMEDIO (kg/t)	
	HEAVY ANFO ÁRTICO	EMULNOR 5000
Ene-19	-	0.48
Feb-19	-	0.46
Mar-19	-	0.49
Abr-19	-	0.50
May-19	-	0.52
Jun-19	-	0.45
Jul-19	-	0.41
Ago-19	-	0.46
Sep-19	-	0.51
Oct-19	-	0.55
Nov-19	-	0.51
Dic-19	-	0.45
Ene-20	0.56	0.53
Feb-20	0.51	0.50
Mar-20	0.58	0.55
Abr-20	0.51	0.49
May-20	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 6: Evaluación Factor Potencia

TENDENCIA FACTOR POTENCIA PROMEDIO EN EL TAJO SUSAN



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23: Análisis Factor Potencia de Proyectos Piloto

Proyecto 20 - Banco 4820 - Tajo Susán	Tonelaje Estimado (t)	24300		
	Producto	Anfo Pesado Ártico (saco)	Emulnor 5000 (caja)	Cantidad de explosivo empleada en el proyecto
	Cantidad	675	0	-
	Kilogramos por Unidad (kg)	20	0	-
	Kilogramos Totales (kg)	13500	0	13500
	Factor Potencia (kg/t)	0.56 kg/t		

Proyecto 11 - Banco 4825 - Tajo Susán	Tonelaje Estimado (t)	21400		
	Producto	Anfo Pesado Ártico (saco)	Emulnor 5000 (caja)	Cantidad de explosivo empleada en el proyecto
	Cantidad	550	0	-
	Kilogramos por Unidad (kg)	20	0	-
	Kilogramos Totales (kg)	11000	0	11000
	Factor Potencia (kg/t)	0.51 kg/t		

Proyecto 12 - Banco 4815 - Tajo Susán	Tonelaje Estimado (t)	25950		
	Producto	Anfo Pesado Ártico (saco)	Emulnor 5000 (caja)	Cantidad de explosivo empleada en el proyecto
	Cantidad	750	0	-
	Kilogramos por Unidad (kg)	20	0	-
	Kilogramos Totales (kg)	15000	0	15000
	Factor Potencia (kg/t)	0.58 kg/t		

Proyecto 23 - Banco 4820 - Tajo Susán	Tonelaje Estimado (t)	23500		
	Producto	Anfo Pesado Ártico (saco)	Emulnor 5000 (caja)	Cantidad de explosivo empleada en el proyecto
	Cantidad	600	0	-
	Kilogramos por Unidad (kg)	20	0	-
	Kilogramos Totales (kg)	12000	0	12000
	Factor Potencia (kg/t)	0.51 kg/t		

Fuente: Elaboración Propia.

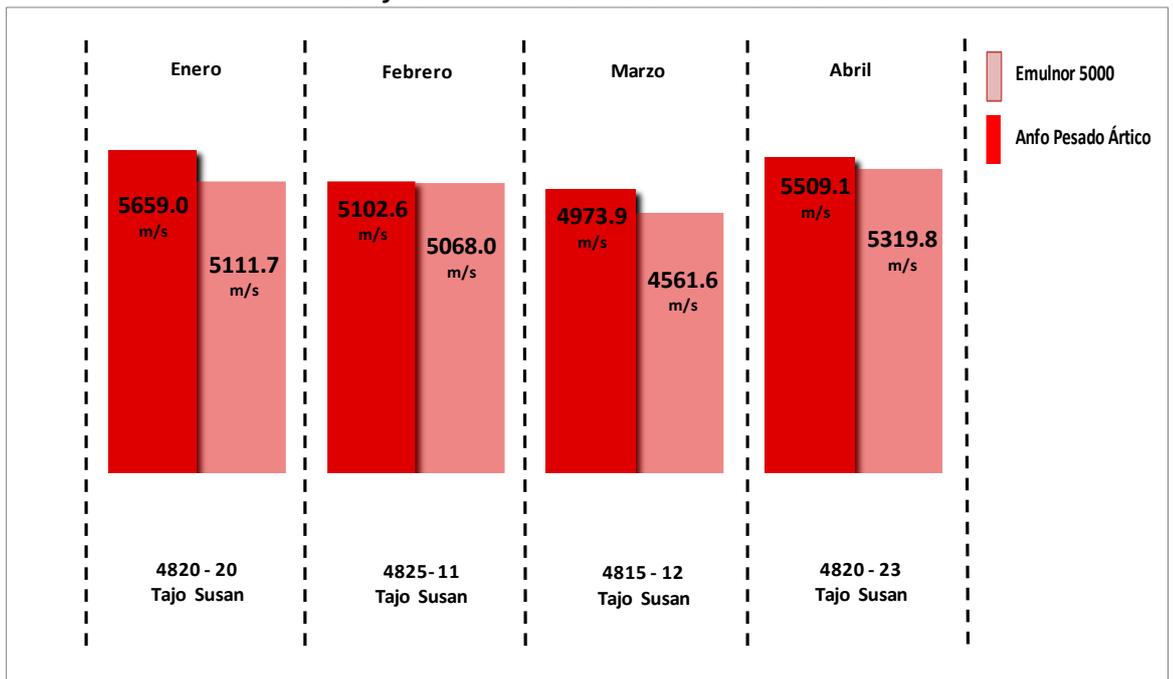
Evaluando el comportamiento de factores potencia desde el 2019 y considerando la aplicación del Anfo Pesado Ártico en los 4 proyectos piloto, se determina que el factor potencia incrementa respecto a los factores obtenidos con el Emulnor 5000, esto era previsible, sin embargo, esto se

puede justificar económicamente en los resultados post voladura.

4.2.2.3. Evaluación de la Velocidad de Detonación

Para poder determinar las variaciones de performance entre ambos explosivos en condiciones reales, se planteó realizar el monitoreo de velocidades de detonación dobles, el estudio consistió en evaluar dos taladros en un mismo proyecto, con una misma configuración de carga, pero uno cargado con Anfo Pesado Ártico y otro con Emulnor 5000, respectivamente. Técnicamente, el taladro cargado con Anfo Pesado Ártico estaba en el arranque y posteriormente el cargado con Emulnor 5000 en el segundo taladro, según la secuencia de tiempos de salida. Se ejecutó mencionada prueba en los cuatro proyectos piloto. Se obtiene que:

Gráfico 7: Evaluación Velocidad de Detonación



Fuente: Elaboración Propia.

Según las características técnicas de fábrica, los valores de VOD obtenida con Emulnor 5000 deberían estar por encima que los valores de VOD de Anfo Pesado Ártico, sin embargo, esto no ocurre, debido las condiciones de temperatura extremas, por ende, se evidencia deficiencias en el performance del Emulnor 5000.

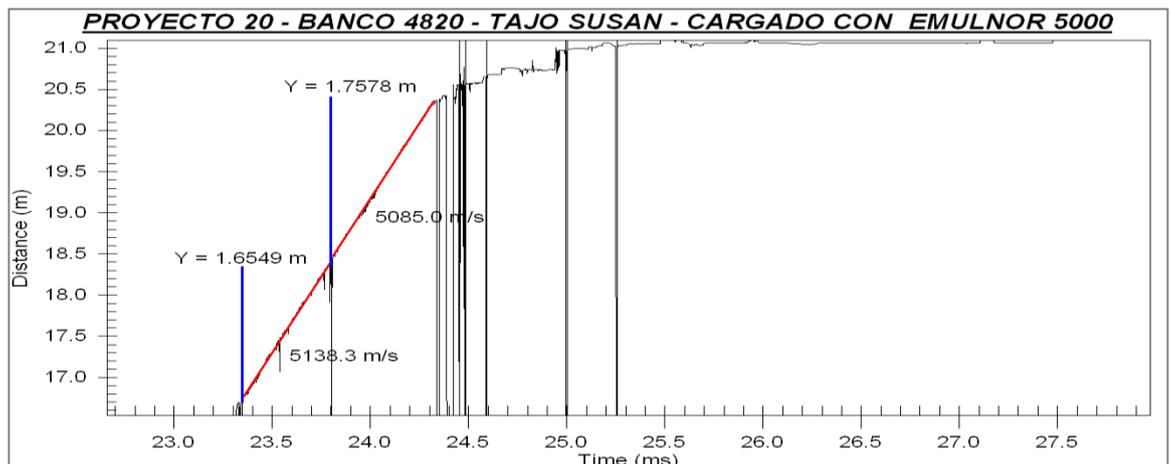
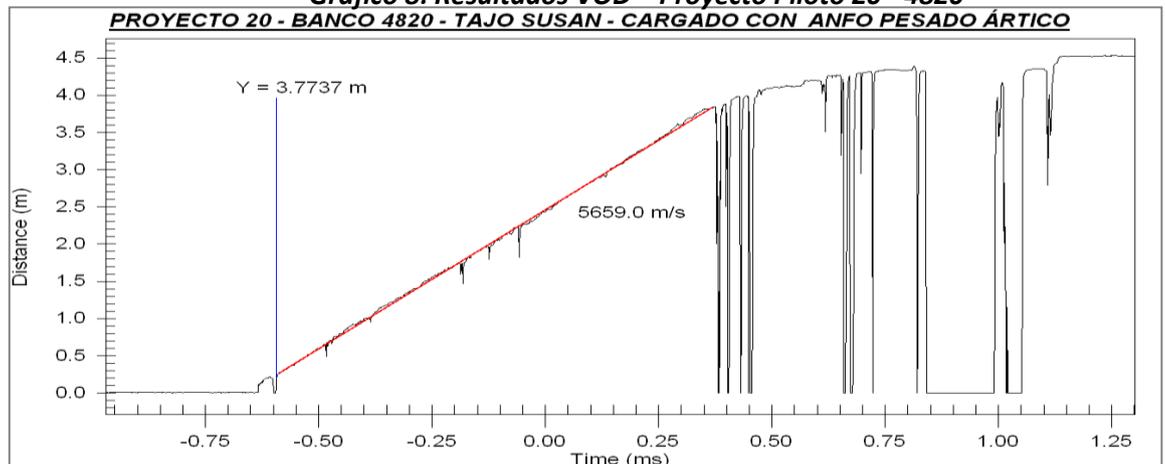
Proyecto 20 – Banco 4820 – Tajo Susan – Piloto Enero

Tabla 24: Resultados VOD – Proyecto Piloto 20 - 4820

N° Taladro		27		N° Taladro		28	
Altura Teórica (m)		6.1		Altura Teórica (m)		5.9	
Altura Real (m)		5.7		Altura Real (m)		5.7	
Explosivo Empleado		Anfo Pesado Ártico		Explosivo Empleado		Emulnor 5000	
Densidad de Explosivo (g/cc)		1.204		Densidad de Explosivo (g/cc)		1.16	
Altura de Carga (m)		3.5		Altura de Carga (m)		3.5	
Longitud de Taco (m)		2.2		Longitud de Taco (m)		2.2	
VOD (m/s)				VOD (m/s)			
Tipo de Booster	Distancia 1 (3.7737 m.)	Distancia 2 (m.)	Distancia 3 (m.)	Tipo de Booster	Distancia 1 (1.6549 m.)	Distancia 2 (1.7578 m.)	Distancia 3 (m.)
3/4	5659.0	-	-	3/4	5138.3	5085.0	-
Promedio	5659.0 m/s			Promedio	5111.7 m/s		

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Gráfico 8: Resultados VOD – Proyecto Piloto 20 - 4820



Fuente: Famesa Explosivos SAC.

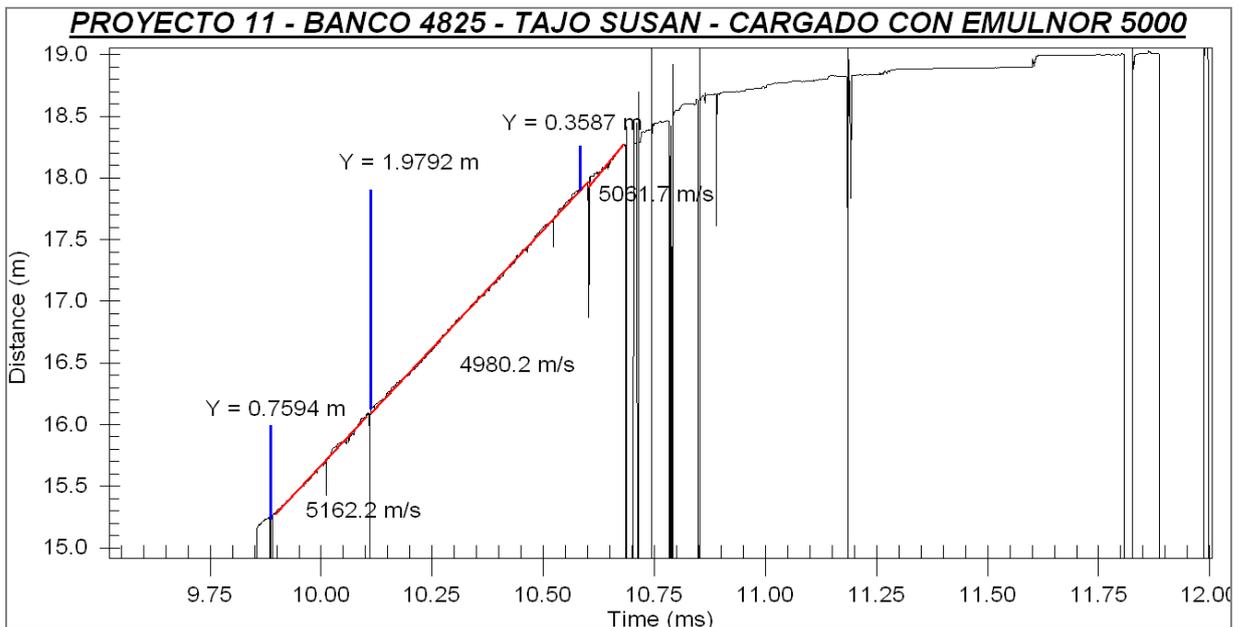
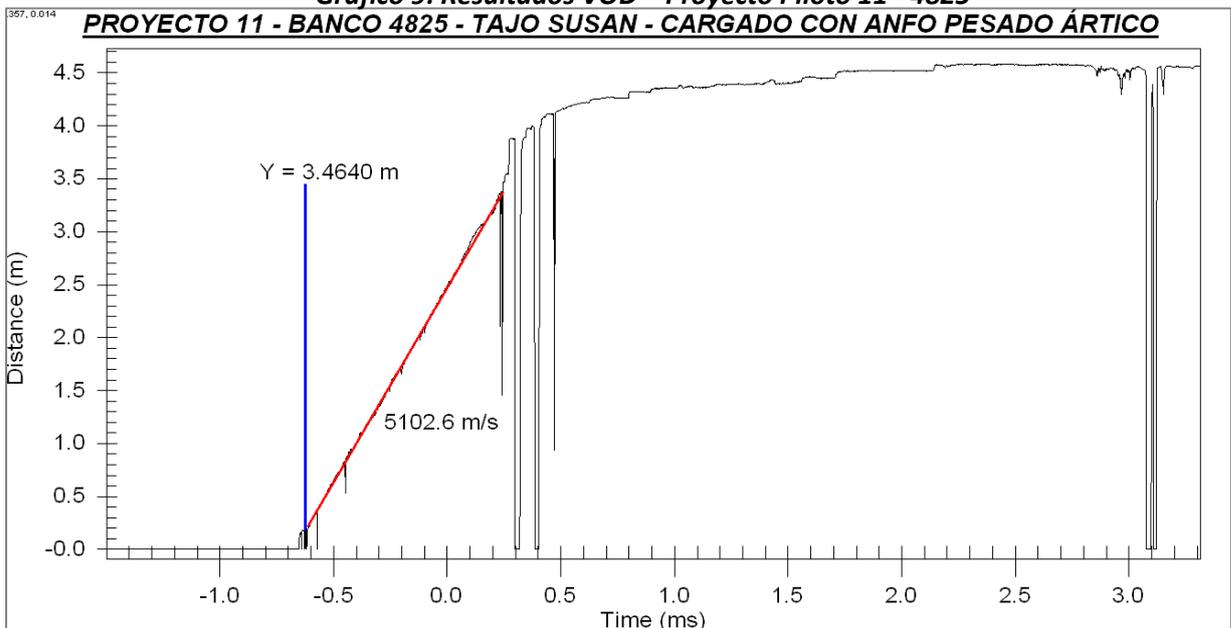
Proyecto 11 – Banco 4825 – Tajo Susan – Piloto Febrero

