

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

Análisis de las variables operacionales de perforación y voladura, y su incidencia en el rendimiento de los equipos de carguío bajo el concepto mine to mill, en una mina a tajo abierto - 2021

Katherin Rosa Salinas Canal
Juan Richar Ninahuanca Chumbe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

A nuestro Dios por guiarnos y acompañarnos en cada etapa de nuestra vida, brindándonos sabiduría y paciencia para el logro de nuestros objetivos.

A nuestros padres, por ser los pilares de nuestras familias, apoyándonos en todo orden de cosas y brindándonos con su sabiduría saber sobrellevar los problemas que se presentaron durante nuestra vida universitaria.

También, a nuestro asesor Ing. Javier Córdova Blancas, por la guía en el desarrollo de la presente tesis, así como, el apoyo desinteresado en nuestra vida universitaria.

A la Universidad Continental y los docentes quienes brindaron su experiencia profesional y académica para nuestra formación profesional.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a:
Dios, por darnos el soporte
espiritual y emocional a lo largo de
nuestra vida.

A nuestros padres, por su amor,
paciencia y valores inculcados en
el cumplimiento de nuestros
sueños del día a día.

A nuestros hermanos por el
soporte amical y de cariño, por sus
palabras de aliento durante
nuestra vida diaria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.1.2. Formulación del problema	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia	17
1.3.1. Justificación social - práctica.....	17
1.3.2. Justificación académica	18
1.4. Hipótesis de la investigación	18
1.4.1. Hipótesis general	18
1.4.2. Hipótesis específicas.....	18
1.5. Identificación de las variables	18
1.5.1. Variable independiente	18
1.5.2. Variables dependientes análisis de factores operacionales de perforación y voladura	19
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables.....	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes del problema.....	20

2.1.1. Antecedentes internacionales	20
2.1.2. Antecedentes nacionales	21
2.2. Generalidades de la unidad minera	22
2.2.1. Ubicación accesibilidad y generalidades	22
2.3. Geología general	23
2.3.1. Rocas sedimentarias	23
2.3.2. Rocas ígneas	27
2.4. Geología estructural	31
2.4.1. fallamiento	32
2.4.2. Plegamiento	33
2.4.3. Consideraciones operacionales	34
2.5. Bases teóricas	36
2.5.1. Concepto <i>mine to mill</i>	36
2.5.2. Proceso de conminución	38
2.5.3. <i>Dig rate</i>	39
2.5.4. Consideraciones de equipos de carguío	40
2.5.5. Consideraciones de producción	41
2.5.6. Consideraciones de perforación y voladura	44
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.1. Método y alcances de la investigación	48
3.1.1. Método de la investigación	48
3.2. Diseño de la investigación	49
3.2.1. Tipo de diseño de investigación	49
3.3. Población y muestra	50
3.3.1. Población	50
3.3.2. Muestra	50
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos	50
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos	50
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	51
5.1.1. Consideraciones del concepto <i>mine to mill</i>	51

5.1.2. Análisis de parámetros de perforación y voladura	56
5.1.3. Análisis del grado de fragmentación.....	68
5.1.4. Análisis del dig rate (tasa de excavación).....	79
5.1.5. Análisis del estudio bajo el concepto <i>mine to mill</i>	83
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables	19
Tabla 2. Ruta geográfica	22
Tabla 3. Propiedades de Quantex 73.....	41
Tabla 4. Producción por litología	43
Tabla 5. Resumen de tonelaje por litología	44
Tabla 6. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Skarn magnetita.....	45
Tabla 7. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad de Brecha.	45
Tabla 8. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Hornfels	46
Tabla 9. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad de Intrusivo A.....	46
Tabla 10. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Skarn	47
Tabla 11. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Skarn	47
Tabla 12. Resumen de producción asociado a las diferentes litologías, alteración hidrotermal y equipos de carguío.....	55
Tabla 13. Parámetros de perforación y voladura en la zona Skarn (actinolita – tremolita).	57
Tabla 14. Parámetros de perforación y voladura en la zona de brecha	59
Tabla 15. Parámetros de perforación y voladura en la zona de skarn de magnetita.....	61
Tabla 16. Parámetros de perforación y voladura en la zona de hornfels	63
Tabla 17. Parámetros de perforación y voladura en la zona de intrusivo B.	65
Tabla 18. Parámetros de perforación y voladura en la zona de intrusivo A	67
Tabla 19. Parámetros de factor de potencia, dureza y granulometría por litología y alteración hidrotermal.....	73

Tabla 20. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y granulometría, periodo 2020	74
Tabla 21. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y granulometría, periodo 2021	75
Tabla 22. Análisis de granulometría en equipo de carguío pala 01, periodo 20 - 21	77
Tabla 23. Análisis de granulometría en equipo de carguío pala 02, periodo 20 - 21.	78
Tabla 24. Análisis de granulometría en equipo de carguío pala 03, periodo 20 - 21	79
Tabla 25. Parámetros de factor de potencia, dureza y dig rate por litología y alteración hidrotermal	80
Tabla 26. Producción día y KPIs de conminución, proceso mine to mill	84
Tabla 27. Matriz de operacionalización de variables.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina.....	22
Figura 2. Geología del proyecto minero	24
Figura 3. Contacto litológico de diorita porfirítica con hornfels de calco silicatos	29
Figura 4. Intersección de fallas, con la consiguiente generación de brechas tectónicas con clastos angulosos de intrusivo y skarn, con matriz de roca triturada y pirita masiva en las zonas de falla	32
Figura 5. Núcleo parcialmente erosionado del anticlinal del proyecto.....	33
Figura 6. Perfil geológico del yacimiento de skarn de Cu.....	35
Figura 7. Proceso mine to mil (mina a planta).....	37
Figura 8. Proceso conminución (mine to mill).....	39
Figura 9. Pala eléctrica Caterpillar, modelo CAT7295.....	40
Figura 10. Plano en planta operación mina	42
Figura 11. Plano en planta de las diferentes litologías en el yacimiento	52
Figura 12. Plano en planta de las diferentes alteraciones asociadas en el yacimiento.....	53
Figura 13. Diseño de malla de perforación skarn (actinolita – tremolita).....	56
Figura 14. Diseño de malla de perforación zona de brecha	58
Figura 15. Diseño de malla de perforación zona de skarn de magnetita.....	60
Figura 16. Diseño de malla de perforación zona de hornfels	62
Figura 17. Diseño de malla de perforación zona de intrusivo B	64
Figura 18. Diseño de malla de perforación zona de intrusivo A	66
Figura 19. Granulometría de unidad skarn (actinolita – tremolita), considerando el P80.....	68
Figura 20. Granulometría de unidad skarn magnetita, considerando el P80.....	69
Figura 21. Granulometría de unidad hornfels, considerando el P80	70
Figura 22. Granulometría de unidad Intrusivo B, considerando el P80.	71
Figura 23. Granulometría de unidad Intrusivo A, considerando el P80	72
Figura 24. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y dig rate, periodo 2020	81

Figura 25. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y dig rate, periodo 2021	82
Figura 26. Plano en planta de distribución de leyes de Cu.	92
Figura 27. Plano en planta de distribución litológica.	93
Figura 28. Malla de perforación.....	94
Figura 29. Zona de stock 01	95
Figura 30. Zona de stock 05.....	95

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo analizar las variables operacionales de perforación y voladura y su incidencia en los equipos de carguío, bajo el concepto *mine to mill* en una mina a tajo abierto durante los periodos julio a diciembre del 2020 y el periodo enero a junio del 2021.

El método utilizado en la investigación es el analítico, con un alcance descriptivo y explicativo con un tipo de investigación de carácter pre experimental, donde se puede observar los resultados de la granulometría y *dig rate* post voladura, asociando a las variables operacionales de perforación y voladura, relacionando a las diferentes litologías y alteraciones hidrotermales en los frentes de operación.

El análisis de las diferentes variables operacionales de perforación y voladura se asoció a las diferentes litologías y de alteración hidrotermal como: unidad *hornfels*, unidad *skarn* de magnetita, unidad alteración actinolita tremolita y unidad intrusiva A y B (alteración potásica), buscando relacionar a los parámetros de granulometría y *dig rate* post voladura para determinar el análisis del rendimiento de los equipos de carguío.

El factor de potencia durante el periodo julio a diciembre del 2020 fue de 0.51 kg/t, generando un incremento durante el periodo enero a junio del 2021 en 0.57 kg/t. Producto de este incremento del consumo del explosivo en los periodos de análisis se pudo disminuir la granulometría en 0.04 pulgadas mejorando el *dig rate* en los equipos de carguío.

Esta mejora en el *dig rate* en 1,142.66 t/h está muy relacionada a los parámetros de granulometría, dureza y factor de potencia, mejorando directamente en el rendimiento de los equipos de carguío y una mejor gestión operacional en las áreas mina a planta (*mine to mill*).

Palabras clave: producción, factor de potencia, *dig rate*, granulometría, rendimiento, optimización, litología, etc..

ABSTRACT

This thesis whose objective is to analyze the operational variables of drilling and blasting and their impact on loading equipment, under the concept of mine to mill in an open pit mine, during the periods July to December 2020 and the period January to June. from 2021.

The method used in the research is analytical, with a descriptive and explanatory scope as a type of research, of a pre-experimental nature, where the results of the granulometry and dig rate post blast can be observed, associating the operational variables of drilling and blasting, relating to the different lithologies and hydrothermal alterations in the operation fronts.

The analysis of the different operational variables of drilling and blasting was associated with the different lithologies and hydrothermal alteration such as: hornfels unit, magnetite skarn unit, tremolite actinolite alteration unit and intrusive unit A and B (potassium alteration), seeking to relate to the granulometry and post blasting dig rate parameters to determine the performance analysis of the loading equipment.

The power factor during the period July to December 2020 was 0.51 kg/t, generating an increase during the period January to June 2021 by 0.57 kg/t. As a result of this increase in the consumption of the explosive in the analysis periods, the granulometry could be reduced by 0.04 inches, improving the dig rate in the loading equipment.

This improvement in the dig rate of 1,142.66 t/h, is closely related to the granulometry, hardness and power factor parameters, directly improving the performance of the loading equipment and better operational management in the mine-to-plant areas (mine to mill).

Keywords: production, power factor, dig rate, granulometry, performance, optimization, lithology, etc.

INTRODUCCIÓN

La generación de programas de optimización y reducción de costos en operaciones mineras obliga a las diferentes áreas unitarias operacionales a controlar sus costos y mejorar los niveles de productividad en sus operaciones. Por tal motivo, relacionar las áreas de mina y planta bajo el concepto *mine to mill* (mina a planta) permite dar una mirada la incidencia que genera la producción producto de la voladura y su influencia en la etapa de conminución (chancado y molienda) para definir el incremento de costos de energía producto del material enviado de los diferentes frentes operacionales.

El concepto *mine to mill* refleja el resultado del mineral enviado a planta y sus diferentes resultados a nivel de los KPIs generados, por tal motivo, el presente trabajo permitirá dar una primera mirada en el rendimiento de los equipos de carguío y asociarlos a los parámetros de granulometría y el *dig rate* post voladura.

Por tal motivo, el presente trabajo se distribuye en diferentes capítulos los cuales representan la estructura de la presente tesis siendo estos: Capítulo I, asociado a la estructura de forma, describiendo el problema, objetivo e hipótesis general y específicos.

En el Capítulo II, se describe los antecedentes del estudio, generalidades de la operación minera y bases teóricas de la tesis.

En el Capítulo III, se describe el tipo y metodología de investigación, considerando las técnicas, población y muestras a usar en la investigación.

Finalmente, en el Capítulo IV, se analizó e interpretó los diferentes resultados, asociados a la granulometría y *dig rate* de las diferentes litologías presentes y su influencia en el rendimiento de los equipos de carguío.

Los autores

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En operaciones mineras de tajo abierto los sistemas de explotación inicial son de pala camión, aplicados como parte de los procesos unitarios de carguío y acarreo. Estos procesos unitarios inciden entre 40 a 60 % los costos operacionales, siendo de gran importancia en la rentabilidad de la operación minera. Las principales mejoras de la productividad en equipos de carguío y acarreo están asociados a la relación del grado de fragmentación producto de la voladura de mineral asociados a diferentes tipos de litologías y de alteración hidrotermal en los diferentes frentes operacionales.

Asimismo, la relación del grado de fragmentación asociado a la voladura producto de los diferentes dominios geomecánicos presentes en el yacimiento afecta directamente en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, siendo el *fill* factor y los números de pases las variables que son afectadas directamente entre estos equipos.

El principal objetivo del presente trabajo de investigación es encontrar los cambios operacionales en el grado de fragmentación producto de las diferentes

litologías y su alteración hidrotermal asociada bajo el concepto *mine to mil* y su incidencia en equipos de carguío.

La importancia de controlar los costos operacionales generados en minería a tajo abierto es de vital importancia por su alto tonelaje producido. Considerar el incremento de la producción permite la reducción de costos operacionales es de vital importancia, ya que el incremento de costos de explotación a medida que se va profundizando las operaciones obliga a utilizar diversas metodologías o herramientas para la mejora del rendimiento operacional. El concepto *mine to mill*, integra los procesos unitarios de mina y planta, considerando la influencia que genera las variables geológicas y geomecánicas en el diseño de las diferentes mallas de perforación y voladura incidiendo directamente en el grado de fragmentación post voladura.

Las incidencias que genera el grado de fragmentación influyen directamente en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, así como un mayor consumo en la etapa de conminución (chancado y molienda).

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

a) ¿Cómo se puede mejorar el rendimiento de los equipos de carguío mediante el análisis de las variables operacionales de perforación y voladura, bajo el concepto *mine to mil*, en una mina a tajo abierto - 2021?

Problemas específicos

a) ¿Cómo relacionar las variables del grado de fragmentación con los diferentes dominios geológicos para la mejora de la productividad en los equipos de carguío en una mina a tajo abierto - 2021?

b) ¿Cómo relacionar el *dig rate* con los diferentes dominios geológicos para la mejora de la productividad en los equipos de carguío en una mina a tajo abierto - 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Mejorar el rendimiento de los equipos de carguío mediante el análisis de las variables operacionales de perforación y voladura, bajo el concepto *mine to mil*, en una mina a tajo abierto – 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

Relacionar las variables del grado de fragmentación con los diferentes dominios geológicos para la mejora de la productividad en los equipos de carguío en una mina a tajo abierto – 2021.

Relacionar el *dig rate* con los diferentes dominios geológicos para la mejora de la productividad en los equipos de carguío en una mina a tajo abierto – 2021.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación social - práctica

El presente trabajo de investigación permitirá analizar diferentes variables operacionales para generar la mejora de la optimización operacional. Esta mejora en la operación permitirá generar mayores recursos económicos y por ende tener un incremento en la generación de programas productivos comunales, generando una mejor interrelación empresa comunidad. Asimismo, utilizar herramientas de gestión modernas como el concepto *mine to mil* ayudará a entender de una forma más integral las variables operacionales de mina y planta desde las variables de perforación y voladura, para la mejora del rendimiento de equipos de carguío y acarreo.

Aplicar herramientas de gestión operacional permitirá analizar e integrar las diferentes variables que influyen directamente en la mejora del rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, asociado al grado de fragmentación post voladura.

1.3.2. Justificación académica

El presente trabajo de investigación permitirá desarrollar un modelo de establecer la mejora de la productividad en equipos de carguío, mejorando y controlando variables operacionales que inciden en el incremento de costos operacionales.

Esta mejora permitirá el uso de herramientas de análisis de gestión operacional, como modelos matemáticos, los que servirán como guía académica y relacionar situaciones similares en operaciones similares, mediante la herramienta del *benchmarking*.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

El análisis de las variables operacionales de perforación y voladura influye positivamente en la mejora del rendimiento de los equipos de carguío bajo el concepto *mine to mill*, en una mina a tajo abierto – 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas

Al relacionar las variables del grado de fragmentación con los diferentes dominios geológicos influye positivamente en la mejora de la productividad en los equipos de carguío en una mina a tajo abierto – 2021.

Al relacionar el *dig rate* con los diferentes dominios geológicos influye positivamente en la mejora de la productividad en los equipos de carguío en una mina a Tajo Abierto - 2021.

1.5. Identificación de las variables

1.5.1. Variable independiente

- Equipos de carguío

1.5.2. Variables dependientes análisis de factores operacionales de perforación y voladura

1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. *Tabla de matriz de operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Equipos de Carguío	El análisis del rendimiento de equipos de carguío está directamente relacionado al cumplimiento de los planes de producción, mediante el cumplimiento del tonelaje cargado.	• Variables rendimiento	Valoración de la capacidad	Tonelaje cargado
VD: Análisis de Factores Operacionales de Perforación y Voladura.	Los factores operacionales de perforación y voladura están relacionados a los controles litológicos y de alteración.	• Variables operacionales • Variables de perforación y voladura	Valoración de plan de producción Valoración de litología y alteración	Tonelaje producido Grado de fragmentación Dig rate (tasa excavación)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Tesis titulada: *“Evaluación del rendimiento de diferentes tipos de rodaduras para la optimización del ciclo de acarreo y transporte del material en tunelería”*. La investigación tuvo la finalidad de aumentar la producción en un 23 % con respecto al año 2016, tal es así que se analizó el dimensionamiento de flota, mejorando la producción hasta un 93 % durante el periodo enero a junio del año 2017, considerado como meses de retraso por efecto de las intensas lluvias, tormenta eléctrica, etc. Para la mejora del rendimiento de los equipos de acarreo se generó un mantenimiento de vías, generando un mejor tiempo de acarreo en 13.6% en el acarreo de mineral y de 27% en el acarreo de desmonte, con una disminución de la disponibilidad en &% y generando una mayor rentabilidad operacional de 16%. (1)

- Tesis titulada: *“Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto”*. El objetivo de la investigación fue analizar la productividad de equipos de carguío y acarreo, las pérdidas de tiempo operacional, la velocidad de transporte, el dimensionamiento de flota, etc. se concluye, que la distancia de acarreo desde los puntos de carguío hacia la chancadora se debería reevaluar, controlando y reduciendo la

pérdida de tiempos operacionales, mejorando el rendimiento diario en 4.2% y en 10.6% las pérdidas operacionales, incrementando la rentabilidad 4.07 MUS\$. (2)

- Tesis titulada: *"Análisis de la perforación y tronadura en El Soldado"*. El objetivo de la empresa minera Anglo American es analizar el concepto mina a planta, por lo que hizo un análisis desde el diseño de malla de perforación y voladura, y el efecto que generaba a los siguientes procesos unitarios como carguío, acarreo, chancado y molienda, los cuales generen variables operacionales de mejor rendimiento. El estudio permitió el análisis de la granulometría producto de la voladura y su influencia en el proceso de conminución, asociando a las toneladas trituradas y el consumo de energía, para medir el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo. El resultado estuvo asociado al uso de un explosivo más denso y distintas configuraciones de mallas de perforación, asociado a la variabilidad litológica y de alteración hidrotermal. (3)

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Tesis titulada: *"Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, las Bambas, Cerró Corona, Antapacay y Pucamarca"*. La investigación asocia e interpreta el avance tecnológico y asociarlos al control de procesos unitarios en minas a tajo abierto. El estudio sostiene que uno de los costos operacionales mayores en operaciones mineras a tajo abierto es el costo unitario de acarreo. Estos costos unitarios están asociados al costo de combustible, llantas, y repuestos, los que representan el 55% de costos de minado. Es por tal motivo, que el objetivo es reducir los tiempos muertos en la gestión de sistemas de acarreo de mineral y desmonte, mejorando la productividad de las mismas, mejorando la utilización en los diferentes frentes operacionales. (4)
- Tesis titulada: *"Optimización de la flota de carguío y acarreo para el incremento de producción de material de desbroce de 400K A 1000K BCM - U.E.A. El Brocal - Consorcio Pasco Stracon GyM"*. La investigación asocia el incremento de

tonelaje a los costos asociados a los procesos de carguío y acarreo en la UEA El Brocal. Por tal motivo, el objetivo de la presente tesis es calcular el dimensionamiento de flota bajo condiciones de análisis técnico y económico, para el cumplimiento de los programas de producción planificadas.