Tabla 25: Resultados VOD – Proyecto Piloto 11 - 4825

N° Taladro	11			N° Taladro	34		
Altura Teórica (m)	5.7			Altura Teórica (m)	5.8		
Altura Real (m)	5.7			Altura Real (m)	5.7		
Explosivo Empleado	Anfo Pesado Ártico			Explosivo Empleado	Emulnor 5000		
Densidad de Explosivo (g/cc)	1.194			Densidad de Explosivo (g/cc)	1.16		
Altura de Carga (m)	3.5			Altura de Carga (m)	3.5		
Longitud de Taco (m)	2.2			Longitud de Taco (m)	2.2		
VOD (m/s)				VOD (m/s)			
Tipo de Booster	Distancia 1 (3.4640 m.)	Distancia 2 (m.)	Distancia 3 (m.)	Tipo de Booster	Distancia 1 (0.7594 m.)	Distancia 2 (1.9792 m.)	Distancia 3 (0.3587m.)
3/4	5102.6	-	-	3/4	5162.2	4980.2	5061.7
Promedio	5102.6 m/s			Promedio	5068.0 m/s		

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Gráfico 9: Resultados VOD – Proyecto Piloto 11 - 4825



Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Proyecto 12 – Banco 4815 – Tajo Susan – Piloto Marzo

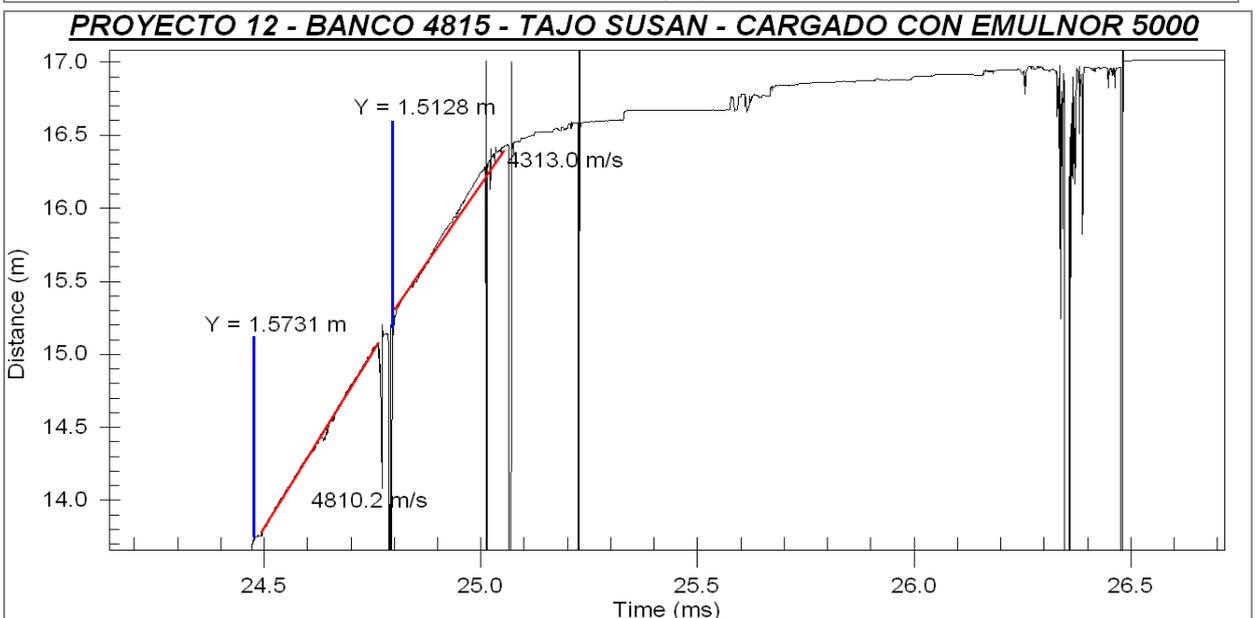
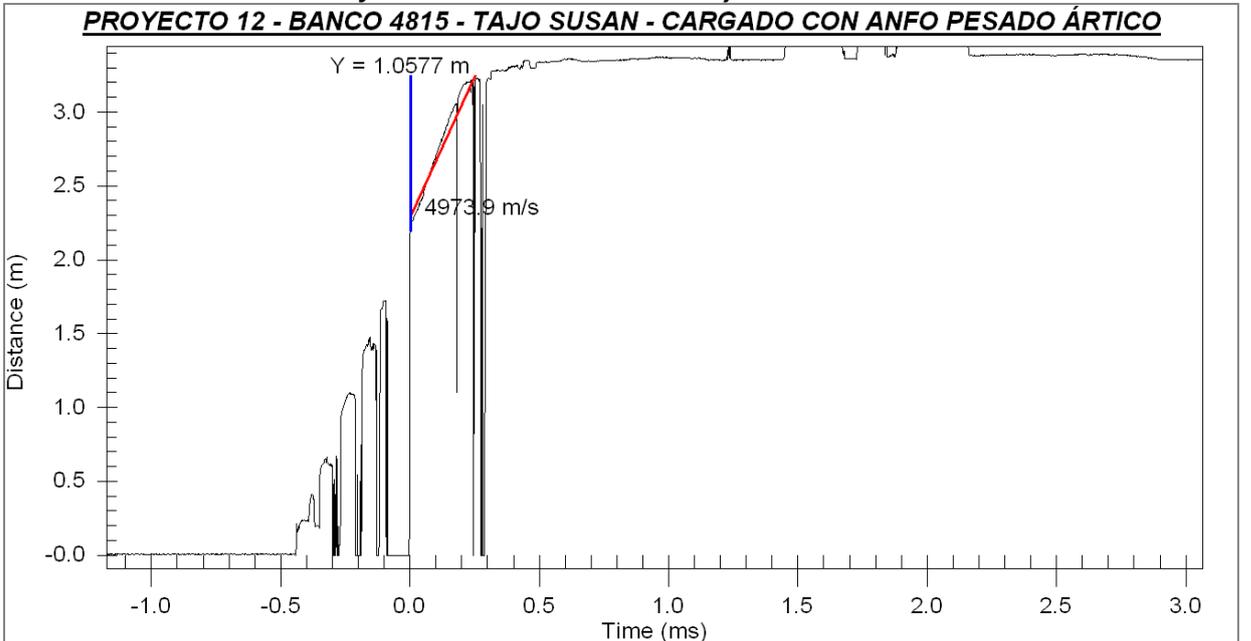
Tabla 26: Resultados VOD – Proyecto Piloto 12 - 4815

N° Taladro	198 (Con Agua)		
Altura Teórica (m)	5.5		
Altura Real (m)	5.1		
Explosivo Empleado	Anfo Pesado Ártico		
Densidad de Explosivo (g/cc)	1.195		
Altura de Carga (m)	3.8		
Longitud de Taco (m)	1.3		
VOD (m/s)			
Tipo de Booster	Distancia 1 (1.0577 m.)	Distancia 2 (m.)	Distancia 3 (m.)
3/4	4973.9	-	-
Promedio	4973.9 m/s		

N° Taladro	213 (Con Agua)		
Altura Teórica (m)	5.6		
Altura Real (m)	5		
Explosivo Empleado	Emulnor 5000		
Densidad de Explosivo (g/cc)	1.16		
Altura de Carga (m)	3.7		
Longitud de Taco (m)	1.3		
VOD (m/s)			
Tipo de Booster	Distancia 1 (1.5731 m.)	Distancia 2 (1.5128 m.)	Distancia 3 (m.)
3/4	4810.2	4313.0	-
Promedio	4561.6 m/s		

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Gráfico 10: Resultados VOD – Proyecto Piloto 12 - 4815



Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Proyecto 23 – Banco 4820 – Tajo Susan – Piloto Abril

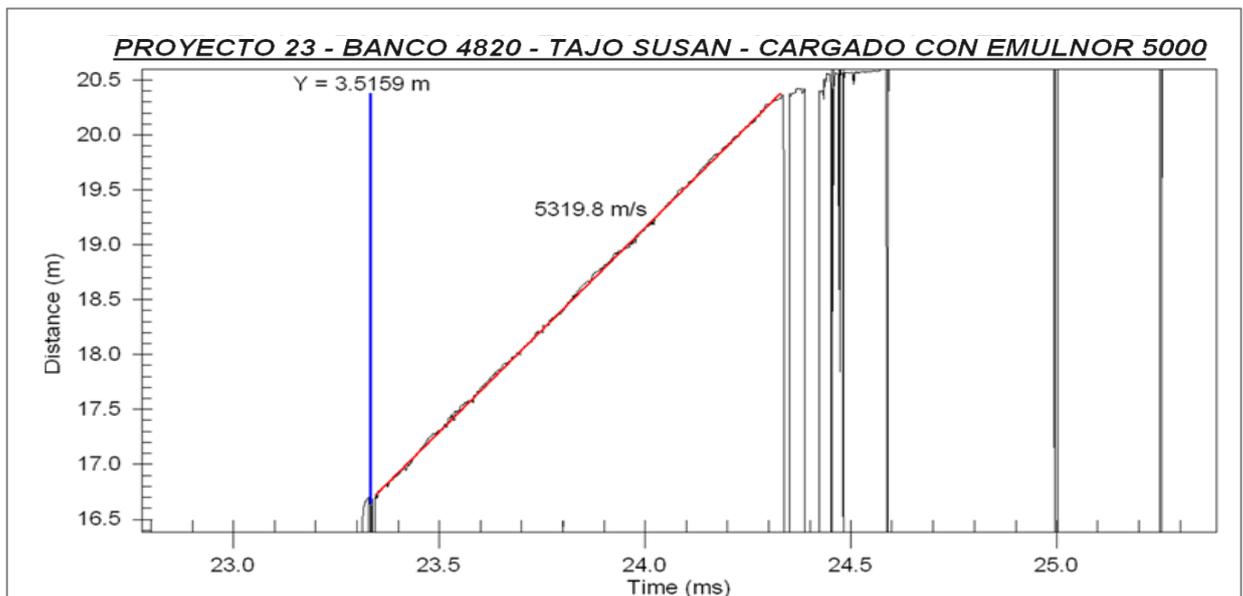
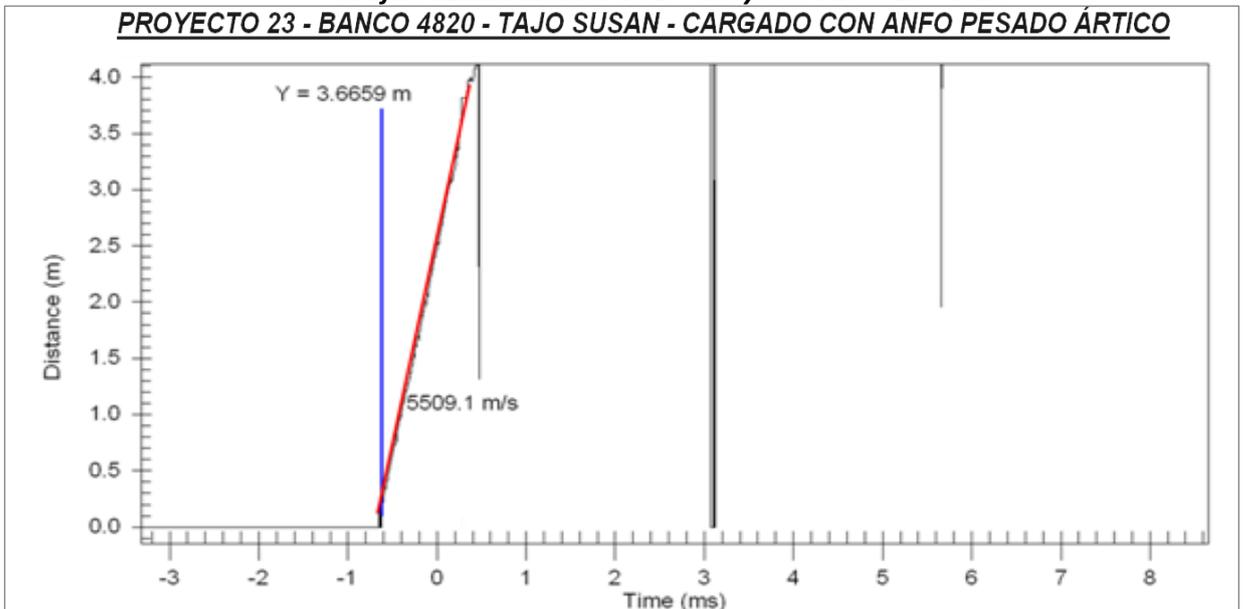
Tabla 27: Resultados VOD – Proyecto Piloto 23 - 4820

N° Taladro	328		
Altura Teórica (m)	5.7		
Altura Real (m)	5.7		
Explosivo Empleado	Anfo Pesado Ártico		
Densidad de Explosivo (g/cc)	1.19		
Altura de Carga (m)	4		
Longitud de Taco (m)	1.7		
VOD (m/s)			
Tipo de Booster	Distancia 1 (3.6659 m.)	Distancia 2 (m.)	Distancia 3 (m.)
3/4	5509.1	-	-
Promedio	5509.1 m/s		

N° Taladro	353		
Altura Teórica (m)	5.9		
Altura Real (m)	5.7		
Explosivo Empleado	Emulnor 5000		
Densidad de Explosivo (g/cc)	1.16		
Altura de Carga (m)	4		
Longitud de Taco (m)	1.7		
VOD (m/s)			
Tipo de Booster	Distancia 1 (3.5159 m.)	Distancia 2 (m.)	Distancia 3 (m.)
3/4	5319.8	-	-
Promedio	5319.8 m/s		

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Gráfico 11: Resultados VOD – Proyecto Piloto 23 - 4820



Fuente: Famesa Explosivos SAC.

4.2.2.4. Análisis de Fragmentación

Partiendo de la tendencia en cuanto a los resultados de fragmentación obtenidos en todo el 2019, se recabó información correspondiente al performance promedio, respecto al P80 obtenido en los proyectos de voladura ejecutados en el Tajo Susan, empleando el explosivo Emulnor 5000.

Del mismo modo se realizó el análisis de fragmentación de estos 4 proyectos piloto, cargados con Anfo Pesado Ártico, los cuales fueron disparados durante el periodo de enero a abril del presente.

La variación en las configuraciones de carga, así como el explosivo empleado reflejan la mejora en la reducción del tamaño pasante respecto al 80%. A continuación se presenta la evaluación resumen:

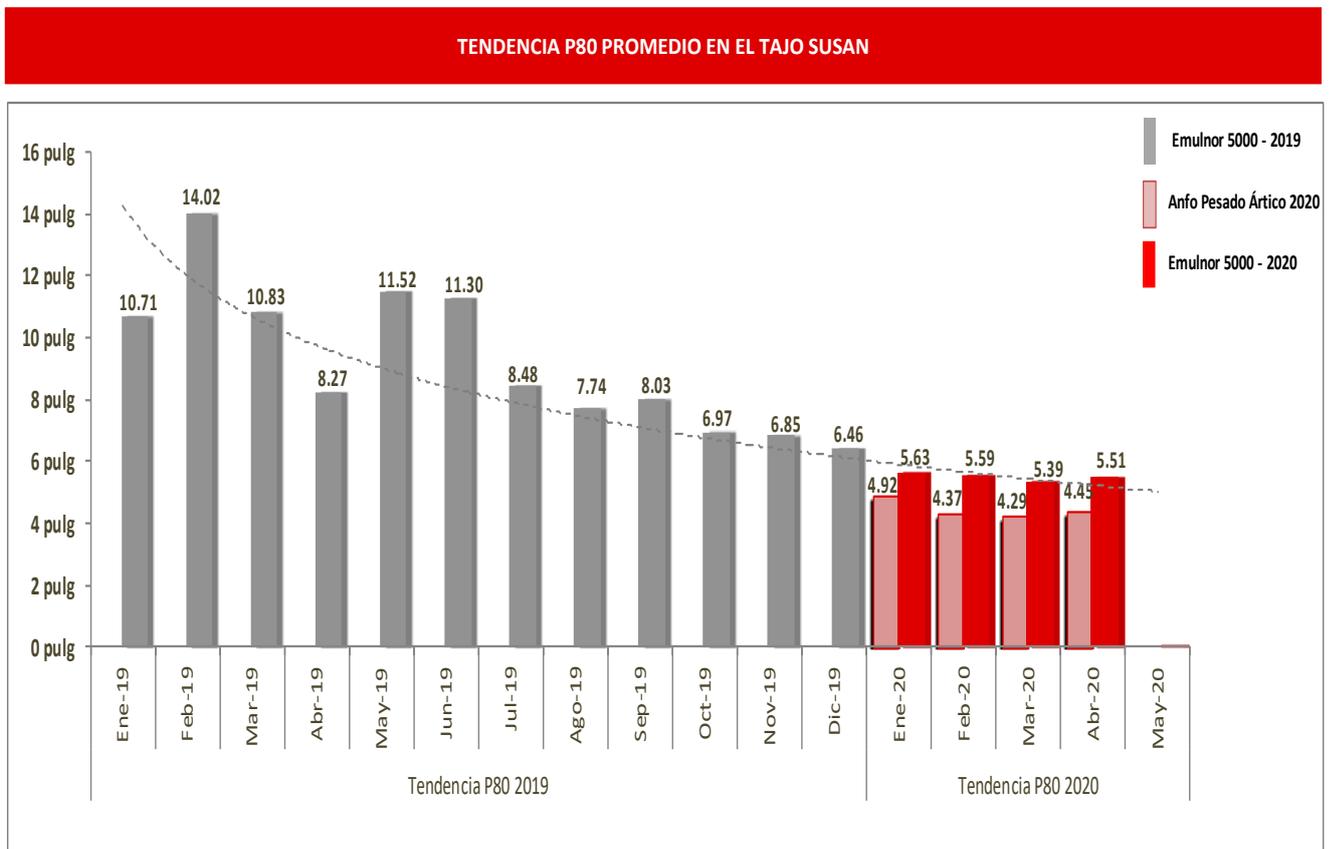
Tabla 28: Control de Fragmentación

MES	P80 PROMEDIO (PULG)	
	HEAVY ANFO ÁRTICO	EMULNOR 5000
Ene-19	-	10.71
Feb-19	-	14.02
Mar-19	-	10.83
Abr-19	-	8.27
May-19	-	11.52
Jun-19	-	11.30
Jul-19	-	8.48
Ago-19	-	7.74
Sep-19	-	8.03
Oct-19	-	6.97
Nov-19	-	6.85
Dic-19	-	6.46
Ene-20	4.92	5.63
Feb-20	4.37	5.59
Mar-20	4.29	5.39
Abr-20	4.45	5.51
May-20	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

Evaluando los resultados obtenidos, respecto al P80, se determina que en el mes de enero se percibe una reducción de 12.6%, el mes de febrero una reducción de 21.8%, en marzo un ajuste favorable de 20.4 % y en abril una disminución en el tamaño de los fragmentos en un 19.2 %. Se adjunta la data análisis portametrics en el anexo 5.

Gráfico 12: Evaluación P80



Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.5. Evaluación de Calidad de Humos

Después del análisis y revisión de fotografías y videos digitales, se determina que la clasificación de humos generados en los proyectos piloto evaluados,

corresponden al nivel 0, es decir, “no humos”. Del mismo modo, este aspecto no presenta ventajas, ni desventajas en cuanto a resultados en ambos escenarios, con los dos explosivos, y esto es reflejado en la no variación de resultados. Se puede apreciar que proyectos cargados tanto con el Anfo Pesado Ártico y Emulnor 5000, respectivamente, no causan repercusión en el ambiente, es decir, en ambos escenarios la calidad de humo es “0”. A continuación los registros piloto:

Figura 15: Clasificación de Humos

NIVEL	APARIENCIA TÍPICA
Nivel 0 No Humos	
Nivel 1 Leve, Humos de color amarillo	
Nivel 2 Menor, Humos color amarillo /anaranjado	
Nivel 3 Moderado, Humos color anaranjado	
Nivel 4 Significante, Humos color anaranjado	
Nivel 5 Mayor, Humos color rojo	

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

Figura 16: Evaluación de Calidad de Humos



Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3. Evaluación Económica del Anfo Pesado Ártico

Teniendo en cuenta valores económicos en la aplicación de ambos productos, con enfoque sólo en los costos unitarios en la ejecución del proyecto, mas no en la repercusión del mismo, post voladura, se denota un incremento en el ratio de costo de voladura por tonelada, empleando Anfo Pesado Ártico, sin embargo, este incremento inicial de ratio económico, contempla ciertos beneficios sobre su aplicación, los cuáles son, mejor fragmentación del material, por consiguiente, reducción de proyectos secundarios de voladura.

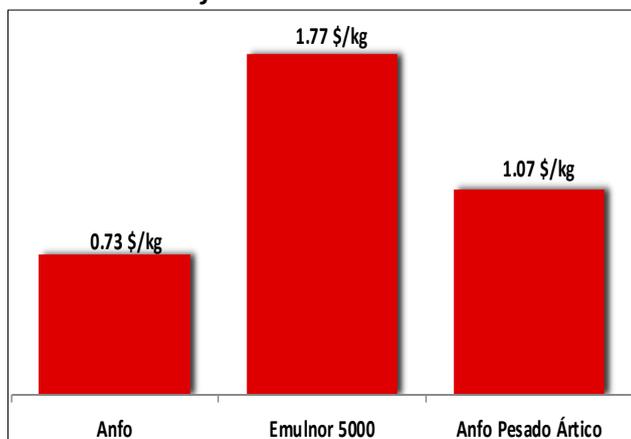
El foco en estudio está dirigido en la reducción de plasteo, el cual es obligado a ejecutarse para reducir el diámetro de los fragmentos generado a causa de la voladura, por ende, esto implica la utilización de recursos adicionales al costo unitario inicial de voladura, horas de trabajo empleadas, uso de maquinaria para el apilamiento del material, para el transporte de material retenedor de energía (barro); y de ciertos factores externos, como el debilitamiento de taludes, que requerirán trabajos de mantenimiento para el perfilado de los mismos y eso es lo que se pretende suprimir.

4.2.3.1. Precios Unitarios

Considerando precios de venta, teniendo en cuenta la producción y el flete de los productos a ofertar, establecidos por la empresa Famesa Explosivos SAC y

demandados oportunamente por Minera IRL – Corihuarmi, se prevé económicamente lo siguiente:

Gráfico 13: Precios Unitarios



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 29: Precios Unitarios

Producto	Costo Unitario
Emulnor 5000	1.77 \$/kg
Anfo Pesado Ártico	1.07 \$/kg
Anfo	0.73 \$/kg
Booster 3/4 (340 g)	2.67 \$/pza
Cordón 5P	0.18 \$/m
Guía de seguridad	0.19 \$/m
CTD	1.92 S/pza
Fanel Dual	2.87 \$/pza
Fulminante	0.17 \$/pza

Fuente: Famesa Explosivos SAC.

4.2.3.2. Evaluación del Costo de Voladura

Se recabó la información tendencia respecto a los costos promedio de voladura empleando tanto Emulnor 5000 y Anfo Pesado Ártico, respectivamente.

Esta evaluación se realiza teniendo en cuenta los costos ofertados por la Empresa Famesa Explosivos SAC., actual proveedor de explosivos de Minera IRL – Corihuarmi.

Para el consolidado general económico se está considerando también el costo de los sistemas de iniciación.

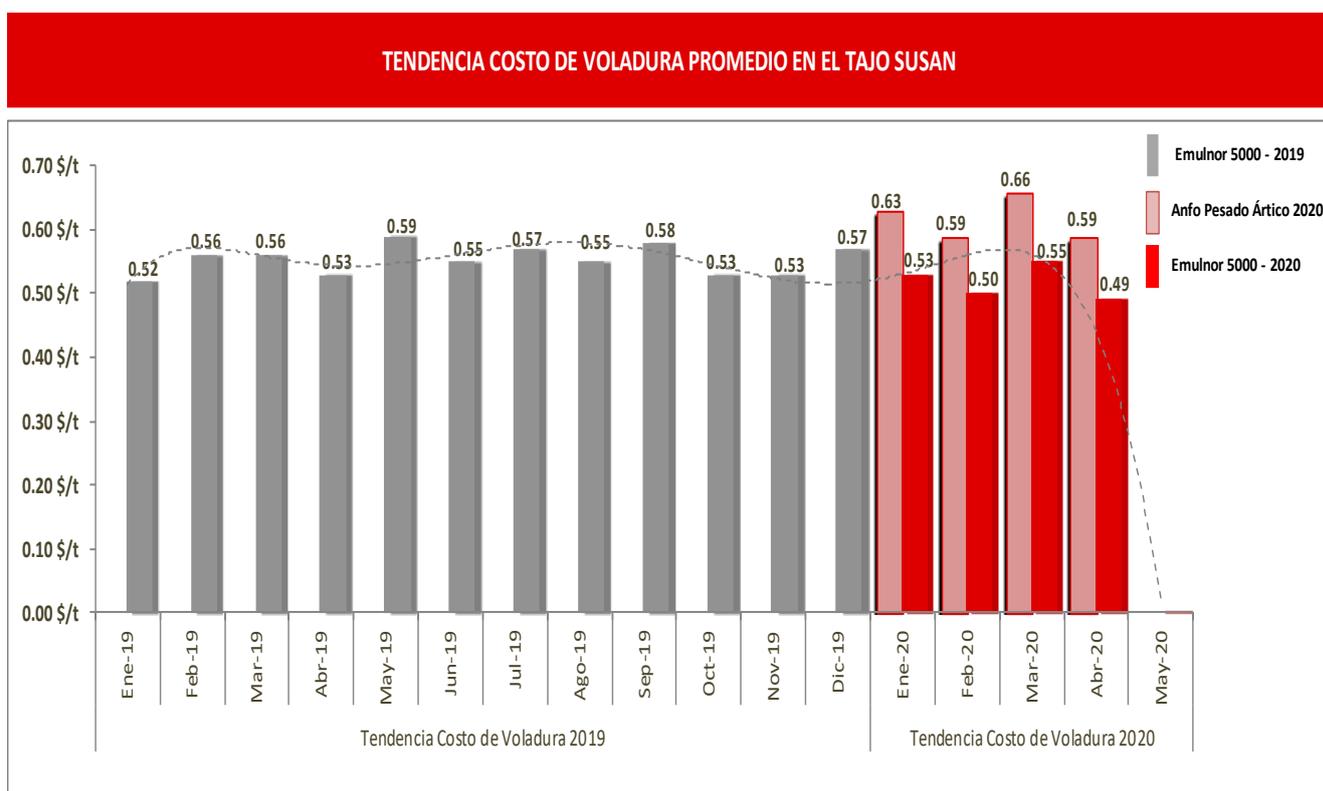
En los siguientes cuadros se presenta la variabilidad real de costos en ambos escenarios.

Tabla 30: Evaluación Costo de Voladura

MES	COSTOS VOLADURA PROMEDIO (\$/t)	
	HEAVY ANFO ÁRTICO	EMULNOR 5000
Ene-19	-	0.52
Feb-19	-	0.56
Mar-19	-	0.56
Abr-19	-	0.53
May-19	-	0.59
Jun-19	-	0.55
Jul-19	-	0.57
Ago-19	-	0.55
Sep-19	-	0.58
Oct-19	-	0.53
Nov-19	-	0.53
Dic-19	-	0.57
Ene-20	0.63	0.53
Feb-20	0.59	0.50
Mar-20	0.66	0.55
Abr-20	0.59	0.49
May-20	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 14: Evaluación Costo de Voladura



Fuente: Elaboración Propia.