2.2. Generalidades de la unidad minera

2.2.1. Ubicación accesibilidad y generalidades

El proyecto minero se localiza en límite de la provincia de Víctor Fajardo y departamento de Ayacucho; en la parte sur del Perú. Es accesible por vía terrestre como sigue:

Tabla 2. Ruta geográfica

Ruta	Km	Tiempo	Carretera
Lima – Nazca - Puquio	698	7.5 h	Asfaltada
Puquio – Pampas galera – Desvío Minas			
Canarias – Campamento proyecto	185	5.3 h	Afirmada
TOTAL	837	12.8 h	

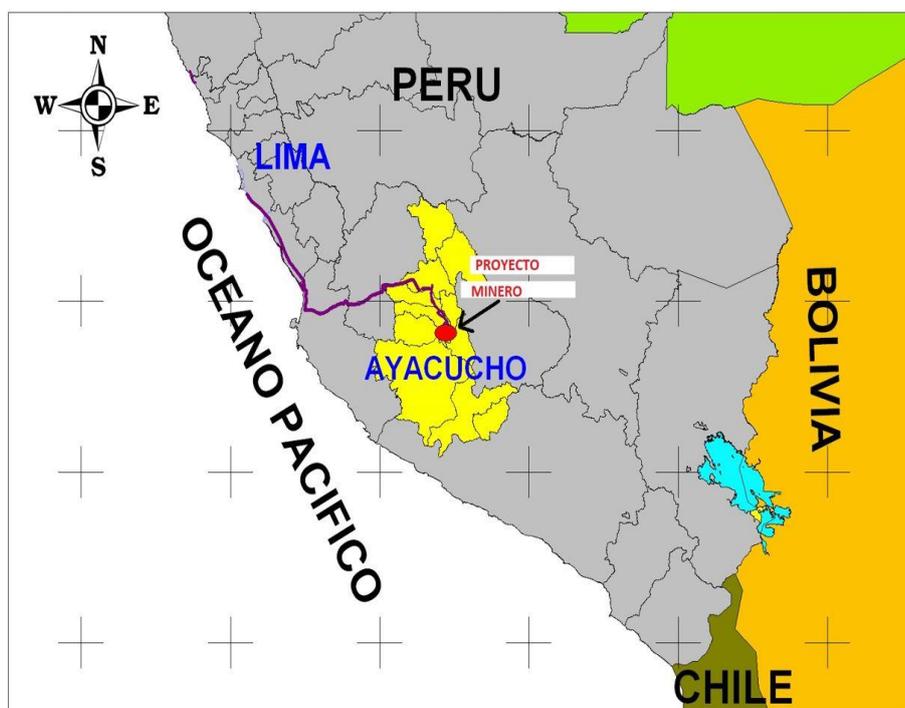


Figura 1. Ubicación de la mina.
Tomado del Departamento de Geología

2.3. Geología general

En el área que comprende las concesiones evaluadas, están presentes rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, con edades entre el Jurásico al Cuaternario. Las rocas sedimentarias se encuentran plegadas y falladas conformando estructuras con un patrón predominante de NO a SE y en menor proporción de NE a SO.

Esta configuración estructural es el resultado de un conjunto de eventos sucesivos, que generaron zonas de debilidad por donde se emplazaron las diferentes facies intrusivas presentes en la zona.

2.3.1. Rocas sedimentarias

a) Formación Chunumayo

Asociado principalmente por calizas grises y marrón claro a beige en superficie intemperizada. Se estratifican en capas y bancos medianos, con niveles de margas y calizas areno arcillosas delgadas de color gris oscuro. En los niveles superiores, se aprecia lutitas de color gris verdosas con nódulos areniscosos.

Estos sedimentos se encuentran expuestos a lo largo de una franja orientada de NO a SE y su afloramiento en el extremo SO de las concesiones mineras evaluadas, conforma una estructura anticlinal de rumbo NO-SE con clara vergencia al SO; cuyo núcleo se encuentra erosionado por el río Saccsara. Del mismo modo hacia el sur, también se encuentra plegada formando un sinclinal cuyo eje se encuentra en la quebrada que conduce al río Jimpo Jollpa.

Regionalmente la formación Chunumayo, yace concordantemente sobre el Grupo Pucará e infrayace con la misma relación al Grupo Yura. En base a sus características litológicas y contenidos faunísticos se correlaciona con la Formación Socosani de la región de Arequipa y con la Formación San Francisco en Tacna, asignándosele una edad al intervalo Aleniano superior – Bajociano superior, probablemente Batoniano.

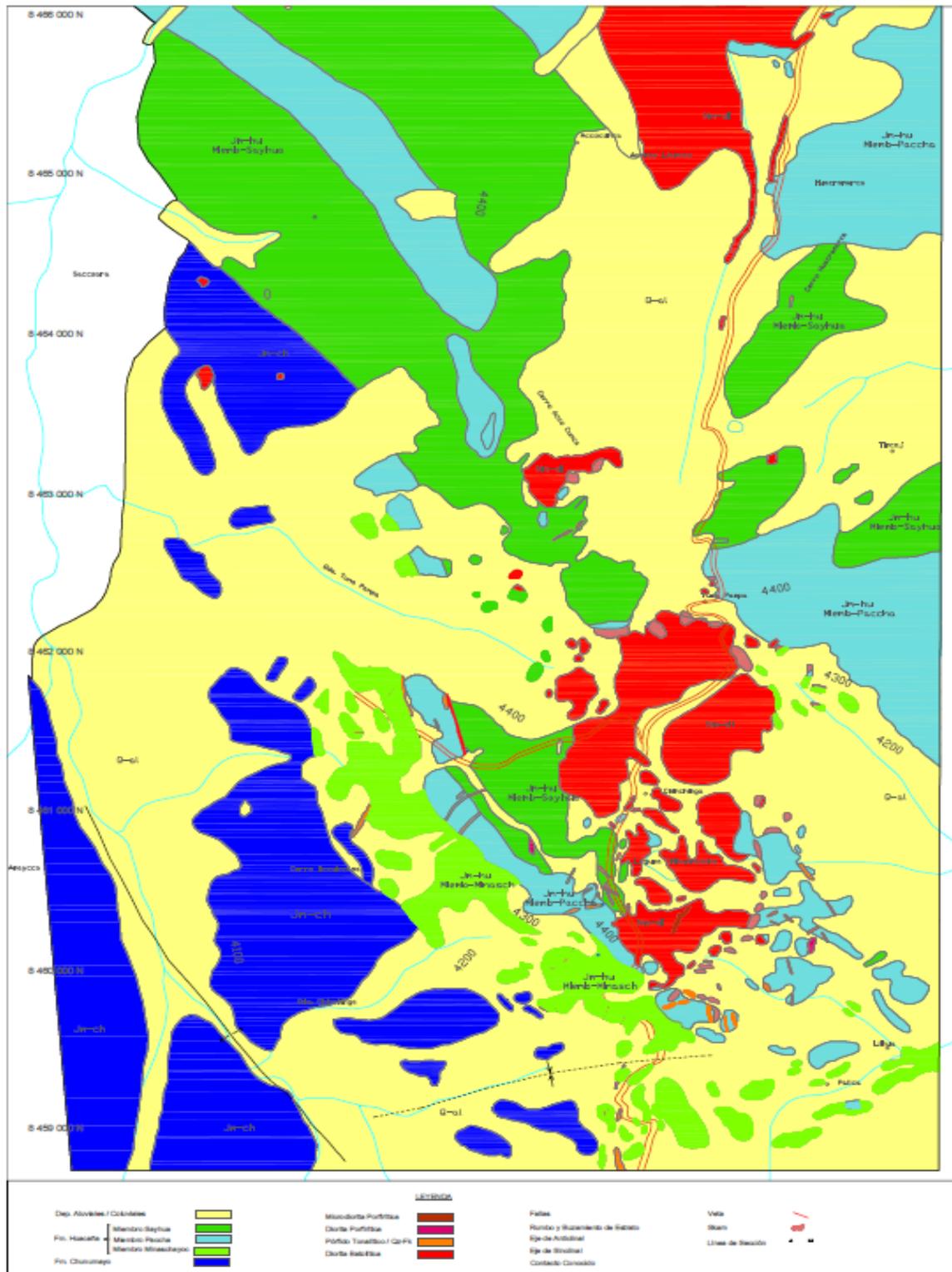


Figura 2. Geología del proyecto minero Tomado del Departamento de Geología

b) Grupo Yura

Asociados principalmente a rocas sedimentarias, donde se observa una zona con presencia de minerales tipo óxidos de fierro como jarosita, goethita y hematita, generados principalmente por procesos supérgenos. El otro sector asociado a minerales tipo sulfuro, principalmente de calcopirita, pirita y arsenopirita, asociados a gangas de cuarzo y calcita.

❖ Formación Huacaña

Abarca un 80 % de las concesiones evaluadas y se encuentra dispuesta en franjas elongadas con rumbo NO-SE. Asociado por secuencias lutáceas en los niveles inferiores, con estratificaciones de areniscas cuarzosas y calcáreas. Hacia los niveles superiores se observa areniscas calcáreas, margas y lutitas calcáreas. En los niveles altos, se observan areniscas cuarcíferas con intercalaciones de lutitas y areniscas calcáreas.

La formación Huacaña fue dividida por Castillo, J. (1993) en tres miembros: Minaschayoc, Paccha y Sayhua; diferenciables por sus características relaciones estratigráficas.

❖ Miembro Minaschayoc

Asociado hacia la base de la formación y está compuesta por lutitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas y areniscas calcáreas en estratos delgados en proporciones subordinadas. Las lutitas son grises, gris verdosas, ocasionalmente negras (carbonosas) y bastante fracturadas, son de grano medio a fino.

Descansa en forma concordante sobre la Formación Chunumayo, pudiendo correlacionarse con la Formación Puente del área de Arequipa; siendo datada con una posible edad correspondiente al Caloviano Inferior por relaciones estratigráficas.

❖ **Miembro Paccha**

Constituido principalmente por lutitas calcáreas, margas, areniscas calcáreas y proporciones subordinadas de calizas intercaladas. En el área del proyecto, se encuentra constituido por lutitas calcáreas de color gris, margas de color gris oscuro con estructuras lenticulares dentro de los niveles de lutitas, areniscas calcáreas de grano fino y de color blanco grisáceo y niveles de calizas en estratos delgados de color gris al estado fresco y pardo al intemperismo.

Presenta afloramientos sub verticales con alto buzamiento al SO debido a que constituye el flanco oriental del Anticlinal. Directamente al sur y sureste del proyecto, así como en el caserío de Tuna Pampa presenta potencias que alcanzan los 50 m y es afectada por procesos de metamorfismo y metasomatismo progrado con mineralización de cobre al contacto con facies intrusivas del batolito e intrusivos hipabisales.

La edad del miembro Paccha, se data como Caloviano Inferior a Medio, correlacionándose con la formación Cachíos de la región de Arequipa.

❖ **Miembro Sayhua**

Compuesta por una secuencia de areniscas cuarcíticas estratificadas, de color blanco con manchas amarillo parduzco debido a la oxidación y lixiviación de pirita diseminada contenida en ella. Con intercalaciones con areniscas calcáreas estratificadas en capas delgadas, de color gris claro con leves intensidades de intemperismo.

En la zona norte del proyecto se encuentra fuertemente fracturada y alberga diques de diorita porfirítica con débil mineralización de cobre diseminada que la cortan con una orientación preferencial al NE.

Este miembro se ubica estratigráficamente, supra yaciendo al miembro Paccha e infra yaciendo a la formación Paire. En base a restos fósiles encontrados, se le

estima una edad correspondiente al Caloviano medio a superior; correlacionándose con la formación Labra de la región de Arequipa.

c) Formación Paire

Constituye una unidad calcárea dispuesta concordantemente al miembro Sayhua de la formación Huacaña. Litológicamente está constituida en niveles inferiores por calizas arenáceas y en los niveles superiores por calizas arcillosas, con algunos horizontes de margas.

Aflora en el extremo norte del proyecto y se encuentra en contacto con el *stock* de diorita biotítica, conformando un *skarn* elongado según el contacto, con una dimensión aproximada de 30 m en el sector de Accocunca. Se asume una edad correspondiente al Caloviano superior y se le correlaciona con la formación Gramadal del área de Arequipa.

d) Depósitos recientes

Estos depósitos están constituidos por sedimentos coluvio - aluviales; en parte de origen fluvioglaciario, dispuestos en la naciente de las quebradas y laderas de los cerros.

2.3.2. Rocas ígneas

Las rocas intrusivas que afloran en el proyecto minero se encuentran probablemente asociadas espacial y temporalmente al Batolito de Andahuaylas - Yauri; cuyo emplazamiento se encuentra comprendido entre Eoceno medio a Oligoceno temprano (~48-32 m.a.), Perelló et. al., 2003; aunque en el Boletín N°70 de la Carta Geológica Nacional se le considere con una edad comprendida entre el Cretáceo Superior al Paleógeno.

Localmente este plutón está constituido por múltiples intrusiones que afloran discontinuamente; desde facies tempranas de gabrodioritas a dioritas, seguidos en forma más restringida por rocas de composición intermedia como tonalitas; e intrusiones hipabisales a manera de diques y sills de composición diorítica y

microdiorítica que representan los estadios finales del magmatismo en esta zona; finalmente diques aplíticos como remanentes del magmatismo residual del batolito.

a) Batolito

❖ Gabrodiorita

La gabrodiorita hornbléndica se encuentran constituyendo la primera face intrusiva, caracterizada por presentar “cumulats” similares a los descritos por Carlier (1989) y Ligarda (1993) entre los poblados de Curahuasi y Limatambo al este de la ciudad de Abancay. Afloramientos restringidos de este intrusivo se encuentran en la zona norte de las concesiones mineras, específicamente en la quebrada Ayamay LLancca, directamente en contacto con calizas arenosas fuertemente disturbadas correspondientes a la formación Paire. Macroscópicamente se distingue por su coloración gris oscura, textura inequigranular de grano medio a fino, con plagioclasas grises en mucha menor proporción que hornblendas con llegan a conformar hasta un 70 % de la roca.

❖ Diorita Batolítica

Presenta variaciones composicionales y texturales, probablemente producido por el diferente grado de cristalización relacionada a su nivel de emplazamiento; se distingue la textura granuda en relación a la porfirítica, con cristales de feldspatos, biotita hexagonal y hornblenda. Inclusiones de la primera face intrusiva correspondiente a la gabrodiorita son encontradas muy cerca al contacto con el intrusivo de diorita biotítica de grano medio; distinguido macroscópicamente por presentar una coloración gris clara, textura granular de grano grueso a medio y en algunas zonas porfirítica con predominio de biotita hexagonal marrón y menor proporción de hornblenda.

Esta segunda facie intrusiva comprende aproximadamente el 80 % de los afloramientos del batolito en esta zona y se expone en dos zonas; una al norte de las concesiones entre el cerro Huacramarca y el caserío de Paccha y la otra al sureste entre los caseríos de Tuna Pampa y Pallca. Los afloramientos de la zona norte cercanos al caserío de Tuna Pampa presentan diseminación de sulfuros de

cobre y hierro. Este intrusivo se encuentra generalmente fresco en todos sus afloramientos, a excepción de la zona descrita anteriormente, donde se observa un ensamble de alteración de clorita – arcillas - sericita (argílica intermedia) como un halo restringido solamente a las venillas de cuarzo-sulfuros.

b) Intrusivos Hipabisales

Localmente los intrusivos hipabisales asociados a la mineralización en el proyecto minero afloran a manera de diques, pequeños stocks y ocasionalmente sills, intruyendo las aureolas metamórficas de hornfels, mármol, calizas y ortocuarcitas; siendo clasificados en tres tipos:



Figura 3. Contacto litológico de diorita porfirítica con hornfels de calco silicatos

❖ Diorita Porfirítica

La geometría de este intrusivo generalmente es tabular conformando diques y ocasionalmente sills además de pequeños stocks, principalmente en la zona norte del proyecto; encontrándose asociado además a la estructura mineralizada de la antigua mina, conformando diques contiguos a la veta/falla. La orientación preferencial de los diques en la zona norte es de NE-SO y en menor proporción NO - SE en la zona sur, en las áreas comprendidas entre el flanco oriental del anticlinal y el cerro Acco Cunca. Presenta textura granuda a porfirítica, predominantemente constituido por plagioclasas, menor ocurrencia de hornblenda y muy esporádica presencia de cuarzo cristalizado. Presenta diseminación de pirita que puede variar

de trazas hasta 10 % de porcentaje visual, además de sulfuros de cobre con un rango de trazas a menos de 1 % de porcentaje visual en las zonas adyacentes a la antigua mina.

Se encuentra además débilmente afectado por un ensamble de alteración de sericita-clorita-arcillas. Afloramientos con las mismas características petrológicas se encuentran a continuación del stock de diorita biotítica y en zonas parcialmente cubiertas por depósitos cuaternarios en la quebrada Tuna Pampa y adyacente a la carretera de acceso que pasa por el caserío del mismo nombre. La roca es leucócrata, de textura equigranular de grano medio y en zonas irregulares porfirítica con muy esporádica ocurrencia de cuarzo cristalizado; predominan las plagioclasas y los ferromagnesianos ocurren en un porcentaje mucho menor. Los contactos estructurales con la Diorita Batolítica en el Plutón del proyecto son fáciles de determinar y se diferencian por la ocurrencia de mineralización de pirita, calcopirita y ocasionalmente trazas de calcosina, finamente diseminados y muy ocasionalmente en delgadas venillas paralelas con cuarzo. Intrusiones similares fueron identificadas en el Cerro Acco Cunca, donde se encuentran intruyendo ortocuarcitas y sedimentos calcáreos de la formación Huacaña; conformando “roof pendants” de *skarn* masivo.

❖ **Pórfido Tonalítico**

Afloran principalmente en la zona sur del proyecto, en la parte meridional de la laguna Chihuancocha y se caracterizan por estar compuestos predominantemente por feldespatos y esporádicos fenocristales subredondeados de cuarzo; siendo muy variable la ocurrencia de ferromagnesianos. Sus potencias varían desde algunos centímetros hasta los 3 m, encontrándose ocasionalmente cortados por finas venillas de cuarzo-pirita-calcopirita y molibdenita. La diseminación de sulfuros suele ser variable, no sobrepasando por lo general el 1 % de porcentaje visual; del mismo modo la alteración puede variar desde diques completamente frescos a diques con matriz silicificada y algunas veces con alteración argílica intermedia (sericita-arcillas-clorita). Este intrusivo es el que ha generado la mayor ocurrencia de alteración calco silicatada progradada y mineralización de Cu en el proyecto,

dependiendo claro está del diferente grado de reactividad de la roca caja. Se encuentran emplazados con una orientación NO-SE, intruyendo las secuencias carbonatadas del miembro Paccha y conformando un enjambre de diques paralelos con un espaciamiento aproximado de 10 m entre ellos. Por relaciones de campo, se define que esta roca es posterior a la diorita batolítica, debido a que la corta en varias zonas del proyecto.

❖ **Microdiorita**

Presentan geometría tabular conformando diques y sills que no superan los 80 cm de potencia. Se encuentran constituidos predominantemente por plagioclasas grises, ferromagnesianos y magnetita finamente diseminada, con textura microgranuda. Constituye una de las últimas facies de magmatismo en la zona, solamente previa al emplazamiento de los diques aplíticos.

❖ **Aplitas**

Constituyen las últimas facies de magmatismo residual del Batolito y se emplazan principalmente en fracturas tensionales de rumbo andino, cortando el Plutón de diorita batolítica en varias zonas del proyecto; presentan textura sacaroidea y de color gris claro a rosáceo.

2.4. Geología estructural

Esfuerzos conjugados de compresión y distensión de dirección NE – SO originaron anticlinales y sinclinales con ejes de dirección andina, así como sistemas de fracturas y fallas con desplazamiento horizontal de rumbo N 50°- 60° O, siendo este evento pre mineral que posteriormente serviría como canal alimentador de las fases intrusivas y de las vetas y venillas presentes en la zona.

Otra etapa de deformación se habría producido por el empuje al momento de la intrusión del Plutón de diorita batolítica, generando fracturas tensionales concéntricas por donde se emplazaron los diques de pórfido Tonalítico, tal como se observa en la zona sur del proyecto.

2.4.1. Fallamiento

El aspecto elongado del stock batolítico de diorita biotítica, definido por el contacto entre el intrusivo y las rocas sedimentarias, así como por los numerosos diques identificados en la zona sur del proyecto, nos permiten concluir que las diferentes facies magmáticas, fueron emplazados por zonas de debilidad estructural originada principalmente por fallamiento tensional de orientación NO – SE. Este sistema es predominante, incluso en las etapas posteriores al emplazamiento intrusivo y la formación del *skarn*.

En el cerro Acco Cunca, tanto el stock de diorita/tonalita como el cuerpo de *skarn* son intersecados por dos fallas con rumbos: N70°O y N55°E, generando en la intersección un cuerpo cilíndrico constituido por brechas tectónicas con matriz de roca finamente triturada y reemplazamiento de pirita masiva y menor proporción de calcopirita. Adicionalmente, también se puede observar otros sistemas de fracturamiento con rumbo N – S y ENE – OSO; este último, paralelo al sistema de fallamiento correspondiente a la deflexión de Abancay.