Si bien es cierto los costos aplicados en los proyecto piloto, son superiores a los de la tendencia con Emulnor 5000, esto se justifica en la reducción de costos de voladura

secundarios, generados a partir de la mala fragmentación, es decir, el plasteo, por lo tanto este incremento es justificable y beneficioso para la mina.

Tabla 31: Análisis de Costos de Voladura

PROYECTO 20 - BANCO 4820 - TAJO SUSAN								
TONELAJE ESTIMADO (t)	24300							
PRODUCTO	FULMINANTE # 8 (und)	GUIA DE SEGURIDAD (und)	FANEL DUAL 17/800 (und)	FANEL CTD 42 (und)	BOOSTER 3/4 (und)	EMULNOR 5000 (caja 25kg)	HEAVY ANFO ÁRTICO (saco 20 kg)	COSTO TOTAL DE VOLADURA DEL PROYECTO (\$)
CANTIDAD	2	4	543	31	543	0	675	-
COSTO UNITARIO	0.17	0.19	2.87	1.92	2.67	44.25	18.25	-
COSTO TOTAL	0.34	0.76	1558.41	59.52	1449.81	0	12318.75	15387.59
COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/t)	0.63 \$/t							

PROYECTO 11 - BANCO 4825 - TAJO SUSAN								
TONELAJE ESTIMADO (t)	21400							
PRODUCTO	FULMINANTE # 8 (und)	GUIA DE SEGURIDAD (und)	FANEL DUAL 17/800 (und)	FANEL CTD 42 (und)	BOOSTER 3/4 (und)	EMULNOR 5000 (caja 25kg)	HEAVY ANFO ÁRTICO (saco 20 kg)	COSTO TOTAL DE VOLADURA DEL PROYECTO (\$)
CANTIDAD	2	4	467	21	467	0	550	-
COSTO UNITARIO	0.17	0.19	2.87	1.92	2.67	44.25	18.25	-
COSTO TOTAL	0.34	0.76	1340.29	40.32	1246.89	0	10037.5	12666.1
COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/t)	0.59 \$/t							

PROYECTO 12 - BANCO 4815 - TAJO SUSAN								
TONELAJE ESTIMADO (t)	25950							
PRODUCTO	FULMINANTE # 8 (und)	GUIA DE SEGURIDAD (und)	FANEL DUAL 17/800 (und)	FANEL CTD 25 (und)	BOOSTER 3/4 (und)	EMULNOR 5000 (caja 25kg)	HEAVY ANFO ÁRTICO (saco 20 kg)	COSTO TOTAL DE VOLADURA DEL PROYECTO (\$)
CANTIDAD	2	4	630	40	630	0	750	-
COSTO UNITARIO	0.17	0.19	2.87	1.92	2.67	44.25	18.25	-
COSTO TOTAL	0.34	0.76	1808.1	76.8	1682.1	0	13687.5	17255.6
COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/t)	0.66 \$/t							

PROYECTO 23 - BANCO 4820 - TAJO SUSAN								
TONELAJE ESTIMADO (t)	23500							
PRODUCTO	FULMINANTE # 8 (und)	GUIA DE SEGURIDAD (und)	FANEL DUAL 17/800 (und)	FANEL CTD 41 (und)	BOOSTER 3/4 (und)	EMULNOR 5000 (caja 25kg)	HEAVY ANFO ÁRTICO (saco 20 kg)	COSTO TOTAL DE VOLADURA DEL PROYECTO (\$)
CANTIDAD	2	4	525	26	525	0	600	-
COSTO UNITARIO	0.17	0.19	2.87	1.92	2.67	44.25	18.25	-
COSTO TOTAL	0.34	0.76	1506.75	49.92	1401.75	0	10950	13909.52
COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/t)	0.59 \$/t							

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3.3. Simulación de Análisis Económico Comparativo

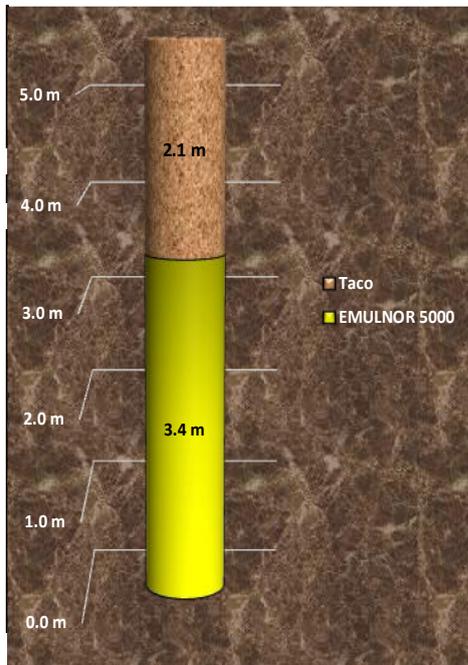
Se realizó empíricamente en gabinete, el planteamiento de dos escenarios posibles, teniendo en cuenta las mismas características de proyecto, pero considerando configuraciones de carga de Emulnor 5000 (escenario A) y de Anfo Pesado Ártico (escenario B).

Tabla 32: Datos Simulación Económica

Tajo	Susan
Proyecto	Piloto
Banco	4820
Densidad roca (g/cc)	2.23
# Taladros	350
Burden (m)	2.77
Espaciamiento (m)	3.2
Altura de Banco (m)	5
Sobreperforación (m)	0.5
Desviación de perforación (m)	0.2
Tonelaje Estimado (t)	25125

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 17: Diseño de Carga Emulnor 5000



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33: Diseño de Carga Emulnor 5000

ESCENARIO EMULNOR 5000	
CARGA POR TALADRO (kg/tal)	20
Altura de Carga (m)	3.4
Taco (m)	2.1

Fuente: Elaboración Propia.

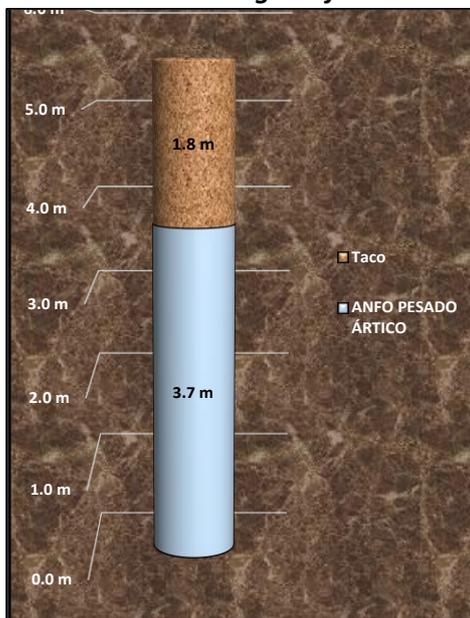
Tabla 34: Simulación de Costo Unitario de Voladura Primaria con Emulnor 5000

PRODUCTO	FULMINANTE #8 (und)	GUIA DE SEGURIDAD (und)	FANEL DUAL 17/800 (und)	FANEL CTD 0 (und)	FANEL CTD 42 (und)	BOOSTER 3/4 (und)	EMULNOR 5000 (caja 25kg)	HEAVY ANFO ÁRTICO (saco 20kg)	COSTO TOTAL DE VOLADURA DEL PROYECTO (\$)
CANTIDAD	2	4	350	3	20	350	280	0	-
COSTO UNITARIO	0.17	0.19	2.87	1.92	1.92	2.67	44.25	21.336	-
COSTO TOTAL	0.34	0.76	1004.5	5.76	38.4	934.5	12390	0	14374.26

COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/t)	0.57 \$/t
-----------------------------------	-----------

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18: Diseño de Carga Anfo Pesado Ártico



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 35: Diseño de Carga Anfo Pesado Ártico

ESCENARIO ANFO PESADO ÁRTICO	
CARGA POR TALADRO (kg/tal)	35.9
Altura de Carga (m)	3.7
Taco (m)	1.8

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 36: Simulación de Costo Unitario de Voladura Primaria con Anfo Pesado Ártico

PRODUCTO	FULMINANTE #8 (und)	GUIA DE SEGURIDAD (und)	FANEL DUAL 17/800 (und)	FANEL CTD 0 (und)	FANEL CTD 35 (und)	BOOSTER 3/4 (und)	EMULNOR 5000 (caja 25kg)	HEAVY ANFO ÁRTICO (saco 20kg)	COSTO TOTAL DE VOLADURA DEL PROYECTO (\$)
CANTIDAD	2	4	350	3	20	350	0	628	-
COSTO UNITARIO	0.17	0.19	2.87	1.92	1.92	2.67	44.25	21.336	-
COSTO TOTAL	0.34	0.76	1004.5	5.76	38.4	934.5	0	13404.342	15388.602

COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/t)	0.61 \$/t
-----------------------------------	-----------

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37: Simulación de Costo Promedio de Voladura Secundaria

COSTO PROMEDIO DE PLASTEО

TONELAJE ESTIMADO (t)	800
-----------------------	-----

PRODUCTO	FULMINANTE # 8 (und)	GUIA DE SEGURIDAD (und)	CORDÓN DETONANTE 5P (m)	SUPERFAM DOS (saco 25 kg)	EMULNOR 5000 (caja 25kg)	HEAVY ANFO ÁRTICO (saco 20kg)	COSTO TOTAL DE VOLADURA DEL PROYECTO (\$)
CANTIDAD	2	4	1000	0	15	0	-
COSTO UNITARIO	0.17	0.19	0.18	18.25	44.25	21.336	-
COSTO TOTAL	0.34	0.76	180	0	663.75	0	844.85

COSTO UNITARIO DE VOLADURA (\$/t)	1.06 \$/t
-----------------------------------	-----------

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar la evaluación correspondiente, en ambos escenarios, con distintos productos, considerando las condiciones reales del Tajo Susan, se determina la viabilidad técnico-económica, el empleo del explosivo Anfo Pesado Ártico, con evidencia en los resultados obtenidos a partir de su aplicación y el análisis cuantitativo de mejor eficiencia en los proyectos.

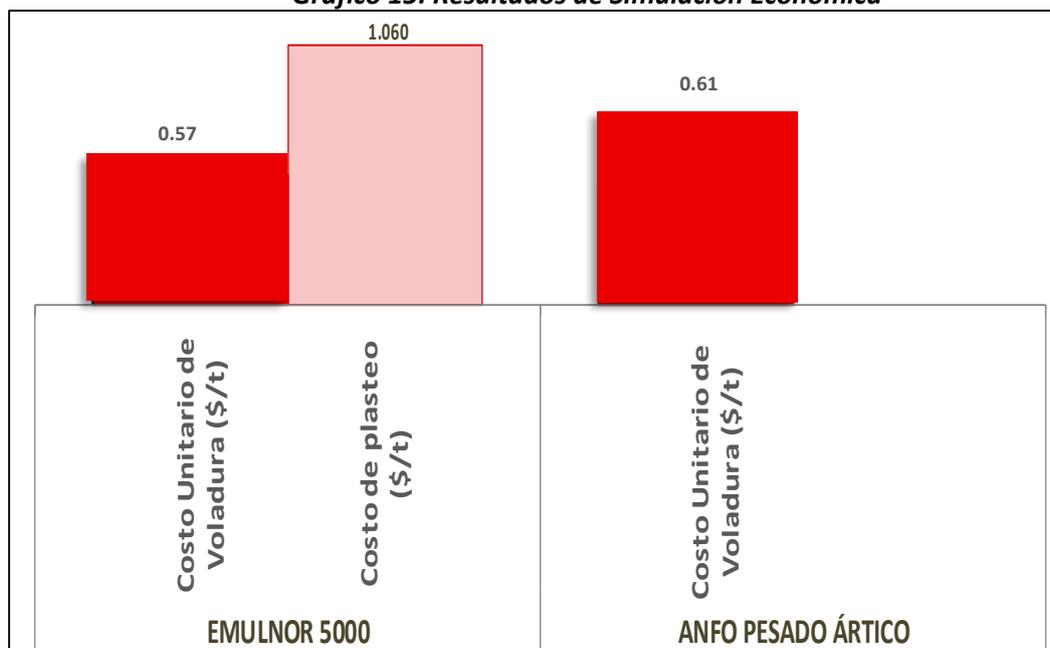
Si se implementa su aplicación, se percibirá un ahorro del 62.6% en cuanto a costos unitarios de voladura, minimización de fatiga física de personal por las tareas ejecutadas en el plasteo (carguío de barro en baldes), horas trabajadas priorizando proyectos primarios.

Tabla 38: Análisis de Simulación Económica

	DENSIDAD DE EXPLOSIVO (g/cc)	CARGA LINEAL (kg/m)	VOD PROMEDIO (m/s)	FACTOR POTENCIA (kg/t)	FACTOR CARGA (kg/m3)	COSTO DE VOLADURA	COSTO DE SECUNDARIO (\$/t)	COSTO TOTAL (\$/t)
EMULNOR 5000	1.16	9.4	5000	0.30	0.67	0.57	1.06	1.63
ANFO PESADO ÁRTICO	1.20	9.7	5300	0.50	1.12	0.61	0	0.61
DIFERENCIA	0.04	0.30	300.00	0.20	0.45	0.04	-1.06	-1.02
DIFERENCIA PORCENTUAL				↑ 66.7%	↑ 66.7%	↑ 7.0%	-100.0%	↓ -62.6%

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 15: Resultados de Simulación Económica



Fuente: Elaboración Propia.

Si consideramos la supresión total de las voladuras secundarias e incluimos los precios ofertados por el nuevo producto, se obtendría un ahorro anual de más de un millón de dólares, solo teniendo en cuenta el ciclo de voladura, sin embargo, esto podría significar más aspectos de ahorro si consideramos incrementar la malla de voladura, se reduciría costos de perforación, de voladura y costos en personal, etc.

Tabla 39: Resultados de Simulación Económica

ITEM	EMULNOR	ANFO PESADO ÁRTICO
COSTO ACTUAL POR TONELADA (\$/t)	1.63	0.61
AHORRO (\$/t)	1.02	
PRODUCCIÓN MENSUAL PROMEDIO MINA (t/mes)	120000	
AHORRO MENSUAL (\$/mes)	122400	
AHORRO ANUAL (\$/año)	1,468,800	

Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Prueba de Hipótesis General

Teniendo en cuenta el planteamiento de la hipótesis general “La sustitución del explosivo matriz actual, Emulnor 5000, por el propuesto en este caso, Anfo Pesado Ártico, significa un patrón esencial en la disminución de KPI’s económicos, específicamente en costos de voladura del Tajo Susan en Minera IRL – Corihuarmi.”

A partir de los resultados obtenidos de determina una variación favorable en los indicadores, es decir, un ahorro anual significativo en el proceso. Teniendo en cuenta los costos anuales en ambos escenarios se proyecta:

Gráfico 16: Proyección Ahorro en Costo de Voladura Anual



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 40: Proyección Ahorro en Costo de Voladura Anual

ITEM	ACTUAL - EMULNOR 5000 (\$/año)	PROYECTADO - ANFO PESADO ÁRTICO (\$/año)	AHORRO (\$/año)
COSTO DE VOLADURA ANUAL	2347200	878400	1468800

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2. Prueba de Hipótesis Secundaria

Se emplea principios de estadística inferencial para su determinación, y evaluar la probabilidad de éxito de la hipótesis planteada. Se evalúa la hipótesis secundaria “Considerando la tendencia de resultados cuantitativos de voladuras ejecutadas con el explosivo Emulnor 5000, en el tajo en estudio, se aprecia la variación favorable de valores respecto al P80 (80 % pasante), a partir de la aplicación del Anfo Pesado Ártico.”, se demuestra esta hipótesis teniendo en cuenta la información recabada.

Se realiza el análisis de prueba de hipótesis para una media y este se evalúa teniendo en cuenta el promedio P80 obtenido en el Tajo Susan empleando el Anfo Pesado Ártico. De dónde se definen la hipótesis nula e hipótesis alterna.

h_0 = El promedio P80 pasante es mayor o igual a 5 pulgadas.

$$h_0 \geq 5$$

h_1 = El promedio P80 pasante es menor a 5 pulgadas.

$$h_0 < 5$$

Tabla 41: Muestras P80

Muestra	P80 (pulg)
Enero	4.92
Febrero	4.37
Marzo	4.29
Abril	4.45

Fuente: Elaboración Propia.

Media poblacional (μ) = 5

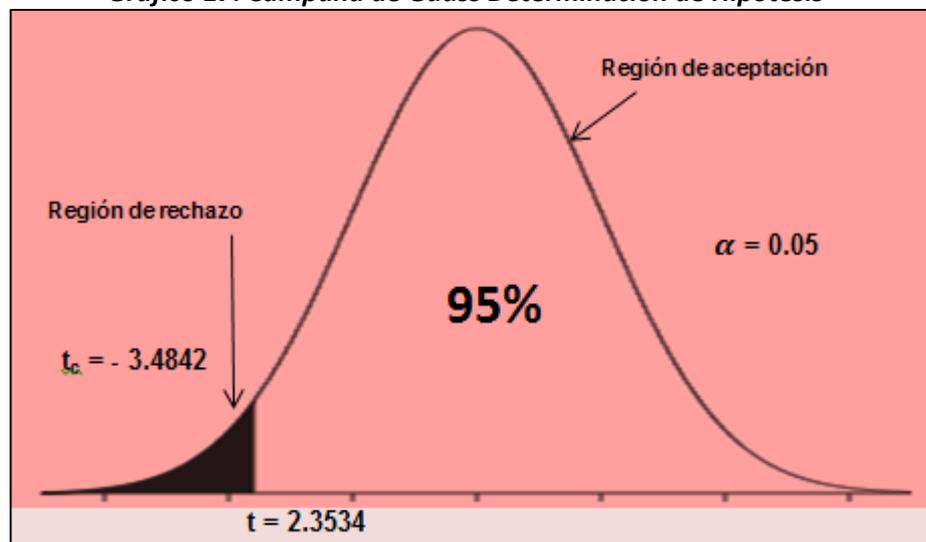
Nivel de significancia (α) = 5%

Grados de libertad (gl) = 3
Media (\bar{x}) = 4.5075
Desviación Estándar (s) = 0.2827
Región Crítica (t) = 2.3534

Considerando que es un estudio con menor a 30 datos, emplearemos la T de student, como ecuación para determinar si la hipótesis se rechaza o no.

$$t_c = \frac{\bar{x} - u}{s / \sqrt{n}}$$
$$t_c = \frac{4.5075 - 5}{0.2827 / \sqrt{4}}$$
$$t_c = -3.4842$$

Gráfico 17: Campana de Gauss Determinación de Hipótesis



Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar el análisis correspondiente se determina que la hipótesis nula se rechaza, por lo tanto la hipótesis alterna es

idónea en la variación de P80 favorable en resultados de fragmentación.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación denominado “Evaluación Técnica – Económica de la aplicación del Anfo Pesado Ártico para reducir los índices P80 de fragmentación, en el Tajo Susan, Minera IRL – Unidad Corihuarmi”, determinan ventajas en los aspectos técnicos y económicos, esto debido a la moderación significativa de KPI’s económicos, en los costos de voladura; del mismo modo, en los indicadores de fragmentación, valores de P80.

Considerando precedentes de proyectos de investigación similares, y relacionándolo al proyecto de investigación denominado: “Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de los costos de voladura en tajo de la mina Toquepala” (Francisco Yana, 2017); cuyos estudios determinan una reducción del P80 en un 4.40%.

(Beraun Anco, 2019), en su tesis “Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada”, presenta resultados de mejora en resultados de P80, con una mejora del 26%.

(Wilmer García, 2017) Del mismo modo en su proyecto de investigación “Mejoramiento del proceso de voladura, mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada SAN-G en el Tajo Chalarina de la Mina Shahuindo – Cajabamba”, establece una

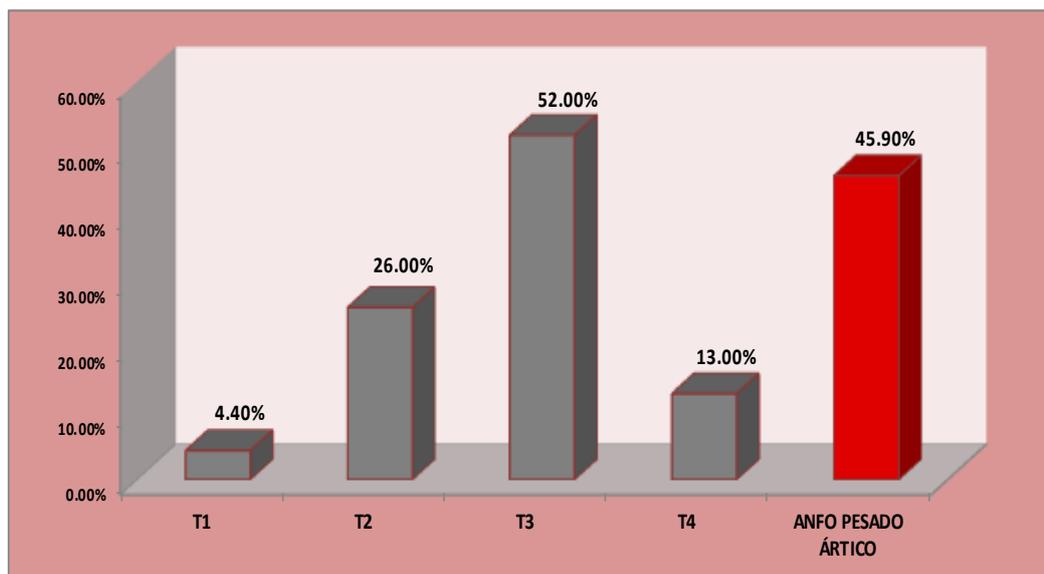
óptima reducción en el tamaño de los fragmentos, por consiguiente, los índices de P80 obtuvieron una sólida mejora de hasta el 52%.

(Cesar Pocoy, 2017) Por último, en la presentación de su tesis titulada “Análisis de Factibilidad para el uso de Anfo Pesado a base de Emulsión Gasificable en la UNACEM”, muestra resultados de mejora en un 13% respecto al P80.

En nuestro proyecto se obtiene una mejora de hasta el 45.9% en valores de P80. Además, cabe resaltar que en las tesis mencionadas, se realiza la evaluación de distintos explosivos, en distintos escenarios, sin embargo, las condiciones de cada mina son distintas, pero los resultados terminan siendo satisfactorios en todos los presentados.

Evidentemente el de mayor eficiencia es la tesis que abarca explosivos gasificables SAN – G, presentado por Wilmer García, esto es totalmente cierto, sin embargo, el costo de implementación de carguío de ese sistema para una mina pequeña como Minera IRL – Corihuarmi, no sustentaría tal inversión, por ende, se decide por un Anfo Pesado adecuado a las condiciones de la mina.

Gráfico 18: Discusión de resultados



Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

1. El factor potencia promedio obtenido en los proyecto piloto cargados exclusivamente con Anfo Pesado Ártico es 0.54 kg/t, con respecto a un factor potencia promedio 0.49 kg/t cargados en la actualidad con Emulnor 5000, representa un incremento en el 10.2% del factor potencia actual.
2. El costo de voladura promedio obtenido en los proyecto piloto cargados exclusivamente con Anfo Pesado Ártico es 0.61 \$/t, con respecto a un costo de voladura promedio 0.54 \$/t cargados en la actualidad con Emulnor 5000, representa un incremento en el 12.9% del costo de voladura actual.
3. La VOD promedio obtenida en los proyecto piloto cargados exclusivamente con Anfo Pesado Ártico es 5311.15 m/s, con respecto a una VOD promedio 5015.28 m/s cargados en la actualidad con Emulnor 5000, representa un performance superior en un 5.9%.
4. Los resultados de fragmentación presentan indicadores alentadores respecto a la tendencia en resultados de P80 obtenidos con proyectos cargados con Emulnor 5000; el P80 promedio obtenido en los piloto es de 4.51 pulgadas, mientras que normalmente se obtenía índices de P80 de 8.33 pulgadas en promedio, lo cual representa una reducción en el tamaño de los fragmentos positivamente en un 45.9%.
5. Teniendo en cuenta la clasificación de humos en voladura a tajo abierto, en ambos escenarios el resultado es ventajoso, es decir, se encuentran dentro del nivel 0, el cual indica la presencia de "No Humos".

6. Siguiendo la tendencia de ratios de la mina, se determina que el costo de voladura promedio del secundario "plasteo" es de 1.06 \$/t.
7. Considerando el costo de voladura del plasteo de \$ 1.06 \$/t y el costo promedio de los proyectos primarios equivalente a \$ 0.54 \$/t, se obtiene un costo de voladura total de 1.6 \$/t, empleando única y exclusivamente el explosivo Emulnor 5000 y evaluando con la aplicación del nuevo producto, cuyo costo de voladura promedio es \$0.61 \$/t, indicaría una sólida y considerable reducción en un 61.9% del costo, valor que se asemeja a los valores obtenidos en la simulación económica 62.6%.
8. De acuerdo a los estudios realizados, se determina que se obtendrá un ahorro de 0.99 \$/t a 1.02 \$/t, lo cual representa un ahorro mensual de \$122'400, y anualmente un ahorro de \$ 1'468'800, por ende, una sólida reducción en los costos de voladura.
9. Si bien es cierto en los primeros parámetros obtenidos a partir de la evaluación, específicamente, factor potencia y costo de voladura, indican, aparentemente un incremento en la variación cuantitativa de valores, sin embargo, este aumento en los resultados se sustenta con resultados cualitativos de fragmentación, ya que se obtiene mejoría en el tamaño de los fragmentos, el cual está asociado a los costos adicionales de voladura secundaria.
10. La presentación del Anfo Pesado Ártico, actualmente se realiza en sacos de 20 kg, y al ser un explosivo del tipo granular, éste es difícil de almacenar en los polvorines, ya que el apilamiento resulta tedioso, debido a la no estabilidad de las mismas. Su almacenamiento es complejo.

RECOMENDACIONES

1. A partir de los resultados positivos obtenidos en las pruebas realizadas, se determina implementar la aplicación de Anfo Pesado Ártico como explosivo principal de los proyectos de voladura, prioridad Tajo Susan.
2. Solicitar a la empresa proveedora del material explosivo, en este caso Famesa Explosivos SAC, la modificación de la presentación del Anfo Pesado Ártico, el cual actualmente es producido en sacos de 20 kg, por lo tanto se recomienda una modificación más conveniente, y la más viable según sondeos a los trabajadores, por la facilidad en su manipulación y por caracteres ergonómicos, esta nueva sería en presentación encapsulada en envolturas tipo salchichas y/o cartuchos en diámetros de 3.5 a 4 pulgadas y ensambladas en cajas, para su simplicidad en el almacenamiento.
3. Es imprescindible realizar el control constante a las alturas reales de las longitudes de taladros, antes y durante el carguío de los mismos, para así determinar la eficiencia de perforación, y corregir deficiencias.
4. Evitar la ejecución de proyectos secundarios, plasteos, cerca de los taludes, para prevenir futuros deslizamientos a causa del debilitamiento de las estructuras.
5. Del mismo modo, se recomienda llevar a cabo un registro de calidad, en el cual se debe anotar las longitudes finales de taco y la cantidad de carga real a emplear en los taladros.

- 6.** Se solicita realizar un replanteamiento en el planeamiento de ejecución de la perforación de los proyectos, es decir, antes de la perforación, realizar la zonificación de las mallas de perforación, en polígonos, según características litológicas y/o ley mineral / desmonte, por consiguiente, configuraciones de carga para cada zona, actualmente se está unificando el diseño de carga para todo el proyecto.
- 7.** Implementación de control de pisos post voladura, para esto, exigir la reperfusión de los taladros cuya longitud se encuentra por debajo de lo planteado, evitar la presencia de taladros cortos.
- 8.** Se recomienda asignar los trabajos de perforación de los proyectos al área de operaciones mina, actualmente lo realiza el área geología, se está escatimando costos en el no cumplimiento, ni en el control eficiente de las longitudes finales de corte de los taladros.
- 9.** Además de la evaluación de resultados de fragmentación a partir de medios digitales, como las fotografías, también existen pruebas alternas de medición de las mismas, las cuales nos permiten determinar la calidad y porcentaje de finos obtenidos en los proyectos de voladura, este proceso consiste en realizar tamizaje de los fragmentos en distintas mallas metálicas de distintas dimensiones.
- 10.** Verificar y evaluar el correcto control de aseguramiento y de calidad (QA/QC) del carguío de los proyectos de voladura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Linares Carrasco, (2013). Estudio sobre la medida de la velocidad de detonación. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid.*
- Paulina Hernández, (2019). Estudio Comparativo de la Sobre-excavación en Desarrollos Horizontales con Anfo versus desarrollos realizados con Emulsión en la mina esmeralda, División El Teniente, Codelco. *Escuela de Minería y Metalurgia de la Universidad Técnica Federico Santa María de Viña del Mar.*
- Francisco Yana, (2017). Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de los costos de voladura en tajo de la mina Toquepala. *Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.*
- Beraun Anco, (2019). Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336 - Sociedad Minera El Brocal Colquijirca. *Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental.*
- Wilmer García, (2017). Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba. *Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Trujillo.*

Cesar Pocoy, (2017). Análisis de la Factibilidad para el uso de Anfo Pesado a base Emulsión Gasificable en la UNACEM. *Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.*

Ministerio de Energía y Minas del Perú, (2018). Un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la voladura de rocas. *Editorial Luis Rojas Linares.*

Abel Eduardo Anchorena López, (2015). Modelo predictivo de fragmentación y su aplicación en una matriz de decisión. *Perumin 32.*

Felipe Orellana, (2012). Modelo predictivo de fragmentación. *Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.*

Villalba Montoya, (2015). Modelo predictivo de fragmentación. *ENAEX.*

Cameron Mckenzie, (1994). Estado del arte de la tronadura. *ENAEX.*

Famesa Explosivos SAC, (2019). Catálogo de explosivos, agentes y sistemas de iniciación. *Famesa Explosivos SAC.*

Lopez Jimeno, (2019). Manual de voladura. *Famesa Explosivos SAC.*

Lopez Jimeno, (2001). Manual de voladura. *EXSA.*

Andina Exploraciones, (1996). Estudio Geológico y Estructural. *Minera IRL – Corihuarmi.*

Motionmetrics, (2016). Manual de Portametrics.