Figura 4. Intersección de fallas, con la consiguiente generación de brechas tectónicas con clastos angulosos de intrusivo y *skarn*, con matriz de roca triturada y pirita masiva en las zonas de falla

2.4.2. Plegamiento

En lo referente a zonas plegadas, estructuradas en periodos de tectónica compresiva, se tiene el desarrollo de pliegues anticlinales y sinclinales, cuyos ejes se encuentran principalmente orientados de NO a SE; estas deformaciones estructurales producidas como consecuencia de esfuerzos de compresión se manifiestan a nivel regional, principalmente en todo el paquete de sedimentos Mesozoicos. Una de estas estructuras plegadas de mayor envergadura es el Anticlinal del proyecto, cuyo eje tiene una dirección NO-SE; su núcleo está constituido por calizas de la formación Chunumayo y se encuentra parcialmente erosionada en esta parte por el río Saccsara. Una reconstrucción de la estructura anticlinal de acuerdo a los buzamientos de las secuencias sedimentarias pone en evidencia su vergencia al suroeste. Los esfuerzos de compresión responsables de este plegamiento hicieron posible que el plano de contacto entre los miembros Paccha y Sayhua sea la superficie de desplazamiento de la falla en la que se desarrolló la mineralización en la antigua Mina en el flanco oriental del anticlinal en mención.



Figura 5. Núcleo parcialmente erosionado del anticlinal del proyecto. Obsérvese los buzamientos opuestos de los estratos en las laderas de la quebrada.

2.4.3. Consideraciones operacionales

El proyecto minero cuenta con recursos medidos e indicados de 250 MTM, los cuales representan a la zona de *skarn* y endo *skarn*, considerando tres dominios geomecánicos con mayor representación en el área de operación. Los dominios geomecánicos están representados por zonas de *skarn*, zona de *hornfels* y por los intrusivos. El proyecto se divide en la zona norte y la zona sur, caracterizados por la mineralización de Cu asociados a la mineralización tipo metasomatismo de contacto entre los intrusivos batolíticos (batolito Andahuaylas Yauri) y las calizas Chunumayo, generando distintos cuerpos mineralizados.



**Figura 6. Perfil geológico del yacimiento de skarn de Cu
Tomado del Departamento de Geología**

Las diferentes características litológicas y de alteración en el modelo geológico tipo skarn de Cu, se observa diferentes dominios geomecánicos, los cuales inciden directamente en las diferentes mallas de perforación y voladura planificadas.

En el presente estudio se analizará la relación de los diferentes dominios geomecánicos y su relación con las variables operacionales de perforación y voladura, asociando al rendimiento de los equipos de carguío.

2.5. Bases teóricas

Las diferentes operaciones mineras tienen diferentes dominios geológicos y geomecánicos, por lo que, el tener un conocimiento adecuado del modelo geológico del yacimiento permitirá realizar un análisis de mayor detalle en la influencia de los parámetros de perforación y voladura asociada al grado de fragmentación, producto de la malla de perforación y las variables de voladura, influirán directamente en el rendimiento de los equipos de carguío, tipo palas eléctricas Caterpillar, modelo CAT 7295 de 45 toneladas de capacidad.

2.5.1. Concepto *mine to mill*

La gestión operacional en minería, considera gestiones independientes las áreas de mina y planta, siendo los objetivos corporativos en términos técnicos y económicos en forma independiente.

Hablar el concepto *mine to mill* (mina a planta) es integrar los resultados operacionales a partir de los resultados de la voladura (granulometría) y su influencia en la etapa de chancado y molienda (conminución), siendo la variable de consumo de energía una de las más sensibles en términos económicos. El presente trabajo permite ver la influencia de la voladura en el rendimiento de los equipos de carguío, considerando la granulometría, factor de potencia y *dig rate* (tasa de excavación) relacionado a las diferentes litologías y tipos de alteración hidrotermal o metasomática.

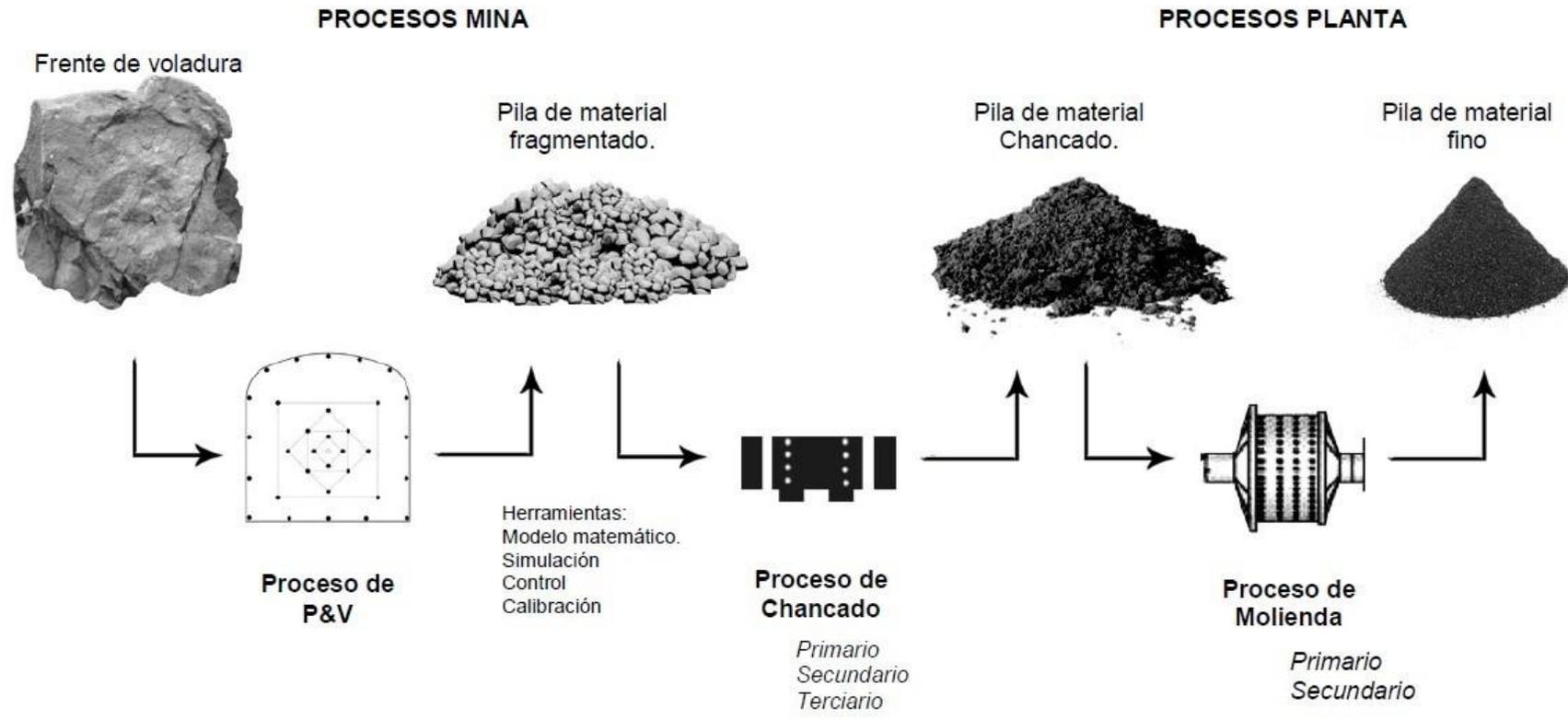


Figura 7. Proceso mine to mill (mina a planta)
Tomado de Mining blog

Si bien es cierto que el concepto *mine to mill* engloba las áreas unitarias de mina y planta, considerando principalmente el efecto que genera los resultados de la voladura en la etapa de chancado y molienda, en la etapa de voladura está relacionado directamente a los diferentes dominios geológicos y geomecánicos presentes en el yacimiento como zona *skarn*, zona de brecha y zona de intrusivos, definiendo las diferentes mallas de perforación y parámetros de voladura. Asimismo, el diseño de conminución en la etapa de chancado y molienda dependerá de la dureza y tipo de mineral a ser conminado, los cuales consideran chancado, primario y secundario, así como molienda primaria y secundaria llegando a definir tamaños de liberación $\leq 100 \mu\text{m}$ (micrones).

Bajo este concepto, hay procesos unitarios que son afectados como el proceso unitario de carguío y acarreo, influyendo directamente en el rendimiento de estos equipos, por lo que el análisis de la granulometría, factor de potencia y *dig rate* nos darán una primera aproximación en el presente estudio.

2.5.2. Proceso de conminución

Uno de los factores que influye el proceso *mine to mill* es el consumo de energía producto de la granulometría del mineral volado, esta granulometría es el resultado de la voladura de los diferentes frentes de producción, por lo que es de vital importancia el efecto que genera las diferentes litologías asociada a sus alteraciones con sus respectivos parámetros de perforación y voladura.

La granulometría del material volado incidirá en forma directa en el consumo de energía, siendo la etapa de conminución (chancado y molienda) que defina el tamaño óptimo en su proceso, siendo el tamaño de tamiz que dejará el material fragmentado y molido considerado como F80 y P80 representado en micrones (μm).

EI F80: define el tamaño del tamiz que representa el 80 % de mineral posterior a la voladura durante el proceso de alimentación a la chancadora.

El P₈₀: define el tamaño del tamiz que representa el 80% de mineral molido posterior a la etapa de conminución.

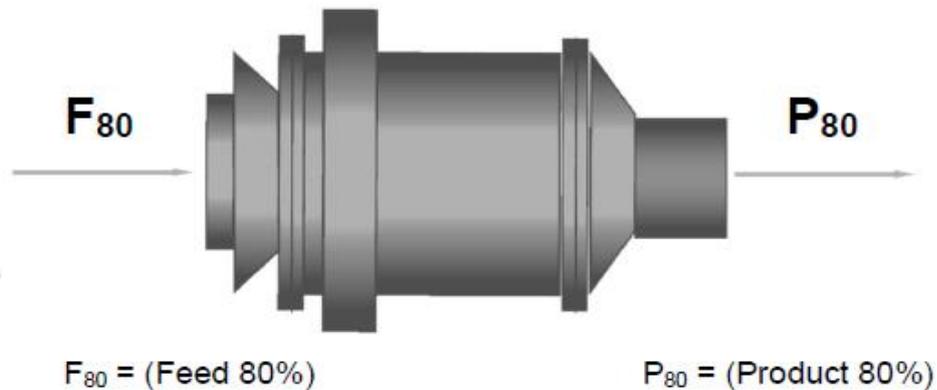


Figura 8. Proceso conminución (mine to mill)

2.5.3. Dig rate

Uno de los parámetros de la perforación y voladura asociada al grado de fragmentación post voladura considera la relación de carga del tonelaje volado en un determinado tiempo por los equipos de carguío, siendo esta relación denominada como *dig rate* o tasa de excavación.

- a) La rapidez con la que carga la pala o dig rate se relaciona cuando se deposita el primer pase hasta que termina de depositar el último pase, expresado en toneladas/hora (ton/hr).

$$\text{Dig Rate } \left(\frac{tn}{h}\right) = \frac{\text{tonelaje nominal}}{\text{tiempo de carguío}}$$

Donde:

- ✓ Tonelaje Nominal = Capacidad de Carga Útil del Equipo * Factor de Ajuste
- ✓ Factor Ajuste = (TMH - % humedad) / TMS (Reporte equipos LEICA)

Por lo tanto, son las toneladas que el camión puede cargar.

- b) Tiempo carguío: es el tiempo que inicia el carguío de un camión hasta su despacho.

El *dig rate*, no considera tiempo de cuadrado ni demoras, por lo que la perforación y voladura tiene incidencia directa.

2.5.4. Consideraciones de equipos de carguío

Para entender el análisis de las variables de perforación y voladura se caracterizará las diferentes litologías con sus alteraciones presentes en los frentes de operación. Los resultados de la voladura como grado de fragmentación (P80) y *dig rate*, asociados a las diferentes mallas de perforación y factor de potencia, podrá incidir en el rendimiento de los equipos de carguío. Los equipos de carguío evaluados son las palas eléctricas Caterpillar modelo CAT 7295.



ESPECIFICACIONES PRINCIPALES

Carga útil del balde

45 t

Capacidad del balde

18,4 a 39,0 m³ (24 a 51 yd³)

Peso de trabajo con balde y varillajes estándares

793259 kg

**Figura 9. Pala eléctrica Caterpillar, modelo CAT7295.
Tomado de Catalogo CAT**

2.5.5. Consideraciones de producción

La producción del proyecto, considera un tonelaje total de 142 ktp, considerando un tonelaje de mineral de 85 ktp y de desmonte en 57 ktp, con un REM de 0.68. El típico de sistema de explotación en la operación es de pala camión, considerando minerales sulfurados de Cu para su flotación.

El cumplimiento del programa de producción asociado a los diferentes frentes de operación está relacionado a su litología, alteración, dureza, etc. Para el presente estudio se analizó diferentes litologías con su respectiva alteración hidrotermal, mallas de perforación, factor de potencia y mezcla promedio de explosivo.

La mezcla explosiva MEQ considera el Quantex 73, con un 70 % de emulsión gasificable tipo Slurrex Q, potenciada con un 30 % de nitrato de amonio Quantex.

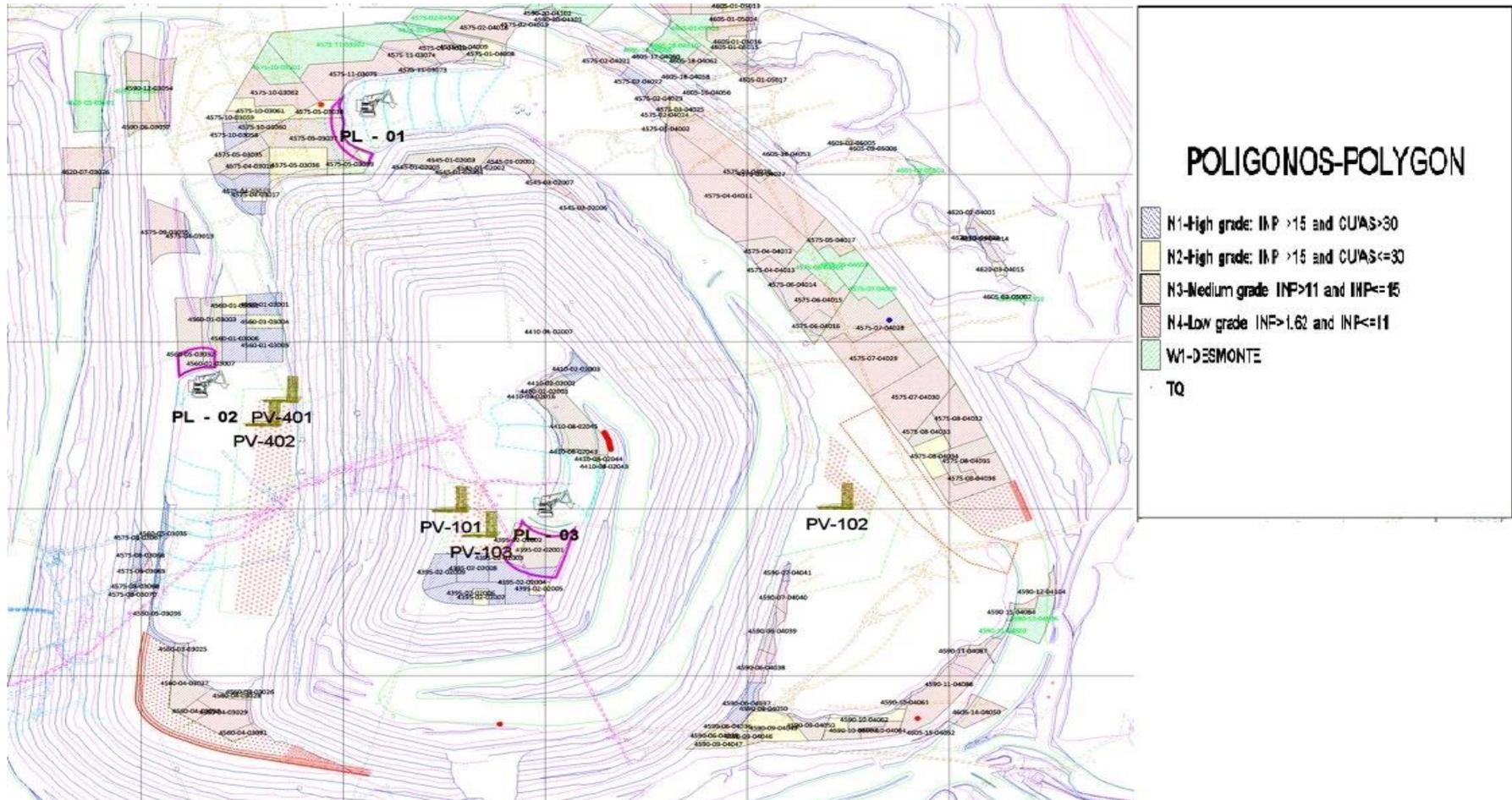
Los principales beneficios de QUANTEX 73 son:

Tabla 3. Propiedades de Quantex 73

- Excelente resistencia al agua.
- Explosivo a granel fácil de operar en terreno (bombeado o vaciado).
- Se adapta a distintos tipos de terreno debido a su alto rango de densidades.
- Es amigable con el ambiente al reducir en un 18% la huella de carbono, en comparación a explosivos convencionales (SGS).
- Optimiza la tronadura lo que maximiza el resultado en la fragmentación de roca.
- Su diseño permite identificar de manera rápida si la gasificación se logró de manera óptima.
- Optimiza espacios de almacenamiento, el Slurrex Q (inerte) no requiere distancias de seguridad según la legislación vigente.

Tomado de Quantex® 73 - Exsa

Los principales parámetros de perforación y voladura se resumen en las siguientes figuras:



**Figura 10. Plano en planta operación mina
Tomado del Departamento de Planeamiento**

Tabla 4. Producción por litología

PRODUCCIÓN

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Días	25	28	29	31	30	31	25	31	30	30	31	31	352
Tonelaje (M+D)	3,668,326	4,653,793	4,282,729	4,227,375	3,823,371	3,786,253	3,909,235	4,433,529	4,378,816	4,340,797	4,345,054	4,525,762	50,375,039
Mineral Ley Cu @0.75 %	2,310,632	2,571,710	2,219,931	2,576,728	2,404,385	2,104,097	2,295,613	2,866,208	2,750,044	2,862,577	2,625,946	2,513,950	30,101,819
Desmonte	1,357,694	2,082,083	2,062,798	1,650,648	1,418,986	1,682,157	1,613,621	1,567,322	1,628,771	1,478,220	1,719,108	2,011,813	20,273,221
REM	0.59	0.81	0.93	0.64	0.59	0.80	0.70	0.55	0.59	0.52	0.65	0.80	0.67

PRODUCCIÓN POR LITOLOGIA

UNIDAD LITOLÓGICA	MALLA	F.P.	25	28	29	31	30	31	25	31	30	30	31	31	Total
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
SKARN NAGNETITA	9 x 7.8	0.36	337,607	334,231	79,845	548,348	488,218	438,574	579,871	549,409	422,112	597,316	483,502	515,074	5,374,104.85
BRECHA	11.5 x 10	0.18	226,502	375,946	8,686	301,980	220,533	252,417	314,433	450,082	431,706	601,927	530,374	445,827	4,160,411.32
HORNFELS	8.5 x 7.4	0.38	527,877	224,246	527,194	207,820	440,698	396,840	233,447	490,754	575,995	507,317	437,805	411,976	4,981,969.32
INTRUSIVO A	5.7 x 4.9	0.79	1,050,624	1,101,852	1,007,846	1,098,418	759,843	644,419	675,655	812,228	861,699	853,027	825,660	765,804	10,457,076.29
SKARN	11.5 x 10	0.18	149,467	240,414	239,271	217,102	271,875	238,184	250,444	335,284	233,252	127,014	237,872	309,877	2,850,056.05
INTRUSIVO B	7 x 6.1	0.59	18,555	295,022	357,089	203,059	223,217	133,664	241,763	228,451	225,281	175,977	110,733	65,392	2,278,203.34
TOTAL			2,310,632	2,571,710	2,219,931	2,576,728	2,404,385	2,104,097	2,295,613	2,866,208	2,750,044	2,862,577	2,625,946	2,513,950	30,101,818.68

Tomado del Departamento de Planeamiento

2.5.6. Consideraciones de perforación y voladura

El plan de producción considera durante el periodo de estudio una producción total de 30,101,819 MTM, teniendo en cuenta los diferentes frentes de operación asociadas a su litología y alteración correspondiente.

Se considera las unidades: *skarn* de magnetita con una producción de 5,374,104 toneladas, con una incidencia del 17.85 %; la unidad de brecha con una producción de 4,160,411 toneladas, con una incidencia del 13.82 %; la unidad de *hornfels* con una producción de 4,981,969 toneladas, con una incidencia del 16.55 %; la unidad de intrusivo A con una producción 10,457,075 toneladas con una incidencia del 34.74 %; la unidad *skarn* con una producción de 2,850,056 toneladas, con una incidencia del 9.47 % y la unidad intrusivo B con un tonelaje 2,278,203 toneladas con una incidencia 7.57 %.