Split, (2012). Manual de Software Split Desktop.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	DISEÑO	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA
Evaluación Técnica - Económica de la aplicación del Anfo Pesado Ártico para reducir los índices P80 de fragmentación en el Tajo Susan, Minera IRL - Unidad Corihuarmi.	PROBLEMA GENERAL: ¿Cómo mitigamos los costos colaterales que se invierten en el uso de explosivo adicional, empleado en la ejecución de voladuras secundarias (ya sea por plasteo o por cachorro), en el Tajo Susan, de Minera IRL – Unidad Corihuarmi, a partir de la evaluación entre el explosivo utilizado actualmente, Emulnor 5000, con el Heavy Anfo Ártico?	OBJETIVO GENERAL: Aminorar favorablemente los KPI's económicos operativos, específicamente los valores cuantitativos correspondientes a costos de voladura; esto generado, a partir de la sustitución del explosivo matriz actual Emulnor 5000, por el propuesto, en este caso, el Anfo Pesado Ártico en el Tajo Susan – Minera IRL –	HIPÓTESIS GENERAL: _La sustitución del explosivo matriz actual, Emulnor 5000, por el propuesto en este caso, Anfo Pesado Ártico, significa un patrón esencial en la disminución de KPI's económicos, específicamente en costos de voladura del Tajo Susan en Minera IRL – Corihuarmi.	VARIABLE INDEPENDIENTE: _Selección del explosivo matriz empleado en la ejecución de los proyectos de voladura en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi. VARIABLE DEPENDIENTE: _Reducción favorable de índices operacionales, correspondientes al proceso de voladura en el Tajo Susan – Minera IRL – Corihuarmi.	_Carguío de taladros en los proyectos de voladura del Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi. _Rendimiento superlativo del explosivo Anfo Pesado Ártico respecto al Emulnor 5000. _Variación favorable respecto a KPI's económicos en el Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi. _Disminución en ejecución de proyectos de voladuras secundarias en el Tajo Susan - Minera IRL - Corihuarmi.	_Moderación de valores de Factor Potencia (kg/t). _Moderación de valores de Velocidad de Detonación "VOD" (m/s). _Moderación de calidad de humos (0, 1, 2, 3, 4, 5). _Moderación de valores de 80% pasante "P80" (pulg). _Moderación de valores de Porcentaje de Gruesos (%). _Moderación en Costos Unitarios de voladuras primarias (\$/t). _Moderación en Costos Unitarios de voladuras secundarias (\$/t). _Cantidad de proyectos de voladuras secundarias (Voladuras secundarias / mes).	_Tipo analítico - inductivo, de carácter cuantitativo, experimental.	_Recabación de información real. _Evaluación de tendencias en los KPI's. _Seguimiento in situ, pre y post voladura. _Análisis de datos.	_Worksheet operaciones mina. _Software especializado de fragmentación. _Equipos de medición de VOD. _Portametrics.	POBLACIÓN: _La matriz conjunto de la población, abarca a todos los Tajos en explotación de Minera IRL – Corihuarmi. MUESTRA: _La muestra a considerar en la ejecución del presente proyecto abarca a todos los proyectos de voladura ejecutados con EMULNOR 5000 y con HEAVY ANFO ÁRTICO en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi.
	PROBLEMAS ESPECÍFICOS: _¿La sustitución del explosivo matriz actual, Emulnor 5000, por el propuesto en este caso, Anfo Pesado Ártico; influye en los resultados post voladura; por consiguiente, en los KPI's económicos, específicamente en los costos de voladura del Tajo Susan – Minera IRL - Corihuarmi? _¿Es posible que un explosivo de características inferiores respecto a sus parámetros, pueda generar mejor performance en la evaluación de los resultados post voladura y así mitigar la ejecución de voladuras secundarias en el Tajo Susan – Minera IRL - Corihuarmi? _¿Se reducen porcentajes de gruesos a partir de un explosivo, cuyo performance es inferior a condiciones normales, sin embargo, a bajas temperaturas, es óptimo?	OBJETIVOS ESPECÍFICOS: _Moderar los valores cuantitativos de P80 (80% pasante), generados en los proyectos de voladura cargados en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi, a partir de la sustitución de explosivo matriz actual, por el propuesto Anfo Pesado Ártico. _Mitigar la ejecución de voladuras secundarias constantes, ya sea por plasteo o cachorro, en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi. _Disminuir el porcentaje de gruesos producto de las voladuras primarias en el Tajo Susan, Minera IRL – Corihuarmi.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS: _Considerando la tendencia de resultados cuantitativos de voladuras ejecutadas con el explosivo Emulnor 5000, en el tajo en estudio, se aprecia la variación favorable de valores respecto al P80 (80 % pasante), a partir de la aplicación del Anfo Pesado Ártico. _Los tiempos de carguío del proceso de voladura se minimizan significativamente, debido a la no realización de carguío, ni ejecución de voladuras secundarias (ya sean por plastas o cachorros). _Se reduce el porcentaje de gruesos	VARIABLE INTERVINIENTE: _Eficiencia de personal encargado en el diseño de carga y secuencia de salida. _Experiencia de personal encargado en la realización del carguío. _Temperatura local en la zona de carguío.						

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 2: Hoja de Trabajo de Verificación de Taladros



MINERA IRL - CORIHUARMI

ID TALADRO	ALTURA COF	ALTURA REJ	OBSERVACIONES	ID TALADRO	ALTURA COF	ALTURA REJ	OBSERVACIONES	ID TALADRO	ALTURA COF	ALTURA REJ	OBSERVACIONES	ID TALADRO	ALTURA COF	ALTURA REJ	OBSERVACIONES
1	5.8	4.9	Reperforar	27	6	5.8		53	5.7	5.9		79	5.9	5.9	
2	5.8	5.8		28	6	6.3		54	5.8	5.8		80	5.6	5.6	
3	5.8	5.2	Reperforar	29	6	5.3	Reperforar	55	5.8	5.8		81	5.8	5.8	
4	5.8	6.1		30	6	5.7		56	5.7	5.7		82	5.7	5.7	
5	5.7	6		31	6	6.2		57	5.8	5.9		83	5.5	5.6	
6	5.7	0.7	Reperforar	32	6.1	5.8		58	5.8	5.7		84	5.5	5.7	
7	5.8	6.2		33	6	6.1		59	5.8	6.2		85	5.6	5.9	
8	5.9	6.1		34	5.9	5.2	Reperforar	60	5.8	6		86	5.5	5.6	
9	5.9	5.9		35	5.9	6		61	5.9	5.8		87	5.6	5.8	
10	6	6.1		36	5.9	6.1		62	5.9	6.3		88	5.6	5.6	
11	6	0.5	Reperforar	37	6	6.2		63	6	6		89	5.7	5.8	
12	6.1	6.2		38	6	6.4		64	5.8	5.8		90	5.6	5.9	
13	6	6		39	5.9	6		65	5.9	6		91	5.9	6.3	
14	6.1	5.8		40	5.9	5.9		66	5.9	6.2		92	5.9	5.6	
15	6.1	6.1		41	5.9	6.2		67	6.2	6.2		93	5.9	6	
16	6.5	6.5		42	5.9	5.6		68	5.9	5.6		94	5.9	5.9	
17	6.1	6.2		43	6	5.6		69	5.9	6		95	5.9	5.9	
18	6.1	6.1		44	6	6.1		70	5.9	5.9		96	5.9	6.1	
19	6	6.1		45	6	5.9		71	5.9	5.7		97	5.9	5.9	
20	6	6.2		46	5.9	5.8		72	5.8	5.9		98	5.9	5.9	
21	5.9	5.5		47	5.8	5.7		73	5.8	5.9		99	5.9	5.8	
22	6.3	6.3		48	5.8	5.8		74	5.7	5.6		100	5.8	5.7	
23	6	6.2		49	5.8	5.6		75	5.7	5.9		101	5.8	5.5	
24	6	0.5	Reperforar	50	5.8	5.6		76	5.7	5.6		102	5.6	5.7	
25	6	5.9		51	5.8	5.8		77	5.8	5.8		103	5.6	5.7	
26	6	6.1		52	5.7	5.6		78	5.6	5.8		104	5.6	5.6	

Fuente: Elaboración Propia.

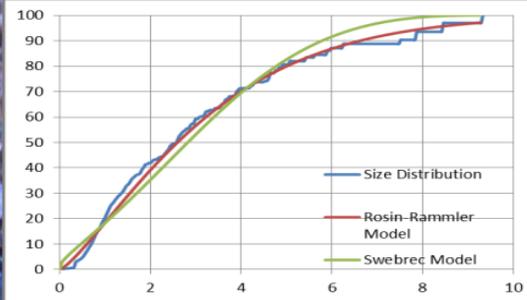
Anexo 3: Worksheet Voladura de Minera IRL - Corihuarmi

CONSUMO DE EXPLOSIVOS																								
DISPARO	MOVIMIEN TOS	Año	FECHA	Fulminante # 8 (unidad)	Fanel dual 17/500 ms	Fanel Dual 17/800ms	Total Fanel Dual	Fanel CTD 0 ms	Fanel CTD 25 ms	Fanel CTD 35 ms	Fanel CTD 42 ms	Fanel CTD 65 ms	Fanel CTD 109 ms	Total CTD	Total Detonado res (un ^{idad})	Mecha lenta (m)	Cordon Detonante (m)	Booster 3/4 (unidad)	EMULNOR 3000 (kg)	EMULNOR 5000 (kg)	Total Emulnor (kg)	Emulfrag (kg)	Pe	
SECUNDAR	ENERO	2020	05-ene	2			0							0	0	4	1,000			300	300			
SECUNDAR	ENERO	2020	06-ene	2			0							0	0	4	1,500	51		750	750			
SECUNDAR	ENERO	2020	07-ene	2			0							0	0	4	1,250			350	350			
SECUNDAR	ENERO	2020	08-ene	2			0							0	0	4	2,000			125	125			
SECUNDAR	ENERO	2020	08-ene	2			0							0	0	4	400			125	125			
SECUNDAR	ENERO	2020	09-ene	2			0							0	0	4	1,700					-		
PRIMARIO	ENERO	2020	10-ene	1		386	386				20			20	406	2		386				-		
PRIMARIO	ENERO	2020	10-ene	1		50	50				6			6	56	2		50					-	
PRIMARIO	ENERO	2020	11-ene	1		76	76	5			12			12	105	2		76					-	
PRIMARIO	ENERO	2020	11-ene	1		152	152				12			11	175	2		152					-	
PRIMARIO	ENERO	2020	12-ene	1		379	379	5			12	30		47	426	2		379					-	
PRIMARIO	ENERO	2020	12-ene	1		25	25				12	6		18	43	2		25					-	
PRIMARIO	ENERO	2020	14-ene	1		441	441			43				43	484	2		441		7,025	7,025			
PRIMARIO	ENERO	2020	14-ene	1		70	70			35				35	105	2		70		1,100	1,100			
SECUNDAR	ENERO	2020	15-ene	2			0							0	0	4	1,000			225	225			
PRIMARIO	ENERO	2020	16-ene	1		60	60	5			12	10		27	87	2		60		425	425			
PRIMARIO	ENERO	2020	16-ene	1		138	138				12	13		25	163	2		138		950	950			
SECUNDAR	ENERO	2020	17-ene	2			0							0	0	4	1,750			450	450			
SECUNDAR	ENERO	2020	18-ene	2			0							0	0	4	900			300	300			
SECUNDAR	ENERO	2020	19-ene	2			0							0	0	4	1,100			375	375			
PRIMARIO	ENERO	2020	20-ene	1		402	402	4		48				52	454	2		402		150	150			
PRIMARIO	ENERO	2020	20-ene	1		82	82			20		4		24	106	2	100	85					-	
SECUNDAR	ENERO	2020	22-ene	2			0							0	0	4	1,650			400	400			
SECUNDAR	ENERO	2020	23-ene	2			0							0	0	4	900			250	250			
PRIMARIO	ENERO	2020	24-ene	1		105	105		11		12			23	128	2		105		1,850	1,850			
PRIMARIO	ENERO	2020	24-ene	1		118	118		10		12			22	140	2		118		1,900	1,900			
SECUNDAR	ENERO	2020	24-ene	2			0							0	0		250			250	250			
PRIMARIO	ENERO	2020	25-ene	1		75	75			8	12			20	95	2		75		425	425			
PRIMARIO	ENERO	2020	25-ene	1		303	303	3		7	12			22	325	2		303		1,700	1,700			
PRIMARIO	ENERO	2020	26-ene	1		185	185			20				20	205	2		185		975	975			
PRIMARIO	ENERO	2020	26-ene	1		233	233	3		12				15	248	2		233		1,150	1,150			
SECUNDAR	ENERO	2020	27-ene	2			0							0	0	4	1,250			400	400			
SECUNDAR	ENERO	2020	28-ene	2			0							0	0	4	1,350			400	400			
PRIMARIO	ENERO	2020	29-ene	1		386	386		16					16	402	2		386		7,225	7,225			
PRIMARIO	ENERO	2020	29-ene	1		100	100		15					15	115	2		100		1,900	1,900			
SECUNDAR	ENERO	2020	30-ene	2			0							0	0	4	1,650			450	450			
SECUNDAR	ENERO	2020	31-ene	2			0							0	0	4	1,900			450	450			
SECUNDAR	FEBRERO	2020	01-Feb	2			0							0	0	4	1,500			450	450			

Fuente: Elaboración Propia.