Tabla 5. Resumen de tonelaje por litología

UNIDAD LITOLÓGICA	TONELAJE	INCIDENCIA
UNIDAD SKARN MAGNETITA (USKSM)	5,374,104	17.85%
UNIDAD BRECHA (UBXSI)	4,160,411	13.82%
UNIDAD HORNFELS (UHORN)	4,981,969	16.55%
UNIDAD INTRUSIVO A (UINTA)	10,457,075	34.74%
UNIDAD SKARN (USKAT)	2,850,056	9.47%
UNIDAD INTRUSIVO (UINTB)	2,278,203	7.57%
TOTAL	30,101,819	100.00%

Tomado del Departamento de Planeamiento

Los parámetros de perforación y voladura para el mismo periodo de tiempo analizado, considera el explosivo MEQ 73 para las diferentes unidades litológicas descritas en el resumen anterior, donde se describe lo siguiente:

❖ Unidad Skarn Magnetita:

Considera un factor de potencia de 0.36 kg/t, con una malla de 9 x 7.8 m, con un total de 6,647 taladros, con 6,647 retenedores cónicos y un total de material de

voladura en 11,298,710 kg el cual considera nitrato de amonio, emulsión, diésel y nitrito de sodio.

Tabla 6. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Skarn magnetita

USKSM			
Tonelaje			5,374,104
Factor de Potencia	0.36		
Malla	9 x 7.8		
Mezcla Promedio	MEQ 73		
Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	kg.	1,643,960
Emulsión Matriz	Emulsión Matriz	kg.	3,937,596
Diesel		kg.	50,851
Nitrito de Sodio		kg.	16,948
# taladros			6,647
Retenedores de energía	Retenedor Conico	Unid.	6,647
Generador de Camara de Aire	Taponex	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Wayra	Unid.	0
Mangas	Cartuflex	Unid.	0

Tomado del Departamento de Planeamiento

❖ **Unidad de Brecha (UBXSI):**

Considera un factor de potencia de 0.18 kg/t, con una malla de 11.5 x 10 m, con un total de 2,252 taladros, con 2,252 cámaras de aire y un total de material de voladura en 1,520,034 kg el cual considera nitrato de amonio, emulsión, diésel y nitrito de sodio.

Tabla 7. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad de Brecha.

UBXSI			
Tonelaje			4,160,411
Factor de Potencia	0.18		
Malla	11.5 x 10		
Mezcla Promedio	MEQ 73		
Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	kg.	221,165
Emulsión Matriz	Emulsión Matriz	kg.	529,731
Diesel		kg.	6,841
Nitrito de Sodio		kg.	2,280
# taladros			2,252
Retenedores de energía	Retenedor Conico	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Taponex	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Wayra	Unid.	2,252
Mangas	Cartuflex	Unid.	0

Tomado del Departamento de Planeamiento

❖ **Unidad de Hornfels (UHORN):**

Considera un factor de potencia de 0.38 kg/t, con una malla de 8.5 x 7.4 m, con un total de 3,368 taladros, con 3,368 retenedores cónicos y un total de material de voladura en 3,776,020 kg el cual considera nitrato de amonio, emulsión, diésel y nitrito de sodio.

Tabla 8. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Hornfels

UHORN			
Tonelaje			4,981,969
Factor de Potencia	0.38		
Malla	8.5 x 7.4		
Mezcla Promedio	MEQ 73		
Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	kg.	549,409
Emulsión Matriz	Emulsión Matriz	kg.	1,315,939
Diesel		kg.	16,997
Nitrito de Sodio		kg.	5,664
# taladros			3,368
Retenedores de energía	Retenedor Conico	Unid.	3,368
Generador de Camara de Aire	Taponex	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Wayra	Unid.	0
Mangas	Cartuflex	Unid.	0

Tomado del Departamento de Planeamiento

❖ **Unidad Intrusivo A (UINTA):**

Considera un factor de potencia de 0.79 kg/t, con una malla de 5.7 x 4.9 m, con un total de 18,725 taladros, con 18,725 cámaras de aire y un total de material de voladura en 16,588,329 kg el cual considera nitrato de amonio, emulsión, diésel y nitrito de sodio.

Tabla 9. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad de Intrusivo A

UINTA			
Tonelaje			10,457,075
Factor de Potencia	0.79		
Malla	5.7 x 4.9		
Mezcla Promedio	MEQ 73		
Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	kg.	2,413,595
Emulsión Matriz	Emulsión Matriz	kg.	5,781,017
Diesel		kg.	74,670
Nitrito de Sodio		kg.	24,882
# taladros			18,725
Retenedores de energía	Retenedor Conico	Unid.	37,449
Generador de Camara de Aire	Taponex	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Wayra	Unid.	18,725
Mangas	Cartuflex	Unid.	0
m ³ de gravilla			0

Tomado del Departamento de Planeamiento

❖ **Unidad Skarn (USKAT):**

Considera un factor de potencia de 0.18 kg/t, con una malla de 11.5 x 10 m, con un total de 1,581 taladros, con 1,581 cámaras de aire y un total de material de voladura en 1,041,287 kg el cual considera nitrato de amonio, emulsión, diésel y nitrito de sodio.

Tabla 10. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Skarn

USKAT			
Tonelaje			2,850,056
Factor de Potencia	0.18		
Malla	11.5 x 10		
Mezcla Promedio	MEQ 73		
Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	kg.	151,507
Emulsión Matriz	Emulsión Matriz	kg.	362,888
Diesel		kg.	4,687
Nitrito de Sodio		kg.	1,562
# taladros			1,581
Retenedores de energía	Retenedor Conico	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Taponex	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Wayra	Unid.	1,581
Mangas	Cartuflex	Unid	0
m ³ de gravilla			0

Tomado del Departamento de Planeamiento

❖ **Unidad Intrusivo B (UINTB):**

Considera un factor de potencia de 0.56 kg/ton, con una malla de 7 x 6.1 m, con un total de 2,739 taladros, con 5,477 retenedores cónicos y un total de material de voladura en 2,546,046 kg el cual considera nitrato de amonio, emulsión, diésel y nitrito de sodio.

Tabla 11. Resumen de parámetros de perforación y voladura en la unidad Skarn

UINTB			
Tonelaje			2,278,203
Factor de Potencia	0.56		
Malla	7 x 6.1		
Mezcla Promedio	MEQ 73		
Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	kg.	370,450
Emulsión Matriz	Emulsión Matriz	kg.	887,297
Diesel		kg.	11,457
Nitrito de Sodio		kg.	3,819
# taladros			2,739
Retenedores de energía	Retenedor Conico	Unid.	5,477
Generador de Camara de Aire	Taponex	Unid.	0
Generador de Camara de Aire	Wayra	Unid.	0
Mangas	Cartuflex	Unid	0
m ³ de gravilla			0

Tomado del Departamento de Planeamiento

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

La tesis es de nivel explicativo, donde se aplica el método inductivo – deductivo, para mejorar el rendimiento de los equipos de carguío mediante el análisis de los parámetros operacionales de perforación y voladura (factor de potencia, P80 y *dig rate*), mediante el concepto *mine to mill*, en una mina a tajo abierto, periodo 2021.

a) Método general

Se aplica el método inductivo – deductivo, donde se observará e investigará las variables operacionales de perforación y voladura, considerando la producción en las diferentes litologías asociadas a su alteración hidrotermal. Este análisis permitirá analizar el factor de potencia, granulometría (P80) y el *dig rate*, los que influirán en el rendimiento de los equipos de carguío.

b) Métodos específicos

Se determinará la forma de recolección y procesamiento de datos, que influirán en el rendimiento de los equipos de carguío, asociado a los parámetros de perforación y voladura.

- ✓ **Recopilación de informes anteriores.** Se procesará y analizará la data asociada al master de perforación y voladura, considerando las diferentes litologías y su alteración hidrotermal presentes en el plan de producción. Se analizará las variables de perforación y voladura en los diferentes frentes operacionales de los periodos anteriores y se relacionará con el periodo de estudio.

- ✓ **Trabajo de campo.** Se observará en operación mina las variables asociadas a las actividades de perforación y voladura, asociando al rendimiento de los equipos de carguío.

- ✓ **Trabajo de gabinete.** Se procesará la data obtenida en campo e informes asociada al tema de investigación, bajo el concepto *mine to mill*.

- ✓ **Resultados.** El análisis e interpretación de resultados, de las variables operacionales de perforación y voladura, permitirá entender el rendimiento de los equipos de carguío, asociado a su granulometría (P80) y el di grate de las palas eléctricas.

3.2. Diseño de la investigación

El trabajo de investigación es del tipo aplicado, donde se utiliza y aplica las teorías que se aplican en las investigaciones básicas, del cual depende el resultado del presente trabajo. Los resultados obtenidos se fundamentan en el estudio detallado de las variables operacionales de perforación y voladura, asociada a los diferentes dominios geológicos y geomecánicos.

3.2.1. Tipo de diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es de diseño no experimental, el cual se fundamentará en un tiempo de 03 meses, se describirá y registrará las variables operacionales de perforación y voladura, y la influencia que estos influyen a través

del tiempo, considerando el factor de potencia, granulometría (P80) y dig rate de las diferentes litologías presentes con sus alteraciones hidrotermales asociadas.

GNO: 01 (T1, T2, T3, T4)

02 (T1, T2, T3, T4)

GNO: 01 y 02

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población pertenece a los parámetros de perforación y voladura de la unidad minera a tajo abierto.

3.3.2. Muestra

Pertenece a los equipos de carguío: pala 01, pala 02 y pala 03 con sus respectivos dominios geológicos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- Recopilación y revisión de información de perforación y voladura.
- Trabajo de campo.
- Análisis de información de campo de perforación y voladura.
- Uso de software minero para determinar la granulometría post voladura.

3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Plantillas de Cálculo y procesador de texto.
- Libros, revistas e informes asociadas al concepto mine to mill.
- Informes en general de internet.
- Computadora.
- Otros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

En el presente capítulo se presentan los resultados de la tesis, resumiendo el análisis de las variables operacionales de perforación y voladura y su incidencia en el rendimiento de equipos de carguío bajo el concepto *mine to mill*.

5.1.1. Consideraciones del concepto *mine to mill*

Las consideraciones generales, del concepto *mine to mill*, es la influencia que genera la granulometría post voladura en la etapa de chancado y molienda asociada al mayor consumo de energía. El presente estudio permitirá relacionar esta granulometría al rendimiento de los equipos de carguío, considerando una mejora en el *dig rate* (tasa de excavación, t/h). Por tal motivo, se analizará los equipos de carguío Pala 1, Pala 2 y Pala 3, con su respectiva litología y alteración hidrotermal. Analizar el rendimiento de los equipos de carguío será función de los parámetros operacionales de perforación y voladura, siendo el factor de potencia, la granulometría (P80) y el *dig rate* variables a analizar.

a) Análisis de Características de producción

✓ Consideraciones litológicas y de alteración

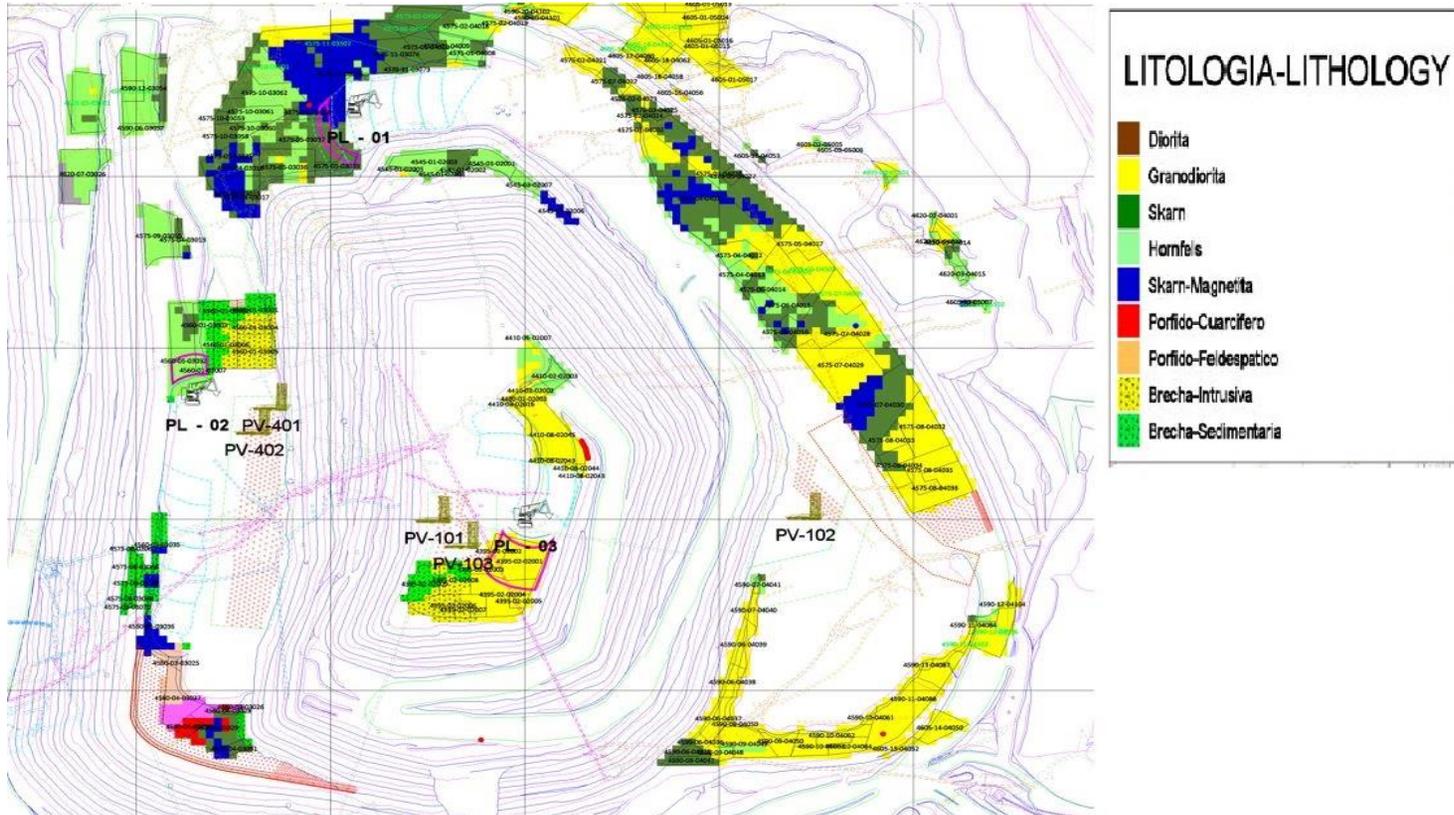


Figura 11. Plano en planta de las diferentes litologías en el yacimiento Tomado del Departamento de Planeamiento

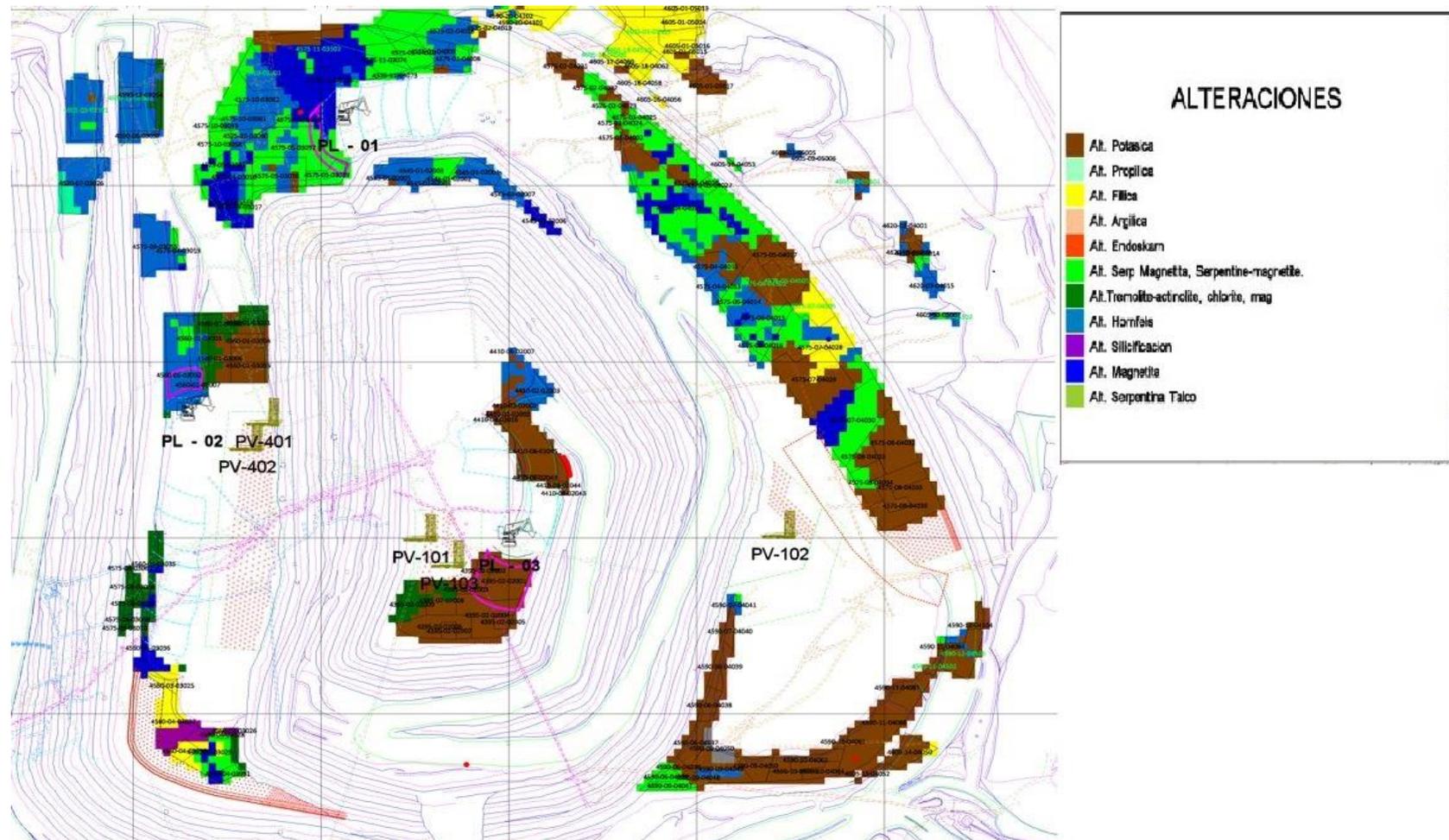


Figura 12. Plano en planta de las diferentes alteraciones asociadas en el yacimiento Tomado del Departamento de Planeamiento

Las unidades litológicas asociadas a los planes de producción son la unidad *skarn* magnetita, la unidad de brecha, la unidad *hornfels*, la unidad intrusivo A, la unidad *skarn* y la unidad intrusivo B.

✓ **Consideraciones de producción**

La producción asociada a los diferentes frentes operacionales está asociada a las diferentes litologías con su alteración hidrotermal presente, así como a las palas eléctricas Pala 01, Pala 02 y Pala 03.

El destino de mineral por cada equipo de carguío estará asociado a destino chancadora con 82 ktp y con destino a zona de acopio con 105 ktp con leyes promedio de Cu@0.68 % y Cu@0.42 % respectivamente. El destino de mineral considera lo siguiente:

- Destino a chancadora:

La Pala 01: considera un tonelaje total de 15,000 toneladas asociada a la zona de *skarn* (actinolita y serpentina) y un promedio de dureza de 2.0.

La Pala 03: considera un tonelaje total de 10,000 toneladas asociada a la zona de intrusivo y un promedio de dureza de 3.45.

La Pala 02: considera un tonelaje total de 57,000 toneladas asociada a la zona de acopio considerando a las zonas de intrusivo y zona de *skarn* y un promedio de dureza de 2.30.

- Destino a stock:

La Pala 01: considera un tonelaje total de 30,000 toneladas asociada a los stocks 3 y 5, asociadas a la zona *skarn* y un promedio de dureza de 2.0.

La Pala 02: considera un tonelaje total de 45,000 toneladas asociada a los stocks 3 y 7, asociadas a la zona de brecha, *skarn* y *hornfels*, y un promedio de dureza de 2.32.

La Pala 03: considera un tonelaje total de 30,000 toneladas asociada a los stocks 3 y 5, asociadas a la zona de intrusivo tipo A y un promedio de dureza de 3.62.

Tabla 12. Resumen de producción asociado a las diferentes litologías, alteración hidrotermal y equipos de carguío

MINERAL A CHANCADORA

Equipo de Carguío	Polígonos	Ton	Cu	Bl	Dureza	Talco-XRD	Litología (%)					Alteración (%)					Mo	DENS	
			Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	BXFI	BXFS	Intrusivo	skarn	Hornfels	Intrusivo A	Intrusivo B	Skarn Actinolita	Skarn Serpentina	Hornfels			
PL001	4575-05-03038	1,000	0.65	15.10	2.00	9.08	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	90.00	0.00	0.00	3.29
PL001	4575-05-03039	14,000	0.77	14.45	2.00	7.37	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	16.15	83.85	0.00	0.00	2.86	
PL003	4395-02-02002	9,000	0.63	25.00	3.15	0.03	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	2.60
PL003	4395-02-02004	1,000	0.93	25.00	3.74	0.87	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	2.60
PL002	Stock #01	30,000	0.54	14.63	2.30	2.10	26.32	22.83	33.72	11.42	5.71	50.62	3.25	29.00	11.42	5.71	0.03	2.00	
PL002	Stock #05	27,000	0.80	15.00	2.30	3.77	0.00	0.00	34.00	66.00	0.00	32.00	2.00	43.00	23.00	0.00	0.03	3.00	
Ton Total		82,000	0.68	15.99	2.36	3.39	9.629	8.352	35.727	44.202	2.089	41.25	1.85	27.65	27.16	2.09	0.02	2.56	

MINERAL A STOCK

Stock	Equipo de Carguío	Polígonos	Ton	Cu	Bl	Dureza	Talco-XRD	Litología					Alteración					Mo	DENS
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	BXFI	BXFS	Intrusivo	skarn	Hornfels	Intrusivo A	Intrusivo B	Skarn Actinolita	Skarn Serpentina	Hornfels		
Stock -3	PL001	4575-05-03037	21,000	0.52	14.11	2.00	9.46	0.00	0.00	1.73	91.91	6.36	1.73	0.00	16.60	75.32	6.36	0.00	2.77
Stock -5	PL001	4575-05-03038	6,000	0.65	15.10	2.00	9.08	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	10.00	90.00	0.00	0.00	3.29
Stock -3	PL001	4575-05-03038	3,000	0.48	17.24	2.00	8.66	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	9.47	90.54	0.00	0.00	3.36
Stock -7	PL002	4560-01-03007	12,000	0.19	12.70	2.38	3.00	1.79	29.91	0.00	0.00	68.30	1.79	0.00	29.91	0.00	68.30	0.01	2.63
Stock -3	PL002	4560-05-03032	33,000	0.35	14.40	2.26	3.87	0.00	10.60	0.00	14.10	75.30	0.00	0.00	15.30	9.40	75.30	0.01	2.69
Stock -3	PL003	4395-02-02001	30,000	0.46	25.00	3.62	0.20	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	2.60
Ton Total		105,000	0.42	17.30	2.59	4.27	0.204	6.750	28.917	31.386	32.743	29.121	0.000	12.388	25.747	32.743	0.01	2.73	

Tomado del Departamento de Planeamiento

5.1.2. Análisis de parámetros de perforación y voladura

Los parámetros de perforación y voladura están relacionados a su litología y alteración asociada, así como su dureza siendo estos descritos a continuación:

a) Unidad Skarn (actinolita – tremolita) – dureza 0 a 2

La unidad litológica está representada por el *skarn* del tipo actinolita – tremolita con una densidad de roca de 2.5 gr/cc, un tonelaje teórico de 4,294.94 t y un factor de potencia de 0.18 kg/t.

Los parámetros de perforación, considera una malla de perforación de 11.5 x 10 m, altura de banco de 15 m y sobre perforación de 2.5 m.

Los parámetros de voladura, considera el tipo de explosivo MEQ 73, el cual considera: nitrato quantex 29.1%, emulsión gasificada 69.7%, nitrito de sodio 0.3% y diésel 0.9%, asimismo la densidad de explosivo es de 1.375 gr/cc, con una altura de carga de 7.5 m, taco 9.0 m y una carga por taladro de 785 kg/tal.

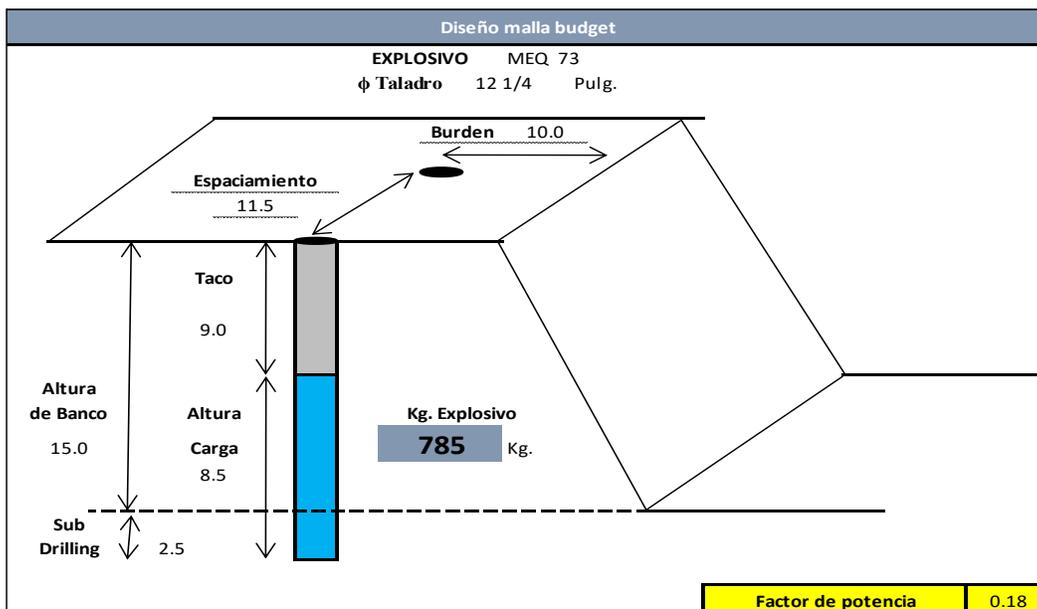


Figura 13. Diseño de malla de perforación skarn (actinolita – tremolita)

Tabla 13. *Parámetros de perforación y voladura en la zona Skarn (actinolita – tremolita).*

SUAVE: 0.0 - 2.0		(SKAP 2.30)
DATOS GENERALES		
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.5

Parámetros de Perforación		
ALTURA DE BANCO	m.	15.0
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	12 1/4
MALLA		11.5 x 10
ESPACIAMIENTO	m.	11.50
BURDEN	m.	10.0
SUB DRILLING	m.	2.5
ALTURA TALADRO	m.	17.5
FACTOR ESBELTEZ		1.8

Parametros de voladura		
Tipo explosivo		MEQ 73
Nitrato Quantex		29.1%
Emulsión Gasificada		69.7%
Nitrito de Sodio		0.3%
Diesel		0.9%
Densidad Explosivo	gr/cc	1.375
Densidad lineal	kg/m.	104.6
Altura de carga	m.	7.5
Factor de esponjamiento	m.	1.0
Retenedor de energía "Con	Unid	
Taponex	Unid	
Wayra	Unid	1.0
Mangas	Unid	
Taco	m.	9.0
Carga/ Taladro	kg/Tal	785

Altura por taponex		0
Altura poe Wayra		0
Altura de carga con accesorios		7.5
TONELAJE		
TEORICO	Ton.	4294.94
FACTOR DE POTENCIA		
	kg/Ton.	0.18

b) Unidad Brecha – dureza 2 a 2.5

La unidad litológica está representada por la Brecha (fragmentos sedimentarios e ígneos) con una densidad de roca de 2.5 gr/cc, un tonelaje teórico de 4,295 ton y un factor de potencia de 0.18 kg/t.

Los parámetros de perforación consideran una malla de perforación de 11.5 x 10 m, altura de banco de 15 m y sobre perforación de 2.5 m.

Los parámetros de voladura consideran el tipo de explosivo MEQ 73, el cual considera: nitrato quantex 29.1%, emulsión gasificada 69.7%, nitrito de sodio 0.3% y diésel 0.9%, asimismo la densidad de explosivo es de 1.375 gr/cc, con una altura de carga de 7.5 m, taco 9.0 m y una carga por taladro de 785 kg/tal.

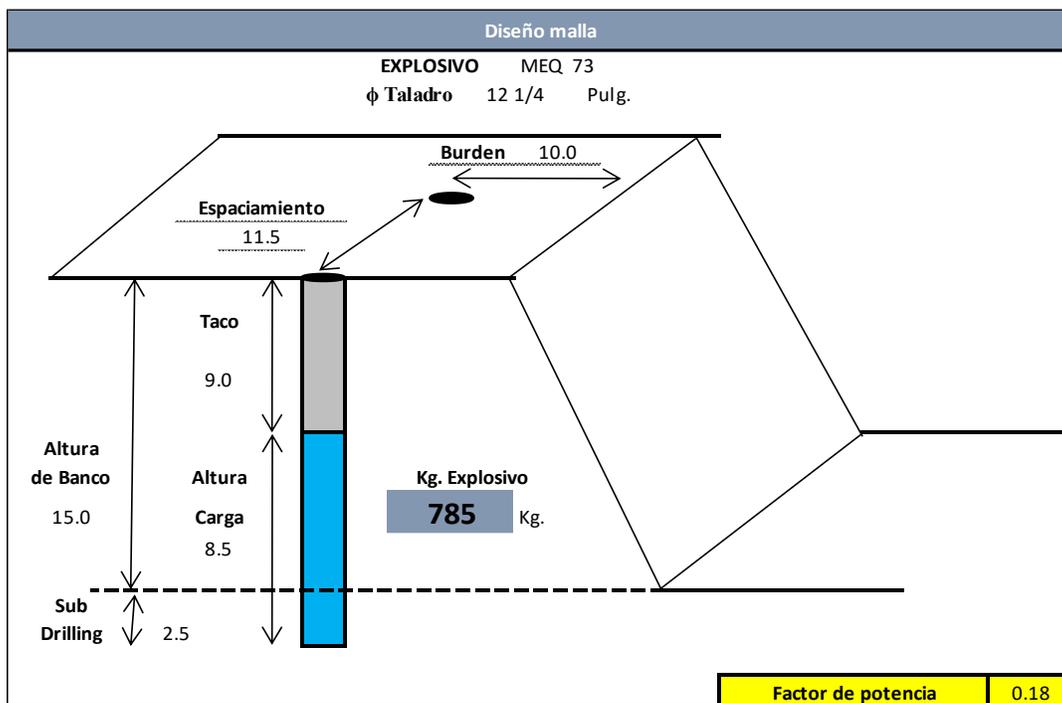


Figura 14. Diseño de malla de perforación zona de brecha

Tabla 14. *Parámetros de perforación y voladura en la zona de brecha*

MEDIO-SUAVE: 2.0- 2.5 (UBXSI 2.20)		
DATOS GENERALES		
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.5

Parámetros de Perforación		
ALTURA DE BANCO	m.	15.0
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	12 1/4
MALLA		11.5 x 10
ESPACIAMIENTO	m.	11.5
BURDEN	m.	10.0
SUB DRILLING	m.	2.5
ALTURA TALADRO	m.	17.5
FACTOR ESBELTEZ		1.8

Parametros de voladura		
Tipo explosivo		MEQ 73
Nitrato Quantex		29.1%
Emulsión Gasificada		69.7%
Nitrito de Sodio		0.3%
Diesel		0.9%
Densidad Explosivo	gr/cc	1.375
Densidad lineal	kg/m.	104.6
Altura de carga	m.	7.5
Factor de esponjamiento	m.	1.0
Retenedor de energía "Con	Unid	
Taponex	Unid	
Wayra	Unid	1.0
Mangas	Unid	
Taco	m.	9.0
Carga/ Taladro	kg/Tal	785

Altura por taponex	0
Altura poe Wayra	0
Altura de carga con accesorios	7.5

TONELAJE		
TEORICO	Ton.	4295

FACTOR DE POTENCIA	kg/Ton.	0.18
--------------------	---------	------

c) Unidad Skarn Magnetita – dureza 2 a 2.5

La unidad litológica está representada por la unidad Skarn de magnetita con una densidad de roca de 2.5 gr/cc, un tonelaje teórico de 2,631 t y un factor de potencia de 0.36 kg/t.

Los parámetros de perforación, considera una malla de perforación de 9 x 7.8 m, altura de banco de 15 m y sobre perforación de 1.5 m.

Los parámetros de voladura, considera el tipo de explosivo MEQ 73, el cual considera: nitrato quantex 29 %, emulsión gasificada 70 %, nitrito de sodio 0.3% y diésel 0.9 %, asimismo la densidad de explosivo es de 1.375 gr/cc, con una altura de carga de 9 m, taco 6.5 m y una carga por taladro de 942 kg/tal.

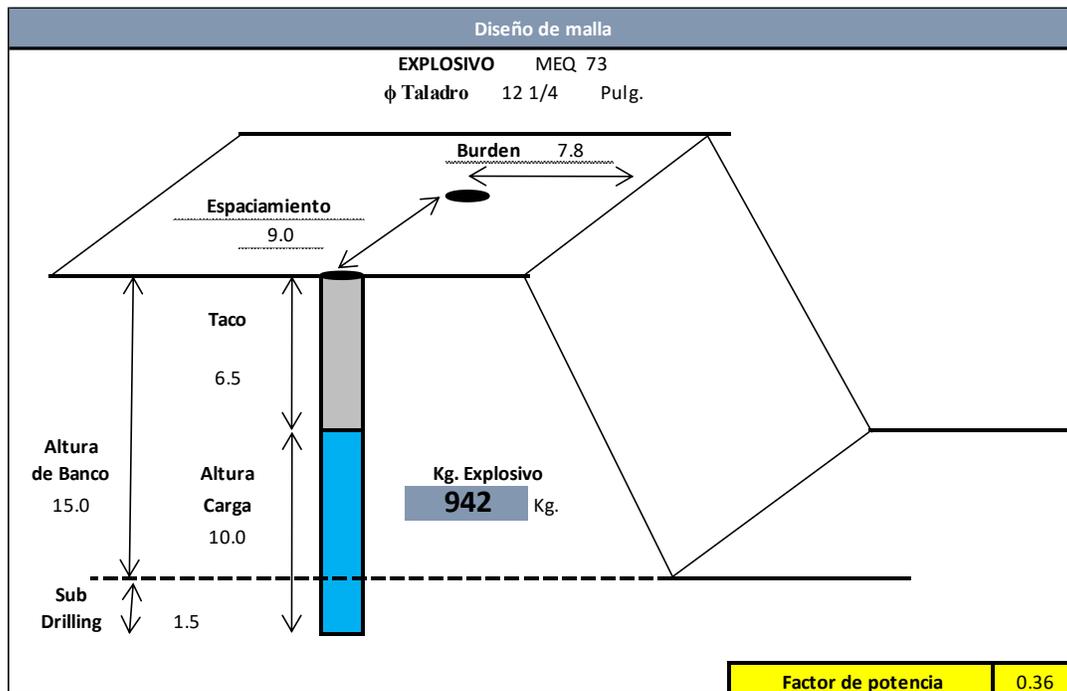


Figura 15. Diseño de malla de perforación zona de skarn de magnetita

Tabla 15. *Parámetros de perforación y voladura en la zona de skarn de magnetita.*

MEDIO - SUAVE: 2.0 - 2.5 (USKSM 2.4)		
DATOS GENERALES		
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.5

Parámetros de Perforación		
ALTURA DE BANCO	m.	15.0
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	12 1/4
MALLA		9 x 7.8
ESPACIAMIENTO	m.	9.0
BURDEN	m.	7.8
SUB DRILLING	m.	1.5
ALTURA TALADRO	m.	16.5
FACTOR ESBELTEZ		2.1

Parametros de voladura			
Tipo explosivo		MEQ	73
Nitrato Quantex			29%
Emulsión Gasificada			70%
Nitrito de Sodio			0.3%
Diesel			0.9%
Densidad Explosivo	gr/cc		1.375
Densidad lineal	kg/m.		104.6
Altura de carga	m.		9.0
factor de Esponjamiento	m.		1.0
Retenedor de energía "Conical"	Unid		1.0
Taponex	Unid		
Wayra	Unid		
Mangas	Unid		
Taco	m.		6.5
Carga/ Taladro	kg/Tal		942

Altura por taponex		0
Altura poe Wayra		0
Altura de carga con accesorios		9.0
TONELAJE		
TEORICO	Ton.	2631
FACTOR DE POTENCIA		
	kg/Ton.	0.36

d) Unidad Hornfels – dureza 2.5 a 3.0

La unidad litológica está representada por la unidad Hornfels con una densidad de roca de 2.5 gr/cc, un tonelaje teórico de 2,346 ton y un factor de potencia de 0.38 kg/ton.

Los parámetros de perforación, considera una malla de perforación de 8.5 x 7.4 m, altura de banco de 15 m y sobre perforación de 1.5 m.

Los parámetros de voladura, considera el tipo de explosivo MEQ 73, el cual considera: nitrato quantex 29.1 %, emulsión gasificada 69.7 %, nitrito de sodio 0.3% y diésel 0.9%, asimismo la densidad de explosivo es de 1.375 gr/cc, con una altura de carga de 8.5 m, taco 7.0 m y una carga por taladro de 889 kg/tal.

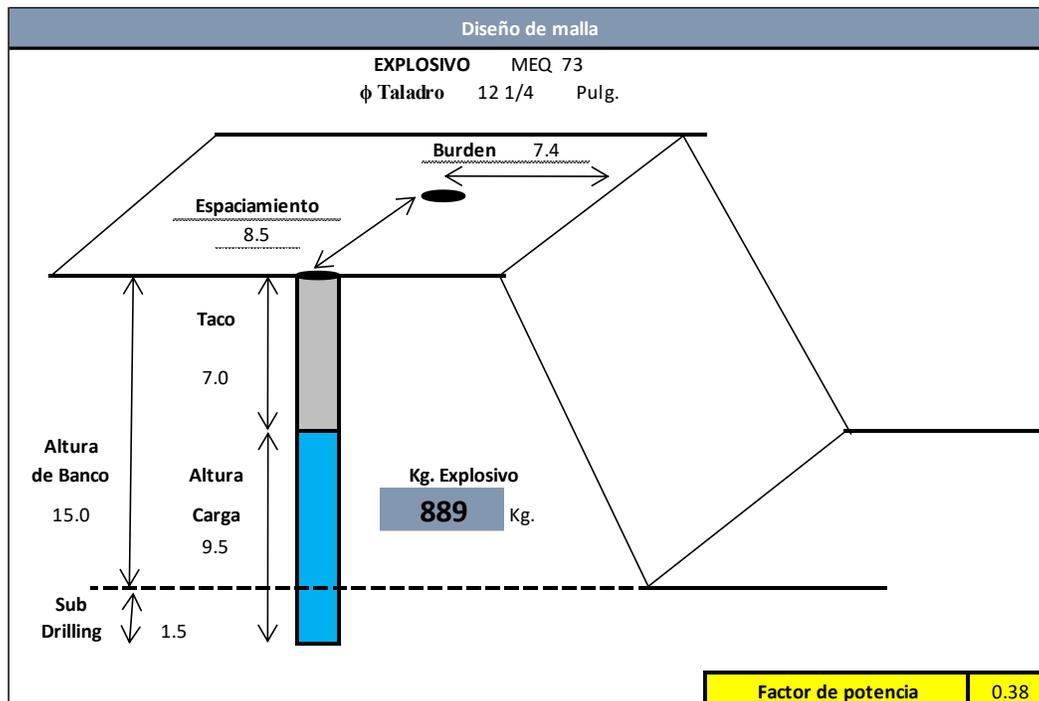


Figura 16. Diseño de malla de perforación zona de hornfels

Tabla 16. *Parámetros de perforación y voladura en la zona de hornfels*

MEDIO: 2.5 - 3.0 (HORNFELS 2.80)		
DATOS GENERALES		
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.5

Parámetros de Perforación		
ALTURA DE BANCO	m.	15.0
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	12 1/4
MALLA		8.5 x 7.4
ESPACIAMIENTO	m.	8.5
BURDEN	m.	7.4
SUB DRILLING	m.	1.5
ALTURA TALADRO	m.	16.5
FACTOR ESBELTEZ		2.2

Parametros de voladura		
Tipo explosivo		MEQ 73
Nitrato Quantex		29.1%
Emulsión Gasificada		69.7%
Nitrito de Sodio		0.3%
Diesel		0.9%
Densidad Explosivo	gr/cc	1.375
Densidad lineal	kg/m.	104.6
Altura de carga	m.	8.5
Factor de esponjamiento	m.	1.0
Retenedor de energía "Con	Unid	1.0
Taponex	Unid	
Wayra	Unid	
Mangas	Unid	
Taco	m.	7.0
Carga/ Taladro	kg/Tal	889

Altura por taponex		0
Altura poe Wayra		0
Altura de carga con accesorios		8.5
TONELAJE		
TEORICO	Ton.	2346
FACTOR DE POTENCIA		
	kg/Ton.	0.38

e) Unidad Intrusivo B – dureza 3.0 a 3.5

La unidad litológica está representada por la unidad Intrusivo B con una densidad de roca de 2.5 gr/cc, un tonelaje teórico de 1,591.32 t y un factor de potencia de 0.56 kg/t.

Los parámetros de perforación, considera una malla de perforación de 7.0 x 6.1 m, altura de banco de 15 m y sobre perforación de 1.0 m.