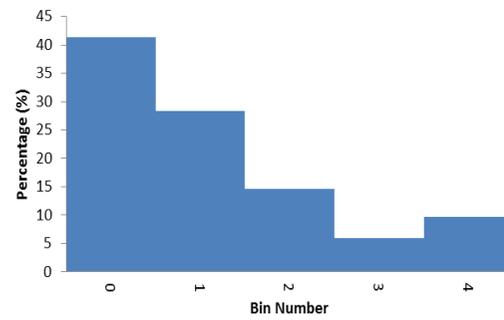
Anexo 5: Análisis Fragmentación Portametrics

Proyecto 20 - Banco 4820 - Tajo Susan

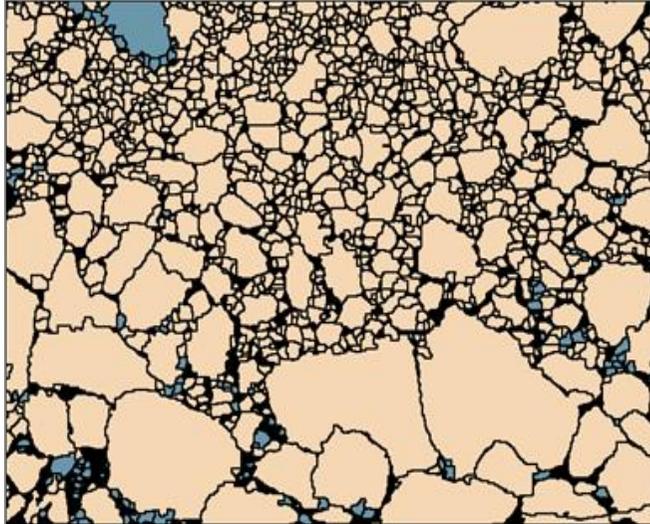


P10	0.71 in
P20	1.02 in
P30	1.38 in
P40	1.85 in
P50	2.60 in
P60	3.11 in
P70	3.94 in
P80	4.92 in
P90	7.52 in
P100	9.33 in

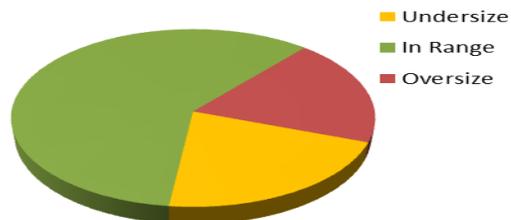
Non-cumulative Histogram



0	0.00 - 1.97 in	41.44 %
1	1.97 - 3.94 in	28.35 %
2	3.94 - 5.91 in	14.65 %
4	7.87 - 9.84 in	9.68 %
3	5.91 - 7.87 in	5.88 %



Target Size

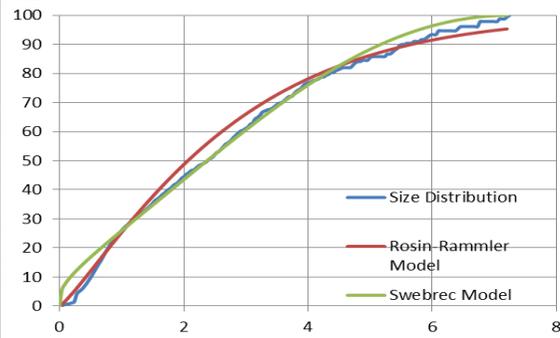


Undersize Threshold	1.0 in	21.42 %
In Range		59.25 %
Oversize Threshold	5.0 in	19.33 %

Fuente: Portametrics.

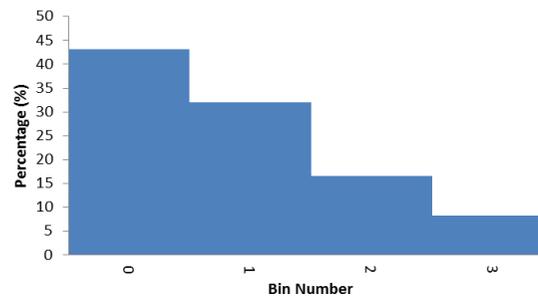
Anexo 5: Análisis Fragmentación Portametrics

Proyecto 11 - Banco 4825 - Tajo Susan

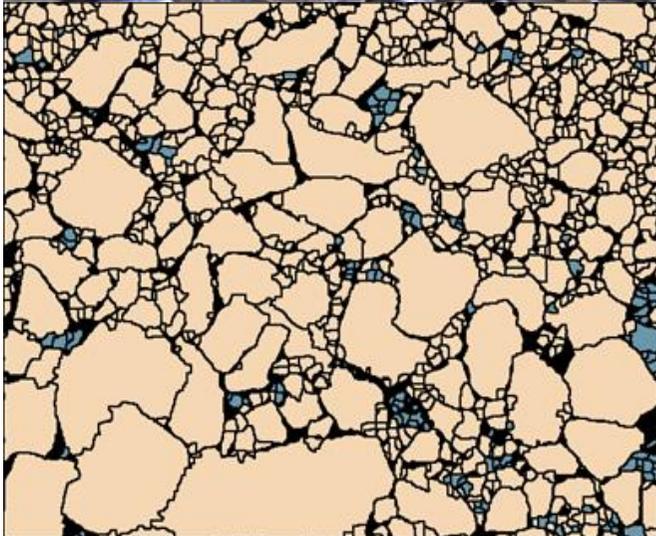


P10	0.51 in
P20	0.79 in
P30	1.22 in
P40	1.77 in
P50	2.40 in
P60	2.91 in
P70	3.58 in
P80	4.37 in
P90	5.59 in
P100	7.24 in

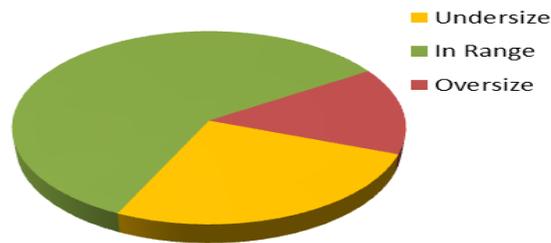
Non-cumulative Histogram



0	0.00 - 1.97 in	43.08 %
1	1.97 - 3.94 in	31.97 %
2	3.94 - 5.91 in	16.60 %
3	5.91 - 7.87 in	8.34 %



Target Size

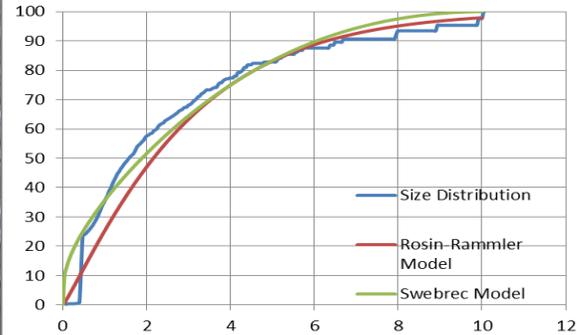


Undersize Threshold	1.0in	26.58 %
In Range		58.86 %
Oversize Threshold	5.0in	14.56 %

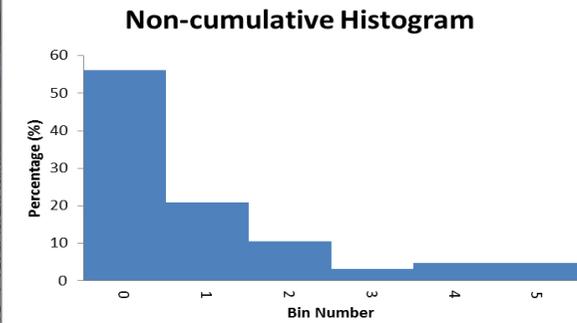
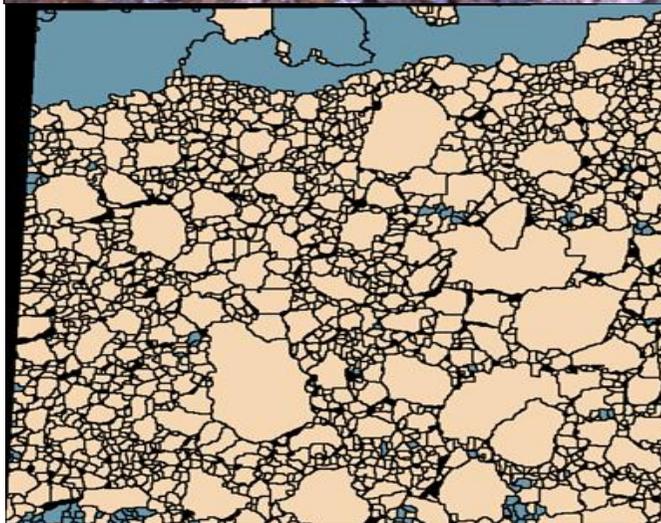
Fuente: Portametrics.

Anexo 5: Análisis Fragmentación Portametrics

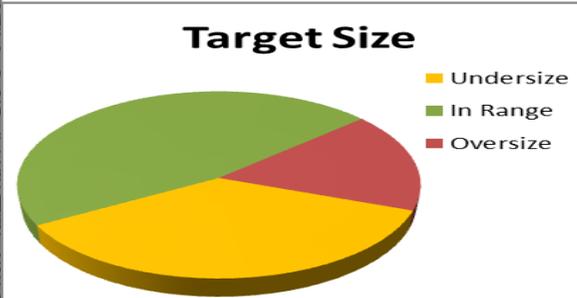
Proyecto 12 - Banco 4815 - Tajo Susan



P10	0.43 in
P20	0.47 in
P30	0.83 in
P40	1.18 in
P50	1.57 in
P60	2.24 in
P70	3.19 in
P80	4.29 in
P90	6.69 in
P100	10.04 in



0	0.00 - 1.97 in	56.22 %
1	1.97 - 3.94 in	20.85 %
2	3.94 - 5.91 in	10.52 %
4	7.87 - 9.84 in	4.71 %
5	9.84 - 11.81 in	4.65 %
3	5.91 - 7.87 in	3.06 %

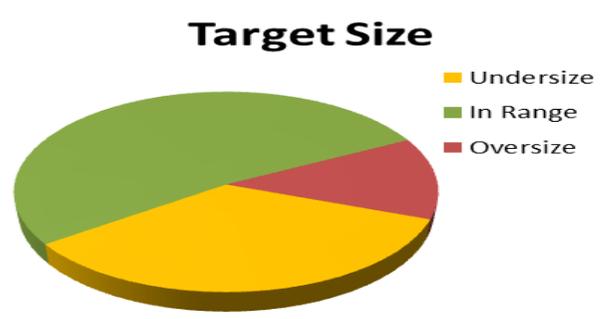
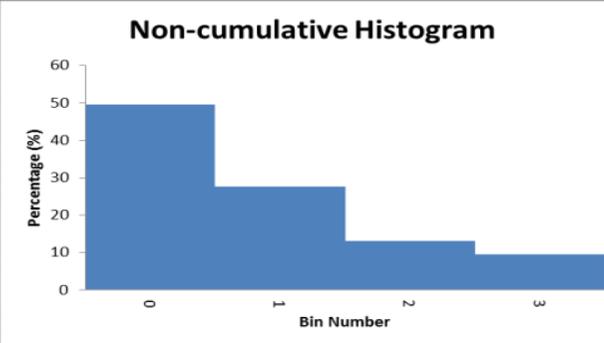
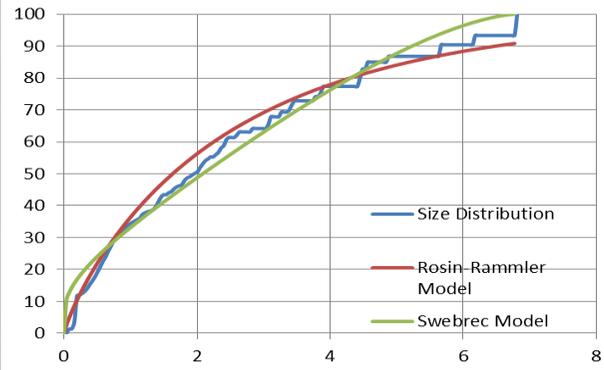
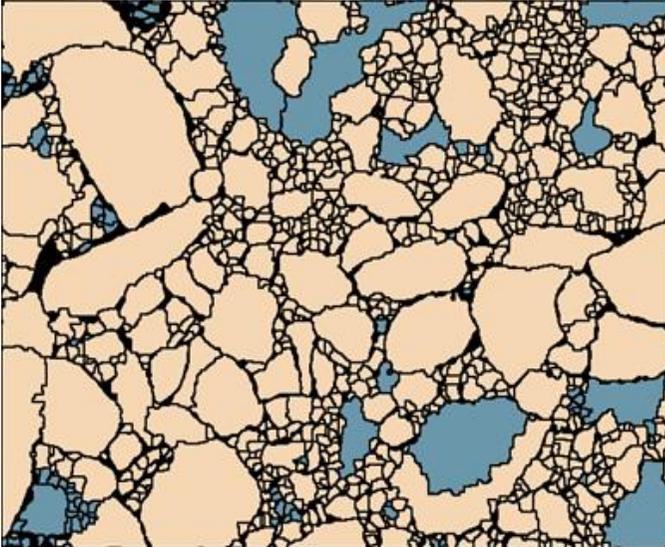


Undersize Threshold	1.0 in	36.26 %
In Range		46.56 %
Oversize Threshold	5.0 in	17.18 %

Fuente: Portametrics.

Anexo 5: Análisis Fragmentación Portametrics

Proyecto 23 - Banco 4820 - Tajo Susan



P10	0.20 in
P20	0.55 in
P30	0.79 in
P40	1.42 in
P50	1.97 in
P60	2.44 in
P70	3.39 in
P80	4.45 in
P90	5.67 in
P100	6.81 in

0	0.00 - 1.97 in	49.63 %
1	1.97 - 3.94 in	27.73 %
2	3.94 - 5.91 in	13.05 %
3	5.91 - 7.87 in	9.59 %

Undersize Threshold	1.0 in	34.69 %
In Range		52.13 %
Oversize Threshold	5.0 in	13.18 %

Fuente: Portametrics.