Los parámetros de voladura, considera el tipo de explosivo MEQ 73, el cual considera: nitrato quantex 29.1 %, emulsión gasificada 69.7 %, nitrito de sodio 0.3% y diésel 0.9%, así mismo la densidad de explosivo es de 1.375 gr/cc, con una altura de carga de 8.5 m, taco 6.5 m y una carga por taladro de 889 kg/tal.

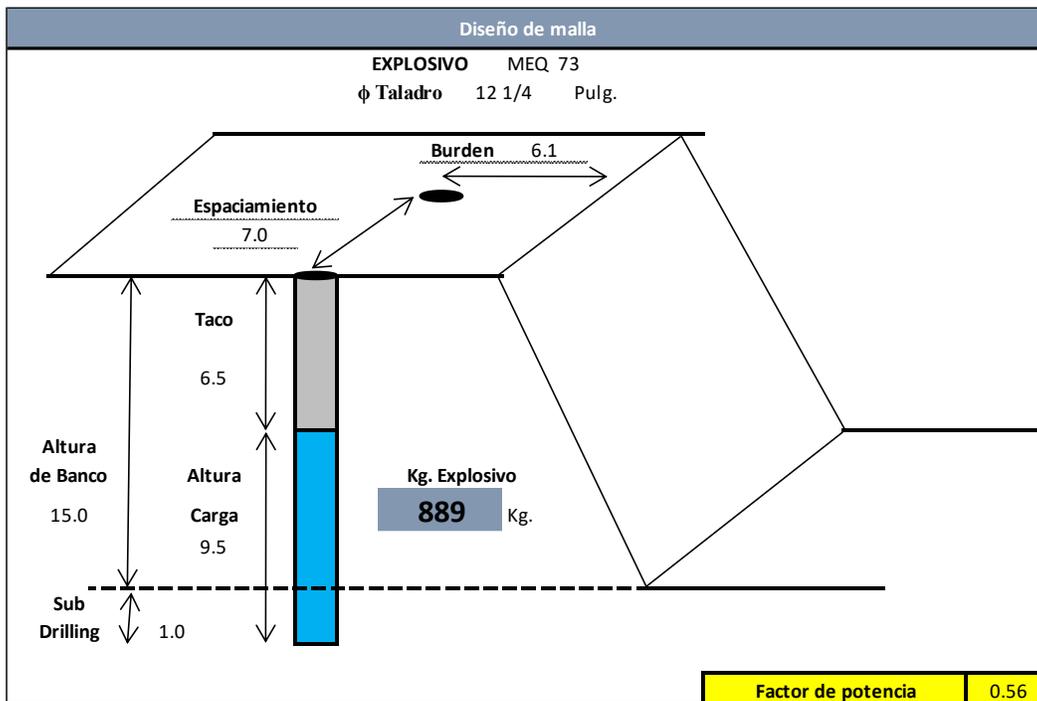


Figura 17. Diseño de malla de perforación zona de intrusivo B

Tabla 17. Parámetros de perforación y voladura en la zona de intrusivo B.

MEDIO - DURO: 3.0 - 3.5 (INTRUSIVO B 2.80)		
DATOS GENERALES		
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.5

Parámetros de Perforación		
ALTURA DE BANCO	m.	15.0
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	12 1/4
MALLA		7 x 6.1
ESPACIAMIENTO	m.	7.00
BURDEN	m.	6.1
SUB DRILLING	m.	1.0
ALTURA TALADRO	m.	16.0
FACTOR ESBELTEZ		2.6

Parametros de voladura		
Tipo explosivo		MEQ 73
Nitrato Quantex		29.1%
Emulsión Gasificada		69.7%
Nitrito de Sodio		0.3%
Diesel		0.9%
Densidad Explosivo	gr/cc	1.375
Densidad lineal	kg/m.	104.6
Altura de carga	m.	8.5
Factor de esponjamiento	m.	1.0
Retenedor de energía "Conica	Unid	2.0
Taponex	Unid	
Wayra	Unid	
Mangas	Unid	
Taco	m.	6.5
Carga/ Taladro	kg/Tal	889

Altura por taponex		0
Altura poe Wayra		0
Altura de carga con accesorios		8.5
TONELAJE		
TEORICO	Ton.	1591.32
FACTOR DE POTENCIA	kg/Ton.	0.56

f) Unidad Intrusivo A – dureza 3.5 a 5.0

La unidad litológica está representada por la unidad Intrusivo A (alteración potásica) con una densidad de roca de 2.5 gr/cc, un tonelaje teórico de 1,055 t y un factor de potencia de 0.79 kg/t.

Los parámetros de perforación, considera una malla de perforación de 5.7 x 4.9 m, altura de banco de 15 m y sobre perforación de 1.0 m.

Los parámetros de voladura, considera el tipo de explosivo MEQ 73, el cual considera: nitrato quantex 29.1 %, emulsión gasificada 69.7 %, nitrito de sodio 0.3% y diésel 0.9%, asimismo la densidad de explosivo es de 1.375 gr/cc, con una altura de carga de 8.0 m, taco 7.0 m y una carga por taladro de 837 kg/tal.

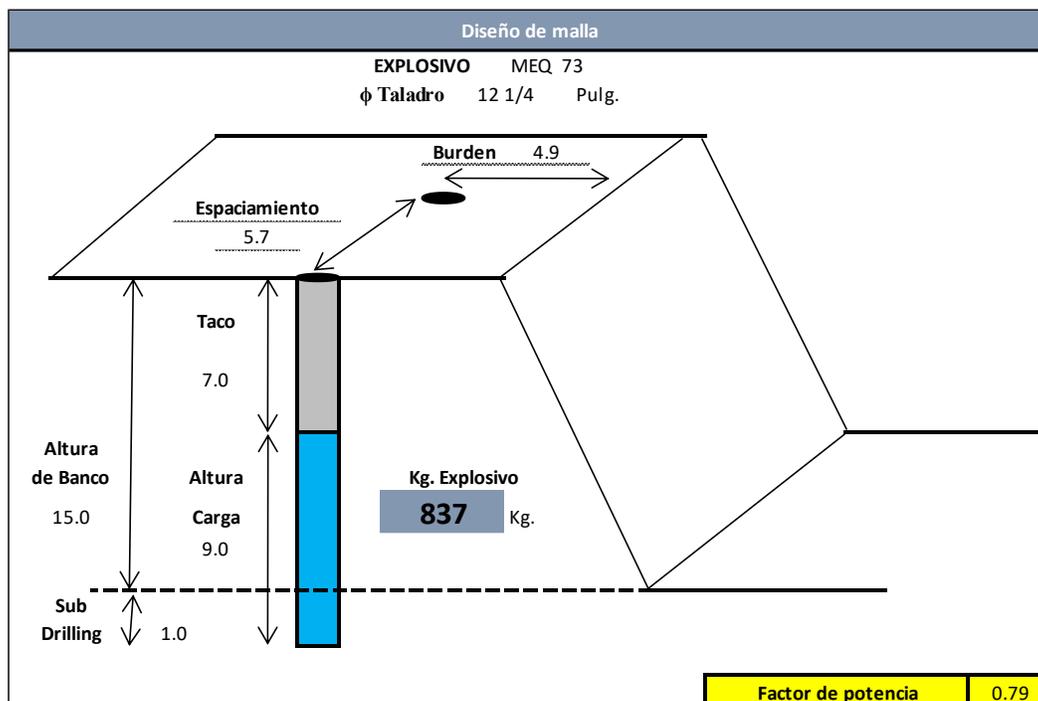


Figura 18. Diseño de malla de perforación zona de intrusivo A

Tabla 18. Parámetros de perforación y voladura en la zona de intrusivo A

MEDIO - DURO: 3.0 - 3.5 (INTRUSIVO B 2.80)		
DATOS GENERALES		
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.5

Parámetros de Perforación		
ALTURA DE BANCO	m.	15.0
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	12 1/4
MALLA		7 x 6.1
ESPACIAMIENTO	m.	7.00
BURDEN	m.	6.1
SUB DRILLING	m.	1.0
ALTURA TALADRO	m.	16.0
FACTOR ESBELTEZ		2.6

Parametros de voladura		
Tipo explosivo		MEQ 73
Nitrato Quantex		29.1%
Emulsión Gasificada		69.7%
Nitrito de Sodio		0.3%
Diesel		0.9%
Densidad Explosivo	gr/cc	1.375
Densidad lineal	kg/m.	104.6
Altura de carga	m.	8.5
Factor de esponjamiento	m.	1.0
Retenedor de energía "Conica	Unid	2.0
Taponex	Unid	
Wayra	Unid	
Mangas	Unid	
Taco	m.	6.5
Carga/ Taladro	kg/Tal	889

Altura por taponex	0
Altura poe Wayra	0
Altura de carga con accesorios	8.5

TONELAJE		
TEORICO	Ton.	1591.32

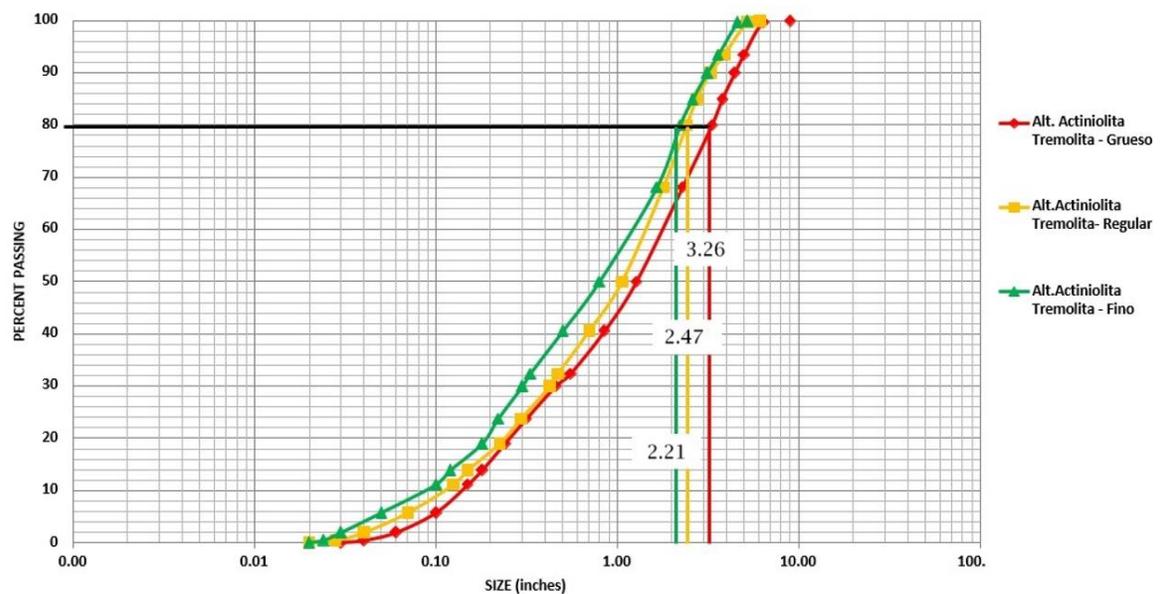
FACTOR DE POTENCIA	kg/Ton.	0.56
--------------------	---------	------

5.1.3. Análisis del grado de fragmentación

Se analizó el grado de fragmentación de acuerdo a la litología presente, siendo los resultados:

a) Unidad Skarn (actinolita – tremolita) – dureza 0 a 2

El P80 considera para el material grueso en 3.26 pulgadas, para el material regular o intermedio de 2.48 pulgadas y para el material fino de 2.21 pulgadas.



% Mínimo

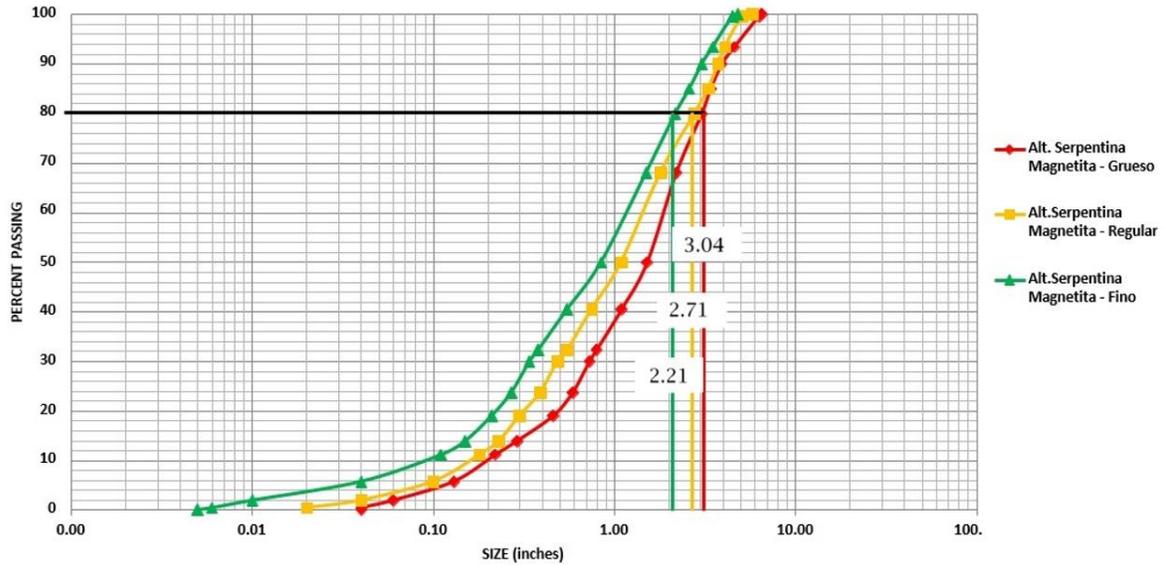
% Intermedio

% Máximo

Figura 19. Granulometría de unidad skarn (actinolita – tremolita), considerando el P80. Tomado del Departamento de Perforación y Voladura

b) Unidad Skarn magnetita – dureza 2 a 2.5

El P80 considera para el material grueso en 3.04 pulgadas, para el material regular o intermedio de 2.71 pulgadas y para el material fino de 2.21 pulgadas.



% Mínimo

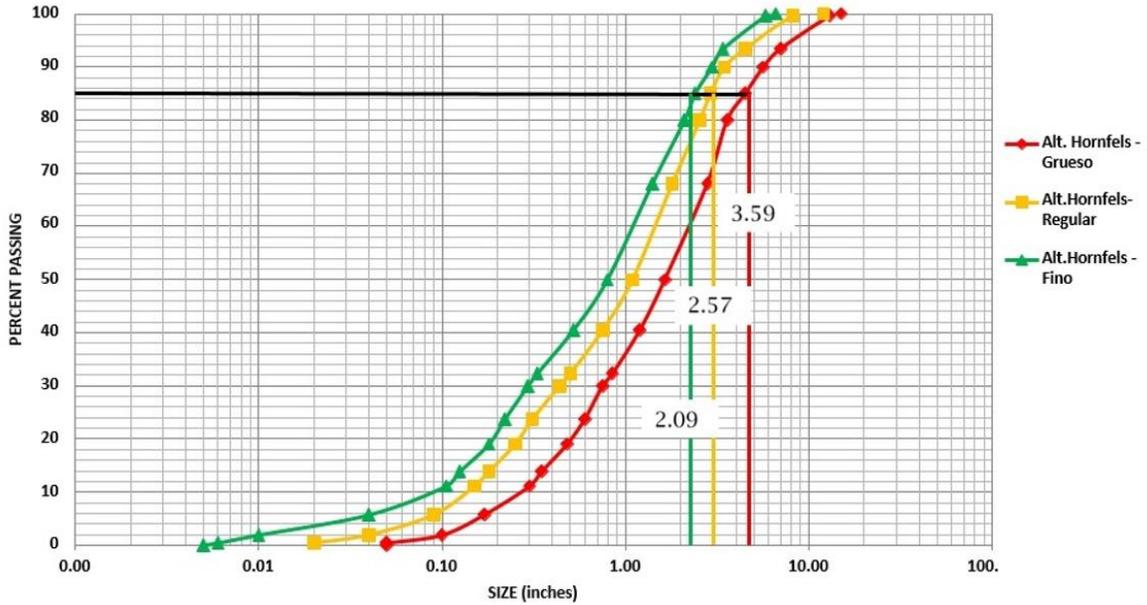
% Intermedio

% Máximo

**Figura 20. Granulometría de unidad skarn magnetita, considerando el P80.
Tomado del Departamento de Perforación y Voladura**

c) Unidad Hornfels – Dureza 2.5 a 3.0

El P80 considera para el material grueso en 3.59 pulgadas, para el material regular o intermedio de 2.57 pulgadas y para el material fino de 2.09 pulgadas.



% Mínimo

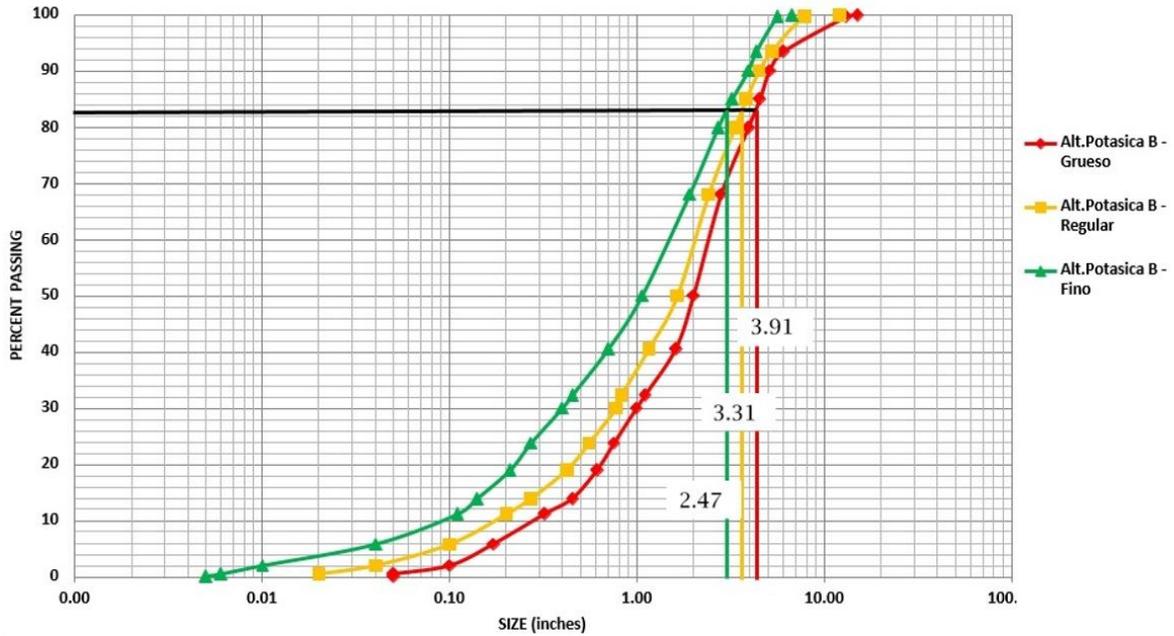
% Intermedio

% Máximo

Figura 21. Granulometría de unidad hornfels, considerando el P80 Tomado del Departamento de Perforación y Voladura

d) Unidad Intrusivo B – dureza 3.0 a 3.5

El P80 considera para el material grueso en 3.91 pulgadas, para el material regular o intermedio de 3.31 pulgadas y para el material fino de 2.47 pulgadas.

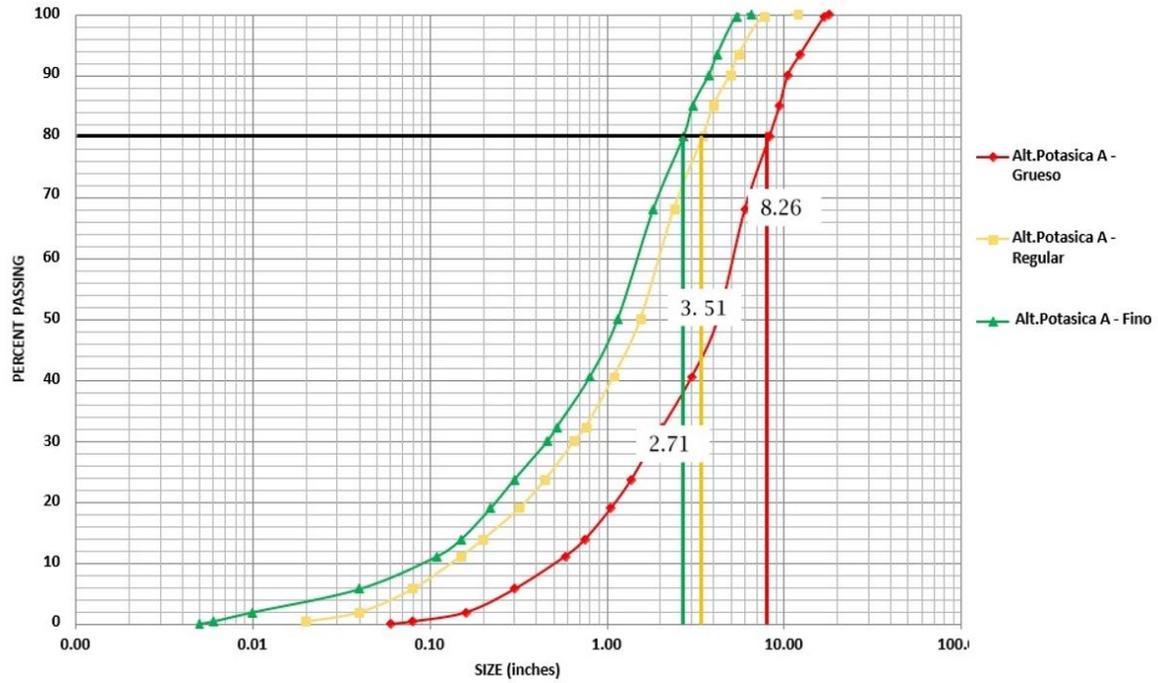


% Mínimo % Intermedio % Máximo

Figura 22. Granulometría de unidad Intrusivo B, considerando el P80. Tomado del Departamento de Perforación y Voladura

e) Unidad Intrusivo A – dureza 3.5 a 5.0

El P80 considera para el material grueso en 3.59 pulgadas, para el material regular o intermedio de 2.57 pulgadas y para el material fino de 2.09 pulgadas.