Anexo 6: Análisis de Resultados de Fragmentación

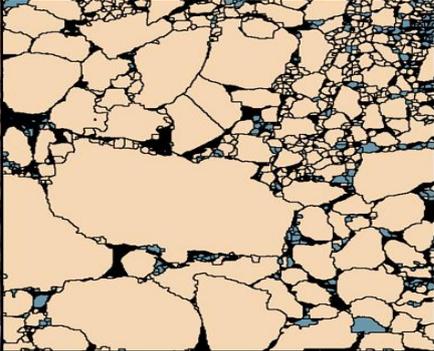
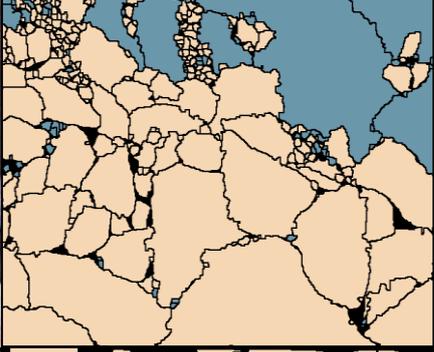
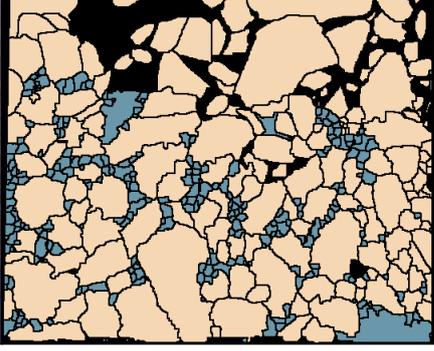
RESULTADOS DE VOLADURAS PILOTO CON ANFO PESADO ÁRTICO - TAJO SUSAN

ANÁLISIS	PROYECTO 20 - BANCO 4820 - TAJO SUSAN	PROYECTO 11 - BANCO 4825 - TAJO SUSAN	PROYECTO 12 - BANCO 4815 - TAJO SUSAN	PROYECTO 23 - BANCO 4820 - TAJO SUSAN
Cantidad que pasa:				
Por una malla de 0.00 a 1.97 pulg	41.44 %	43.08 %	56.22 %	49.63 %
Por una malla de 1.97 a 3.94 pulg	28.35	31.97 %	20.85 %	27.73 %
Por una malla de 3.94 a 5.91 pulg	14.65	16.60 %	10.52 %	13.05 %
Tabla Acumulativa				
< a 1 pulg	21.42 %	26.58 %	36.26 %	34.69 %
Rango de 1 a 5 pulg	59.25 %	58.86 %	46.56 %	52.13 %
> a 5 pulg	19.33 %	14.56 %	17.18 %	13.18 %
P50 en promedio				
	2.60 pulg	2.40 pulg	1.57 pulg	1.97 pulg
P80 en promedio				
	4.92 pulg	4.37 pulg	4.29 pulg	4.45 pulg

Fuente: Elaboración Propia.

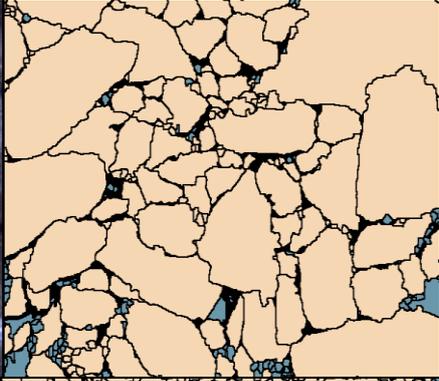
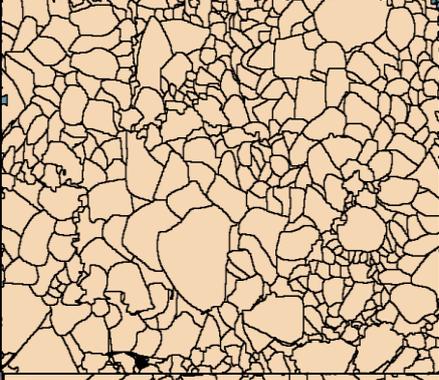
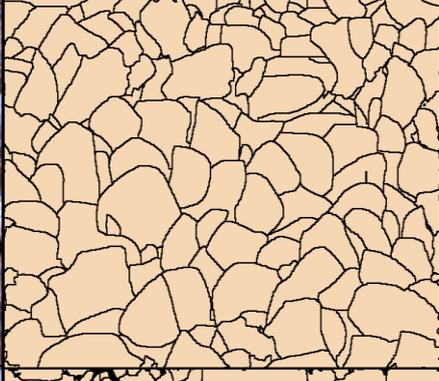
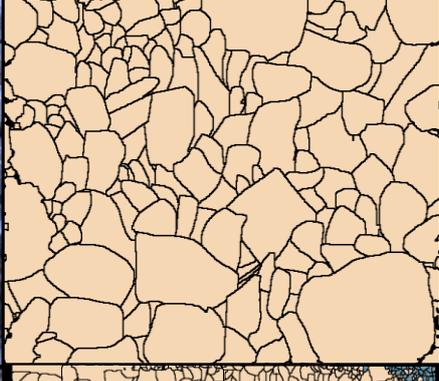
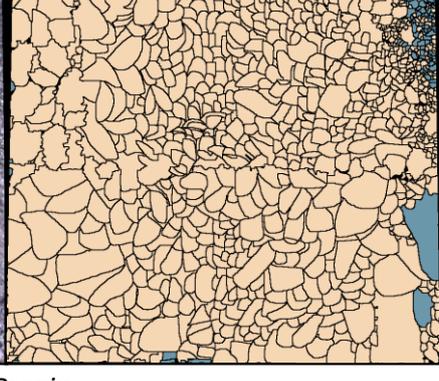
Anexo 7: Muestras P80 Enero 2019 a Abril 2020 con Emulnor 5000

RESULTADOS DE VOLADURA CON EMULNOR 5000 - TAJO SUSAN

Tendencia Enero 2019			
P10	0.98 in		
P20	2.52 in		
P30	3.74 in		
P40	5.08 in		
P50	6.14 in		
P60	8.07 in		
P70	9.88 in		
P80	10.71 in		
P90	18.27 in		
P100	18.27 in		
Tendencia Febrero 2019			
P10	0.91 in		
P20	0.94 in		
P30	0.94 in		
P40	0.98 in		
P50	1.77 in		
P60	7.40 in		
P70	9.88 in		
P80	14.02 in		
P90	16.77 in		
P100	23.07 in		
Tendencia Marzo 2019			
P10	0.75 in		
P20	0.94 in		
P30	0.94 in		
P40	1.02 in		
P50	2.91 in		
P60	4.88 in		
P70	7.76 in		
P80	10.83 in		
P90	15.94 in		
P100	23.07 in		

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7: Muestras P80 Enero 2019 a Abril 2020 con Emulnor 5000

Tendencia Abril 2019			
P10	1.89 in		
P20	2.60 in		
P30	3.19 in		
P40	4.45 in		
P50	5.00 in		
P60	6.06 in		
P70	6.30 in		
P80	8.27 in		
P90	10.47 in		
P100	10.47 in		
Tendencia Mayo 2019			
P10	0.55 in		
P20	0.97 in		
P30	1.26 in		
P40	3.83 in		
P50	5.36 in		
P60	7.27 in		
P70	9.01 in		
P80	11.52 in		
P90	12.31 in		
P100	16.09 in		
Tendencia Junio 2019			
P10	0.61 in		
P20	1.51 in		
P30	2.57 in		
P40	3.76 in		
P50	4.94 in		
P60	6.32 in		
P70	8.34 in		
P80	11.30 in		
P90	14.14 in		
P100	18.15 in		
Tendencia Julio 2019			
P10	0.44 in		
P20	1.23 in		
P30	2.17 in		
P40	3.27 in		
P50	4.29 in		
P60	5.34 in		
P70	6.68 in		
P80	8.48 in		
P90	12.23 in		
P100	15.09 in		
Tendencia Agosto 2019			
P10	0.71 in		
P20	1.83 in		
P30	2.95 in		
P40	3.78 in		
P50	4.07 in		
P60	5.35 in		
P70	6.43 in		
P80	7.74 in		
P90	8.61 in		
P100	10.18 in		

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7: Muestras P80 Enero 2019 a Abril 2020 con Emulnor 5000

Tendencia Setiembre 2019			
P10	1.02 in		
P20	2.60 in		
P30	3.35 in		
P40	3.82 in		
P50	4.69 in		
P60	5.51 in		
P70	6.38 in		
P80	8.03 in		
P90	8.82 in		
P100	10.91 in		
Tendencia Octubre 2019			
P10	0.67 in		
P20	1.50 in		
P30	2.40 in		
P40	3.94 in		
P50	4.80 in		
P60	5.39 in		
P70	6.18 in		
P80	6.97 in		
P90	10.55 in		
P100	11.57 in		
Tendencia Noviembre 2019			
P10	0.87 in		
P20	1.61 in		
P30	2.44 in		
P40	3.43 in		
P50	4.53 in		
P60	5.00 in		
P70	5.87 in		
P80	6.85 in		
P90	9.92 in		
P100	11.57 in		
Tendencia Diciembre 2019			
P10	1.22 in		
P20	2.01 in		
P30	2.83 in		
P40	3.39 in		
P50	3.94 in		
P60	4.80 in		
P70	5.55 in		
P80	6.46 in		
P90	8.31 in		
P100	9.21 in		
Tendencia Enero 2020			
P10	0.35 in		
P20	0.71 in		
P30	1.18 in		
P40	1.93 in		
P50	2.60 in		
P60	3.46 in		
P70	4.45 in		
P80	5.63 in		
P90	7.68 in		
P100	10.35 in		

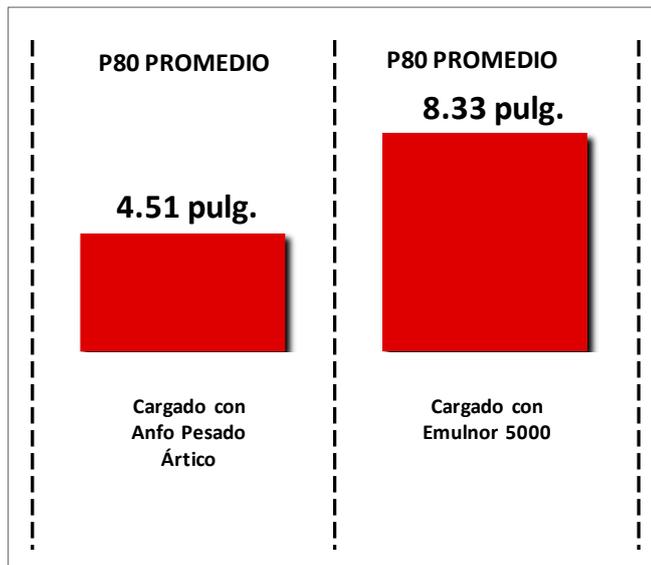
Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7: Muestras P80 Enero 2019 a Abril 2020 con Emulnor 5000

Tendencia Febrero 2020			
P10	1.02 in		
P20	1.61 in		
P30	2.09 in		
P40	2.48 in		
P50	3.07 in		
P60	3.62 in		
P70	4.84 in		
P80	5.59 in		
P90	8.27 in		
P100	10.47 in		
Tendencia Marzo 2020			
P10	0.59 in		
P20	0.87 in		
P30	1.18 in		
P40	1.81 in		
P50	2.60 in		
P60	3.27 in		
P70	4.37 in		
P80	5.39 in		
P90	7.05 in		
P100	8.39 in		
Tendencia Abril 2020			
P10	1.02 in		
P20	2.05 in		
P30	2.72 in		
P40	3.07 in		
P50	3.54 in		
P60	4.09 in		
P70	5.00 in		
P80	5.51 in		
P90	5.91 in		
P100	7.24 in		

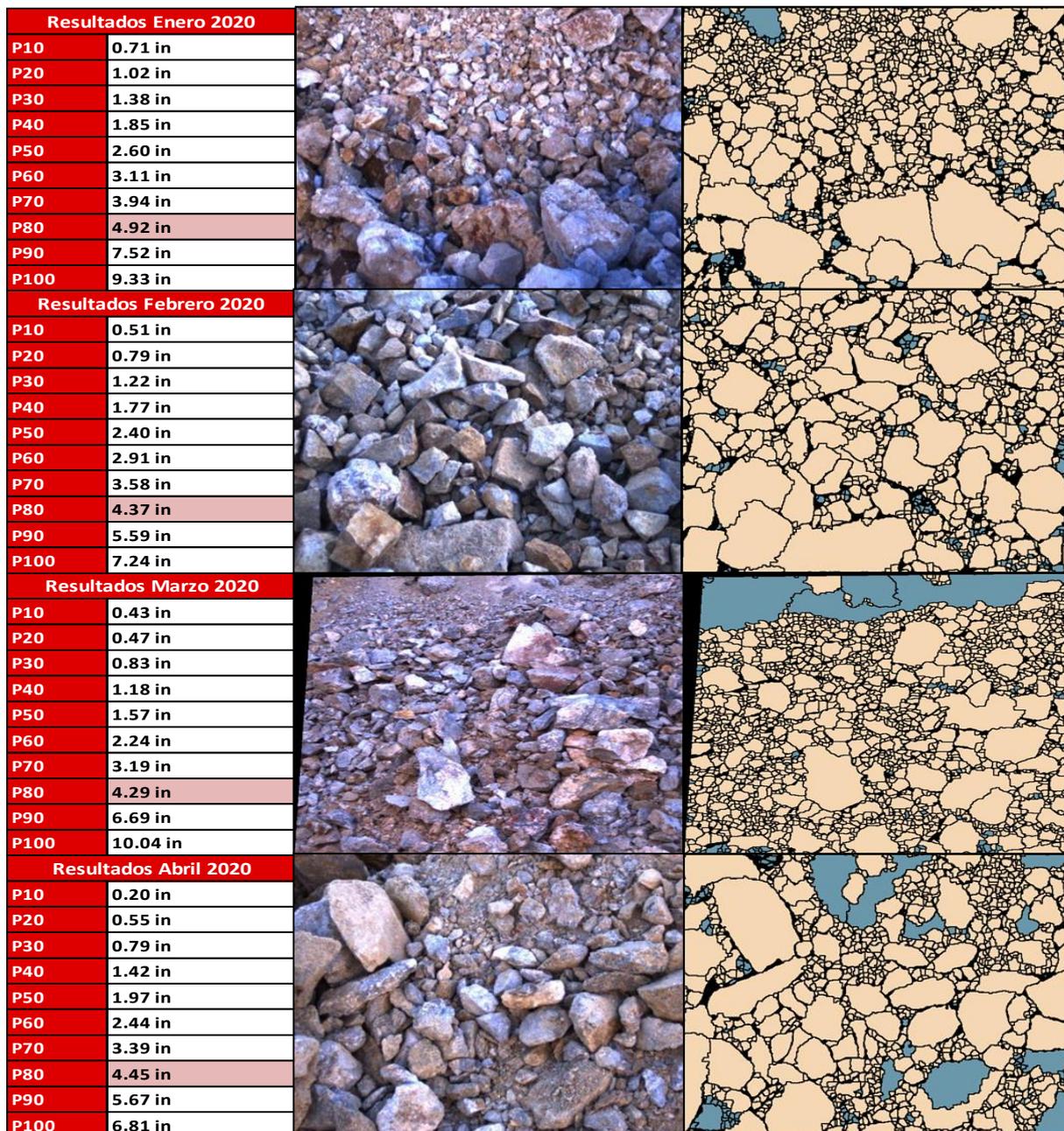
Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 8: P80 promedio



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 9: Muestras P80 Enero 2020 a Abril 2020 con Anfo Pesado Ártico



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 10: Personal de Voladura de Minera IRL - Corihuarmi



Fuente: Elaboración Propia.