% Mínimo

% Intermedio

% Máximo

Figura 23. Granulometría de unidad Intrusivo A, considerando el P80 Tomado del Departamento de Perforación y Voladura

La relación granulométrica post voladura en las diferentes litologías se analizaron en 2 periodos de julio a diciembre del 2020 y de enero a junio del 2021. Este análisis de la granulometría por litología y alteración hidrotermal, condujeron a un análisis de mayor detalle por el comportamiento que asocia las variables de perforación y voladura como factor de potencia, dureza y la granulometría.

Tabla 19. Parámetros de factor de potencia, dureza y granulometría por litología y alteración hidrotermal

RELACIÓN LITOLOGÍA - GRANULOMETRÍA			
PERIODO JULIO A DICIEMBRE 2020			
LITOLOGÍA / ALTERACIÓN	DUREZA	FP	P80
Alt. Hornfels	2.53	0.62	2.00
Alt. Skarn Magnetita	2.00	0.29	3.17
Alt. Serp Magnetita	2.46	0.58	2.43
Alt. Actinolita Tremolita	2.24	0.34	2.21
Alt. Tremolita, Alt. Serpentina Mag	2.50	0.31	2.22
Alt. Potásica (Intrusivo)	3.62	0.91	2.64
PROMEDIO	2.56	0.51	2.45

RELACIÓN LITOLOGÍA - GRANULOMETRÍA			
PERIODO ENERO A JUNIO 2021			
LITOLOGIA/ALTERACIÓN	DUREZA	FP (kg/ton)	P80 (pulg)
Alt Hornfels	2.45	0.60	2.35
Alt. Skarn Magnetita	2.63	0.64	2.59
Alt. Serpentina - Magnetita	2.37	0.57	2.40
Alt. Actinolita - Tremolita	2.00	0.26	2.03
Alt. Tremolite-actinolite, chlorite, mag	2.57	0.41	2.18
Alt. Potásica (Intrusivo)	3.46	0.56	2.49
PROMEDIO	2.81	0.57	2.41

Tabla 20. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y granulometría, periodo 2020

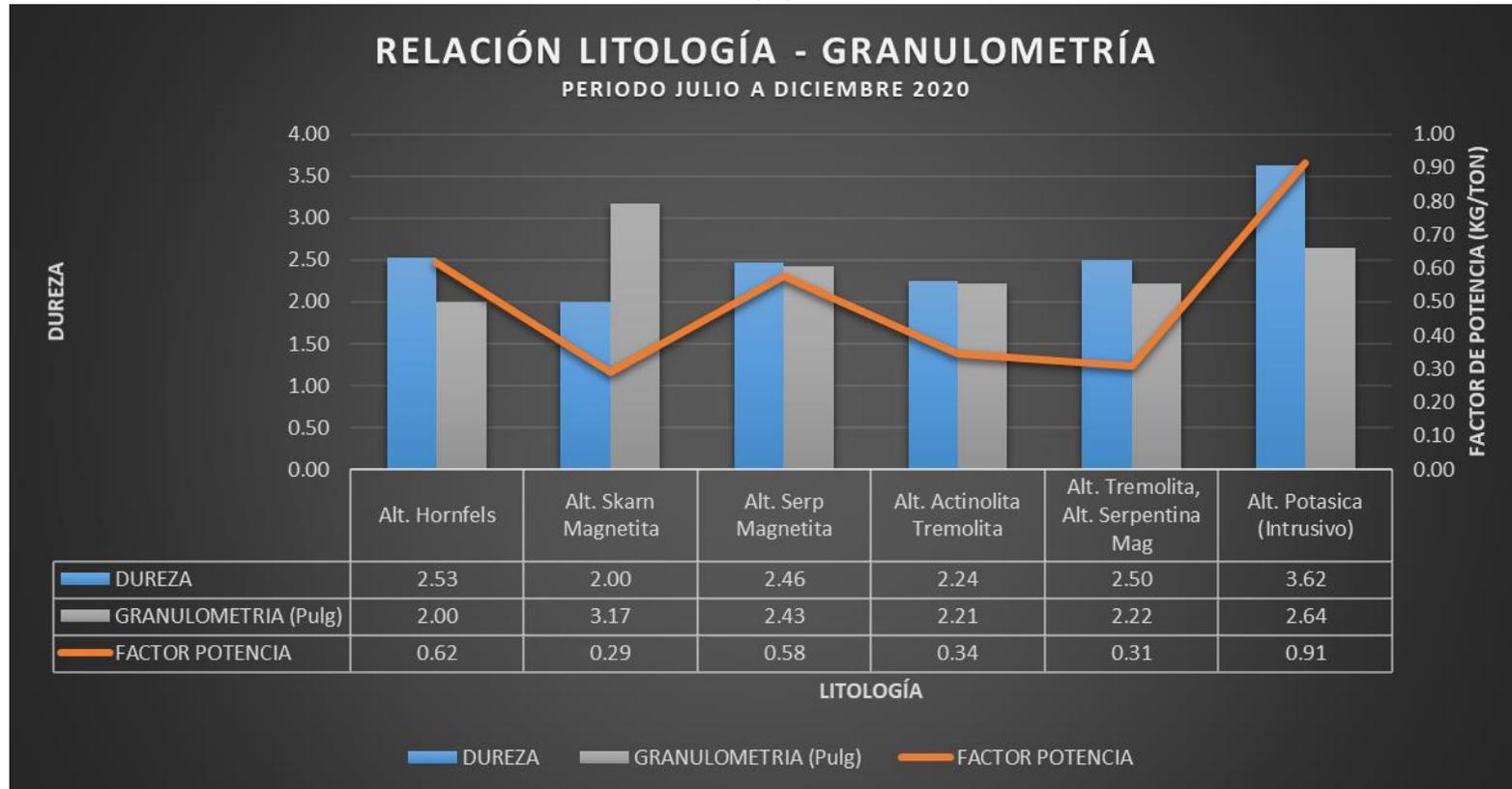
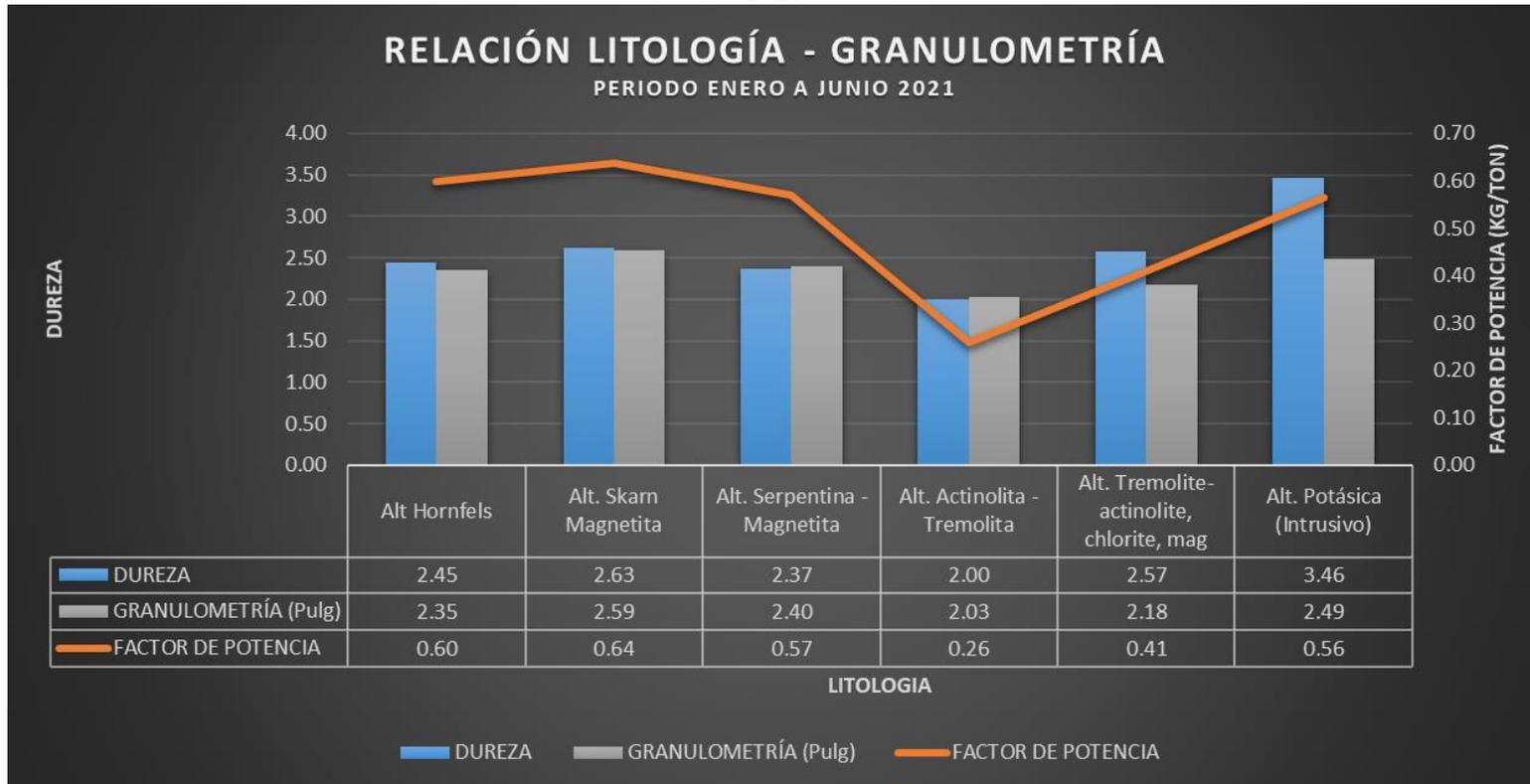


Tabla 21. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y granulometría, periodo 2021



Los resultados obtenidos en el presente análisis del factor de potencia, litología y grado de fragmentación (P80) indican una mejora entre ambos periodos de estudio.

El factor de potencia durante el periodo julio a diciembre del 2020 fue de 0.51 kg/t, generando un incremento durante el periodo enero a junio del 2021 en 0.57 kg/t.

Si bien es cierto que hubo un incremento de consumo de explosivos en 0.06 kg/t, esto se refleja en un mejor control de la granulometría post voladura.

La granulometría asociados a las diferentes litologías y alteraciones presentes durante el periodo julio a diciembre del 2020 fue de 2.45 pulgadas, siendo la granulometría para el periodo enero a junio del 2021 de 2.41 pulgadas.

Esta menor granulometría en 0.04 pulgadas tiene una incidencia directa en el *dig rate* o tasa de excavación, mejorando directamente las toneladas/hora de mineral cargado y transportado hacia chancadora o zona de stock.

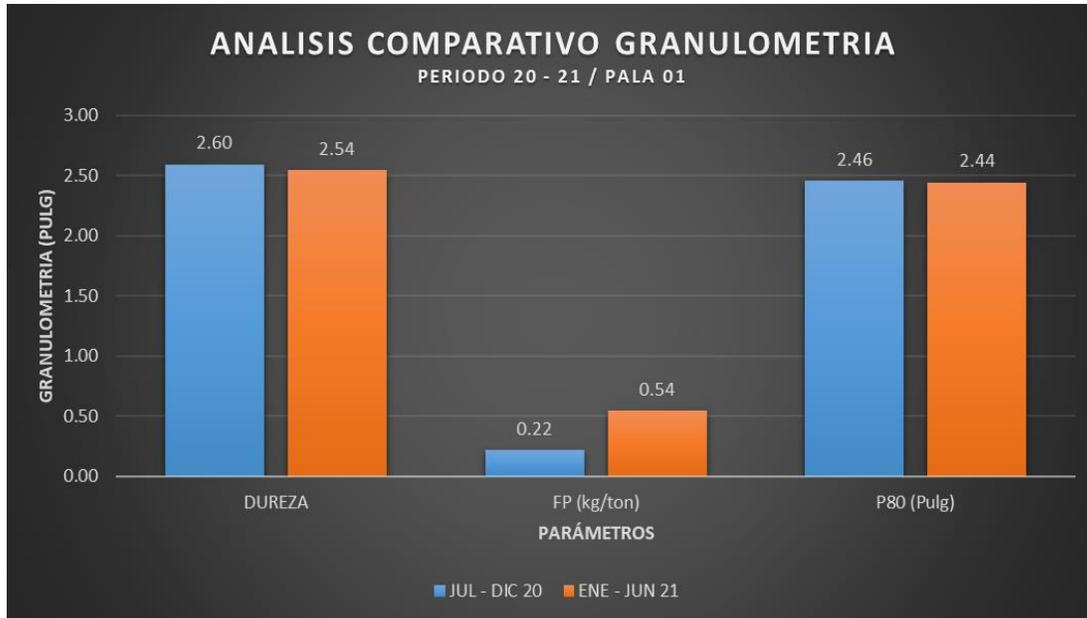
✓ **Análisis granulométrico en equipos de carguío – Pala 01**

El análisis de los parámetros de perforación y voladura con las diferentes litologías y alteraciones hidrotermales presentes, se observa una mejora en la granulometría entre ambos periodos de estudio comparados y analizados en la Pala 01.

Las características del material cargado por la Pala 01 durante ambos periodos de estudio tuvo una dureza promedio de 2.57, generando un mayor factor de potencia en el periodo enero a junio del 2021 e incidiendo en una mejora en la granulometría en 0.02 pulgadas.

Tabla 22. Análisis de granulometría en equipo de carguío pala 01, periodo 20 - 21

RELACIÓN LITOLOGÍA - GRANULOMETRÍA			
COMPARATIVO PERIODO 2020 Y 2021 - PALA 01			
LITOLOGÍA / ALTERACIÓN	DUREZA	FP (kg/ton)	P80 (Pulg)
PERIODO JULIO A DICIEMBRE 20	2.60	0.22	2.46
PERIODO ENERO A JUNIO 21	2.54	0.54	2.44
PROMEDIO/DIFERENCIA	2.57	0.32	-0.014



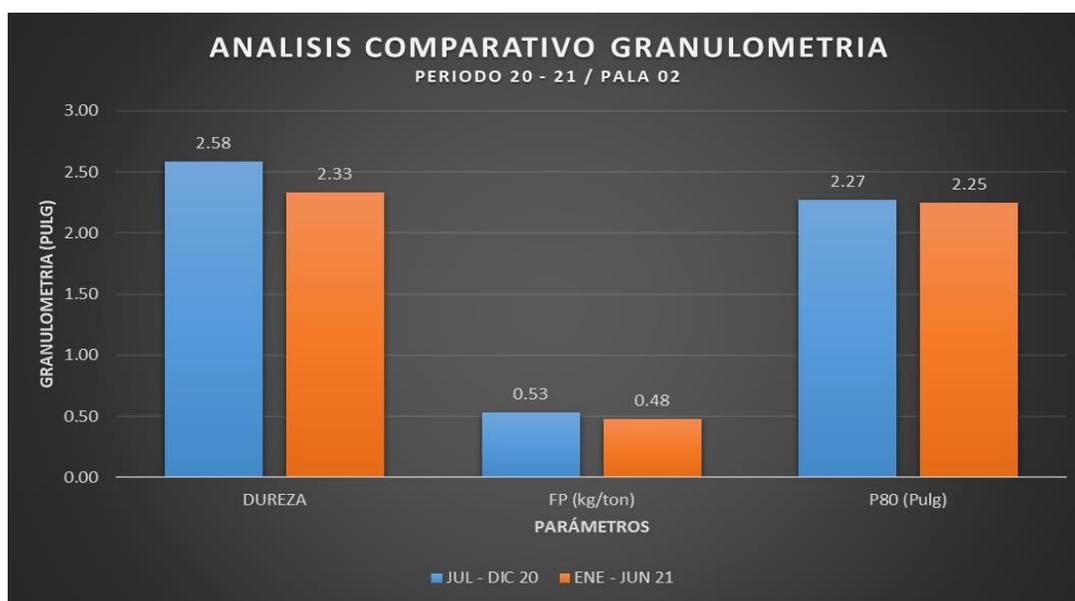
✓ **Análisis granulométrico en equipos de carguío – Pala 02**

El análisis de la pala 02 indica que hubo una disminución en referencia a la dureza del material volado, comparado con el material cargado en la pala 01.

Las características del material cargado por la Pala 02 durante ambos periodos de estudio tuvo una disminución de la dureza en 0.25, generando un menor consumo de explosivo en 0.27 kg/t y mejorando relativamente en la granulometría en 0.02 pulgadas, esto producto del uso adecuado de contenedores cónicos en la voladura.

Tabla 23. Análisis de granulometría en equipo de carguío pala 02, periodo 20 - 21.

RELACIÓN LITOLOGÍA - GRANULOMETRÍA			
COMPARATIVO PERIODO 2020 Y 2021 - PALA 02			
LITOLOGÍA / ALTERACIÓN	DUREZA	FP (kg/ton)	P80 (Pulg)
PERIODO JULIO A DICIEMBRE 20	2.58	0.53	2.27
PERIODO ENERO A JUNIO 21	2.33	0.48	2.25
PROMEDIO/DIFERENCIA	2.46	-0.05	-0.02



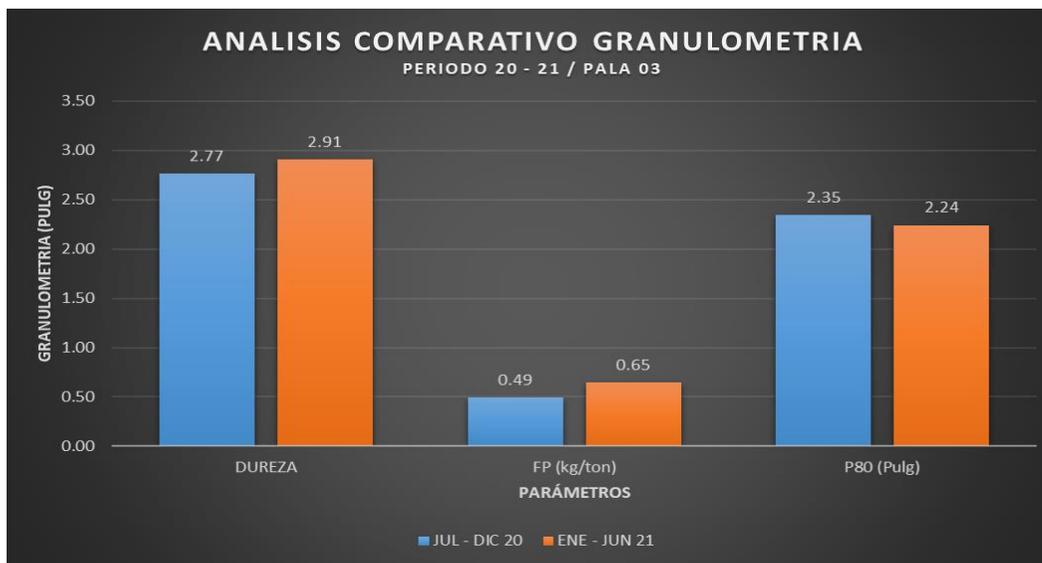
✓ **Análisis granulométrico en equipos de carguío – Pala 03**

A diferencia de los equipos de carguío Pala 01 y Pala 02, durante este periodo la Pala 03, se asocia a un material de mayor dureza, pasando de 2.77 a 2.71 promedio, esto está asociado a un mayor aporte de mineral de las unidades de intrusivo (alteración potásica).

Este incremento en la dureza del mineral incrementó el factor de potencia en 0.15 kg/t durante el periodo enero a junio del 2021. Si bien es cierto hubo un incremento en el consumo de explosivos, se pudo disminuir el grado de fragmentación en 0.11 pulgadas, producto de una mejor distribución de los accesorios de voladura como los contenedores cónicos y bolsas de aire.

Tabla 24. Análisis de granulometría en equipo de carguío pala 03, periodo 20 - 21

RELACIÓN LITOLOGÍA - GRANULOMETRÍA			
COMPARATIVO PERIODO 2020 Y 2021 - PALA 03			
LITOLOGÍA / ALTERACIÓN	DUREZA	FP (kg/ton)	P80 (Pulg)
PERIODO JULIO A DICIEMBRE 20	2.77	0.49	2.35
PERIODO ENERO A JUNIO 21	2.91	0.65	2.24
PROMEDIO/DIFERENCIA	2.84	0.15	-0.11



5.1.4. Análisis del dig rate (tasa de excavación)

Uno de los indicadores para medir la mejora del rendimiento de los equipos de carguío es el *dig rate* (toneladas/horas cargadas) el cual asociado a las diferentes litologías con su alteración hidrotermal correspondiente y su relación con la granulometría post voladura nos darán indicadores en la mejora de la productividad de los equipos de carguío en ambos periodos de análisis. La mejora del *dig rate*, está directamente asociado a la disminución del grado de fragmentación como se observa en párrafos anteriores.

El análisis del *dig rate* asociado a las diferentes litologías con su alteración hidrotermal correspondiente, se observa una mejora durante el periodo 2021 en referencia al periodo 2020. Durante el periodo julio a diciembre del 2020 se generó

un *dig rate* de 10,289.62 t/h considerando una mejora durante el periodo de enero a junio en 11,432.28 t/h.

Esta mejora en el *dig rate* en 1,142.66 t/h está muy relacionada a los parámetros de dureza y factor de potencia, mejorando directamente en el rendimiento de los equipos de carguío y una mejor gestión operacional en las áreas mina a planta (*mine to mill*).

Tabla 25. Parámetros de factor de potencia, dureza y *dig rate* por litología y alteración hidrotermal

RELACIÓN LITOLOGÍA - DIG RATE			
PERIODO JULIO A DICIEMBRE 2020			
LITOLOGÍA / ALTERACIÓN	DUREZA	FP (kg/ton)	DIG RATE (ton/hr)
Alt. Hornfels	2.53	0.62	11,045.00
Alt. Skarn Magnetita	2.00	0.29	11,059.25
Alt. Serp Magnetita	2.46	0.58	10,607.58
Alt. Actinolita Tremolita	2.24	0.34	10,301.68
Alt. Tremolita, Alt. Serpentina Mag	2.50	0.31	9,959.05
Alt. Potásica (Intrusivo)	3.62	0.91	8,765.20
PROMEDIO	2.56	0.51	10,289.62

RELACIÓN LITOLOGÍA - DIG RATE			
PERIODO ENERO A JUNIO 2021			
LITOLOGIA/ALTERACIÓN	DUREZA	FP (kg/ton)	DIG RATE (ton/hr)
Alt Hornfels	2.45	0.60	12,101.33
Alt. Skarn Magnetita	2.63	0.64	10,244.50
Alt. Serpentina - Magnetita	2.37	0.57	11,576.12
Alt. Actinolita - Tremolita	2.00	0.26	11,250.00
Alt. Tremolite-actinolite, chlorite, mag	2.57	0.41	11,924.40
Alt. Potásica (Intrusivo)	3.46	0.56	11,497.34
PROMEDIO	2.58	0.51	11,432.28

RELACIÓN LITOLOGÍA - GRANULOMETRÍA

PERIODO JULIO A DICIEMBRE 2020

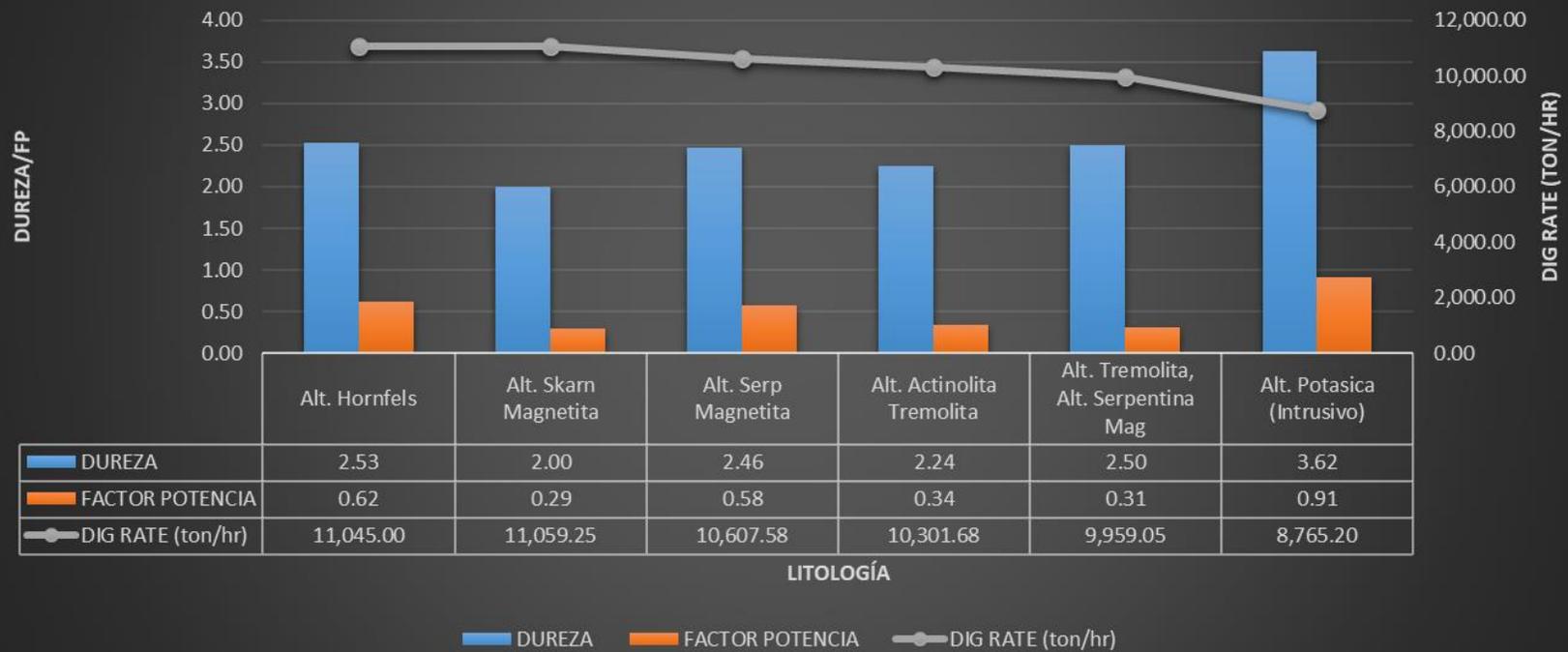


Figura 24. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y dig rate, periodo 2020

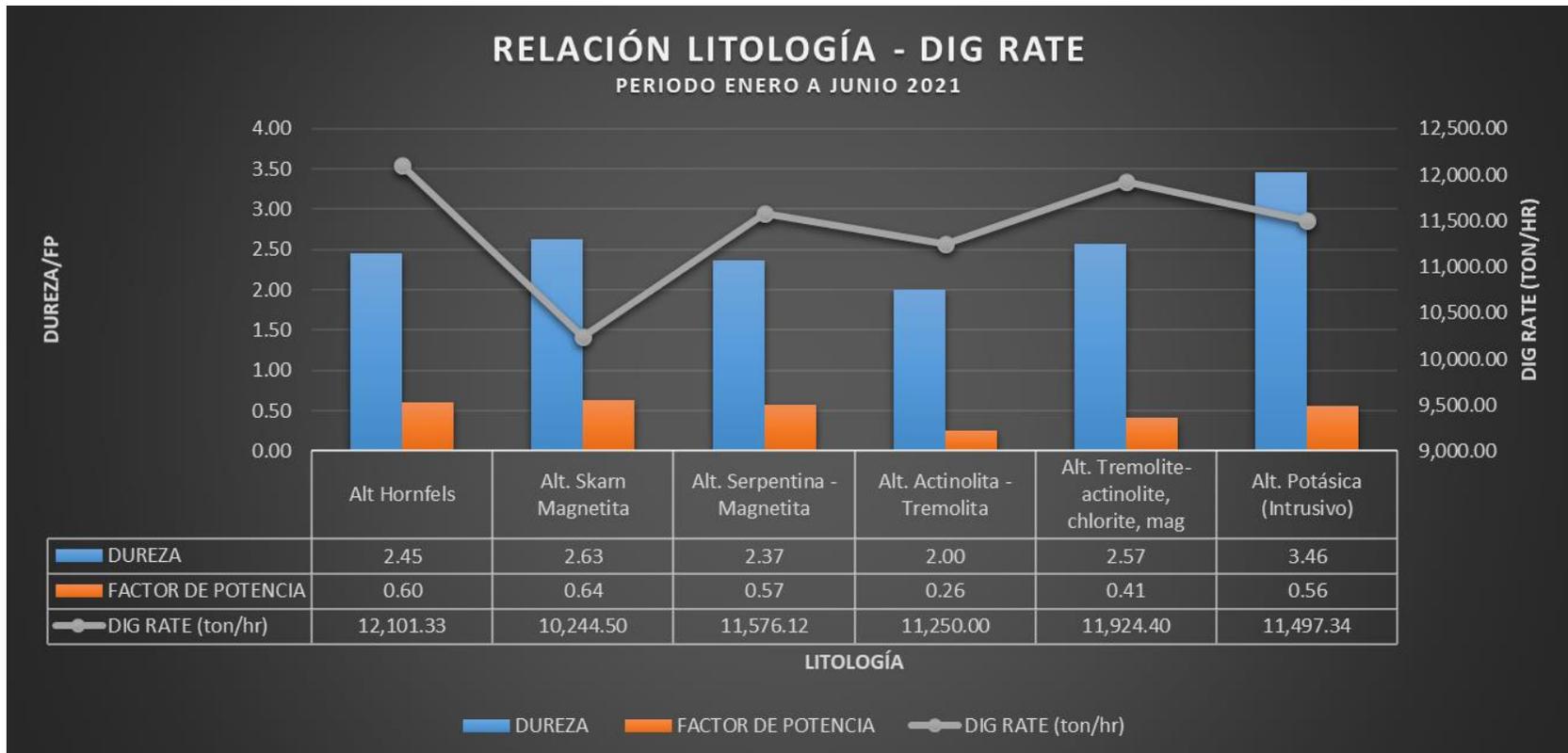


Figura 25. Relación de los parámetros de perforación y voladura como factor de potencia, litología, dureza y dig rate, periodo 2021

El *dig rate* durante el periodo julio a diciembre fue muy homogéneo con las litologías analizadas en el presente estudio, considerando un *dig rate* mínimo de 8,765.20 t/h en la unidad intrusivo (alteración hidrotermal) con una dureza de 3.62 y un *dig rate* máximo de 11,059.25 t/h en la unidad *skarn* de magnetita con una dureza de 2.

Mientras que la mejora del *dig rate* durante el periodo enero a junio del 2021 producto de la reducción de la granulometría post voladura, se observa demasiada heterogeneidad siendo el *dig rate* mínimo de 10,244.50 t/h perteneciente a la unidad *skarn* de magnetita con un incremento de dureza de 2.63 y el *dig rate* máximo de 12,101.33 t/h perteneciente a la unidad de *hornfels* con una dureza de 2.45.

La mejora del *dig rate* en las diferentes unidades litológicas está asociada a los intrusivos (alteración potásica), siendo el *dig rate* durante el periodo 2020 de 8,765.20 t/h, mejorando durante el periodo 2021 en 11,497.34 t/h.

Este mejor incremento en 2,732.14 t/h en la unidad intrusivo (alteración potásica), fue producto de un mejor control de los parámetros de perforación y voladura disminuyendo la granulometría en 0.15 pulgadas y una disminución del factor de potencia en 0.35 kg/t, asociado a un mejor control en los accesorios de voladura como un mayor uso de retenedores cónicos y bolsas de aire (taponex).

Finalmente, el análisis de la unidad litológica intrusivo, con sus diferentes alteraciones hidrotermales es de vital importancia por el incremento de su dureza a medida que se va profundizando la operación.

5.1.5. Análisis del estudio bajo el concepto *mine to mill*

La relación de las variables de perforación y voladura como malla de perforación, factor de potencia, dureza, granulometría y el *di grate*, asociado a las diferentes unidades litológicas presentes en el yacimiento, permite la mejora del rendimiento de los equipos de carguío.

Tabla 26. Producción día y KPIs de conminución, proceso mine to mill

PRODUCCIÓN DIARIA - CONMINUCIÓN														
			7:30 a. m.	8:30 a. m.	9:30 a. m.	10:30 a. m.	11:30 a. m.	12:30 p. m.	1:30 p. m.	2:30 p. m.	3:30 p. m.	4:30 p. m.	5:30 p. m.	
PALA 01	4575-05-0303	Ton	350.00		1,250.00									1,600.00
PALA02	4560-05-0302	Ton	758.00											758.00
	4560-05-0304	Ton	1,278.00		387.00	832.00	1,228.00	1,370.00	737.00		1,130.00	1,485.00	1,703.00	10,150.00
PALA 03	4510-02-0200	Ton		742.00		1,490.00	409.00	750.00	1,504.00	2,271.00	1,836.00			9,002.00
	4510-02-0203	Ton		307.00	826.00									1,133.00
	4510-02-0205	Ton		780.00	860.00	345.00								1,985.00
CD 101	STOCK 5	Ton										348.00	764.00	1,112.00
CD103	STOCK 1	Ton	1,495.00	1,917.00	644.00	1,530.00	2,343.00	1,167.00	930.00	1,525.00		1,938.00		13,489.00

KPIs MINE TO MILL

PERIODO 2020 - 2021

KPI	UNIDAD	REAL	PROGRAMADO	CUMPLIMIENTO (%) - 21	CUMPLIMIENTO (%) - 20
Toneladas Chancadas	ton	82,196.00	90,000.00	91.33%	89.40%
Toneladas Molidas	ton	84,381.11	89,550.00	94.23%	93.90%
Ley Cabeza Cu	%	0.70	0.75	93.33%	95.00%
Recuperación Cu	%	82.00	78.00	105.13%	102.00%
Ley Concentrado Cu	%	22.50	22.00	102.27%	103.00%
Humedad Concentrado Cu	%	9.40	10.00	94.00%	95.00%
Cobre Fino	ton	817.00	989.00	82.61%	85.00%

El cumplimiento de los KPIs, en toneladas chancadas tuvieron un cumplimiento de 82,196 toneladas que representan el 91.33 % durante el periodo enero a junio del 2021, habiendo una mejora en 1.93 % con respecto al periodo julio a diciembre del 2020.

Las toneladas molidas de igual forma tuvieron un cumplimiento del 94.23% con una mejora del 0.33 % con respecto al periodo anterior.

Esta mejora en el cumplimiento en la etapa de chancado y molienda, es producto de la disminución de la granulometría en 0.04 pulgadas en general y de 0.15 pulgadas en el intrusivo (alteración *skarn*) y una mejora en el *dig rate* en 1,146 t/h, entre los periodos analizados.

Estas mejoras en el control de la granulometría y *dig rate* que influyeron directamente en una disminución del factor de potencia en el intrusivo en 0.35 kg/t, permitieron una mejora del rendimiento de los equipos de carguío con una mejora en el *dig rate* (tasa de excavación) en 1,146 t/h de mineral cargado, en los periodos analizados.

CONCLUSIONES

1. La relación granulométrica post voladura en las diferentes litologías se analizaron en 2 periodos de julio a diciembre del 2020 y de enero a junio del 2021. Este análisis de la granulometría por litología y alteración hidrotermal, condujeron a un análisis de mayor detalle por el comportamiento que asocia las variables de perforación y voladura como factor de potencia, dureza y la granulometría.
2. El factor de potencia durante el periodo julio a diciembre del 2020 fue de 0.51 kg/t, generando un incremento durante el periodo enero a junio del 2021 en 0.57 kg/t. Si bien es cierto que hubo un incremento de consumo de explosivos en 0.06 kg/t, esto se refleja en un mejor control de la granulometría post voladura. La granulometría asociados a las diferentes litologías y alteraciones presentes durante el periodo julio a diciembre del 2020 fue de 2.45 pulgadas, siendo la granulometría para el periodo enero a junio del 2021 de 2.41 pulgadas Esta menor granulometría en 0.04 pulgadas tiene una incidencia directa en el *dig rate* o tasa de excavación, mejorando directamente las toneladas/hora de mineral cargado y transportado hacia chancadora o zona de stock.
3. El análisis del *dig rate* asociado a las diferentes litologías con su alteración hidrotermal correspondiente, se observa una mejora durante el periodo 2021 en referencia al periodo 2020. Durante el periodo julio a diciembre del 2020 se generó un *dig rate* de 10,289.62 t/h considerando una mejora durante el periodo de enero a junio en 11,432.28 t/h. Esta mejora en el *dig rate* en 1,142.66 t/h, está muy relacionada a los parámetros de granulometría, dureza y factor de potencia, mejorando directamente en el rendimiento de los equipos de carguío y una mejor gestión operacional en las áreas mina a planta (mine to mill).
4. La mejora del *dig rate* en las diferentes unidades litológicas está asociada a los intrusivos (alteración potásica), siendo el *dig rate* durante el periodo 2020 de 8,765.20 t/h, mejorando durante el periodo 2021 en 11,497.34 t/h. Este mejor

incremento en 2,732.14 t/h en la unidad intrusivo (alteración potásica), fue producto de un mejor control de los parámetros de perforación y voladura disminuyendo la granulometría en 0.15 pulgadas y una disminución del factor de potencia en 0.35 kg/t, asociado a un mejor control en los accesorios de voladura como un mayor uso de retenedores cónicos y bolsas de aire (*taponex*).

5. El cumplimiento de los KPIs, en toneladas chancadas tuvieron un cumplimiento de 82,196 toneladas que representan el 91.33% durante el periodo enero a junio del 2021, habiendo una mejora en 1.93% con respecto al periodo julio a diciembre del 2020. Las toneladas molidas de igual forma tuvieron un cumplimiento del 94.23% con una mejora del 0.33% con respecto al periodo anterior.
6. Esta mejora en el cumplimiento en la etapa de chancado y molienda, es producto de la disminución de la granulometría en 0.04 pulgadas en general y de 0.15 pulgadas en el intrusivo (alteración *skarn*) y una mejora en el *dig rate* en 1,146 t/h, entre los periodos analizados.
7. Finalmente, se analizó el intrusivo B (alteración potásica) el cual representa una mejora importante en el control de la granulometría y el *dig rate*, disminuyendo el factor de potencia en 0.35 kg/ton, permitiendo una mejora en el rendimiento de los equipos de carguío con un incremento del *dig rate* (tasa de excavación) en 1,146 t/h de mineral cargado, en los periodos analizados.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario continuar con las evaluaciones de los equipos de carguío considerando las diferentes actividades que inciden directamente en la disponibilidad y utilización.
2. Se recomienda seguir realizando estudios bajo el mismo concepto de parámetros de perforación y voladura con las unidades litológicas en zonas mixtas, por ejemplo, zona mixta entre intrusivo granodiorítico y alteración potásica y filica.
3. Se recomienda complementar los estudios de rendimiento de equipos con el match factor entre equipos de carguío y de acarreo, para determinar el óptimo de número de pases.
4. Se recomienda costear el incremento o disminución del *dig rate* (tasa de excavación) para los equipos de acarreo y su destino generado zona desmontera, chancadora o *stock*.
5. Se recomienda relacionar la variabilidad del *dig rate* con el consumo de energía asociado a las etapas de chancado y molienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VASQUEZ, I. Evaluación del rendimiento de diferentes tipos de rodaduras para la optimización del ciclo de acarreo y transporte del material en tunelería. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala. 2013, 183 pp.
2. BARRIENTOS, V. Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). Chile: Universidad de Chile. Santiago, 2014, 83 pp.
3. QUIROGA, M. Análisis de la perforación y tronadura en El Soldado. Memoria (Título de Ingeniero Civil de Minas). Chile: Universidad de Chile, 2013, 119 pp.
4. GERARDO, M. Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, las Bambas, Cerró Corona, Antapacay y Pucamarca. Tesis (Maestro en Ciencias con Mención en Gestión Minera). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2015, 163 pp.
5. MANZANEDA, C. Optimización de la flota de carguío y acarreo para el incremento de producción de material de desbroce de 400K A 1000K BCM - U.E.A. El Brocal - Consorcio Pasco Stracon GyM, Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa: Universidad Nacional San Agustín, 2015, 206 pp.

ANEXOS

Anexos A

Matriz de operacionalización de variables

Tabla 27. Matriz de operacionalización de variables.

Variables	Definición		Definición operacional	
	Conceptual	Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Equipos de Carguío	El análisis del rendimiento de equipos de carguío está directamente relacionado al cumplimiento de los planes de producción, mediante el cumplimiento del tonelaje cargado.	• Variables rendimiento	Valoración de la Capacidad	Tonelaje cargado
VD: Análisis de Factores Operacional es de Perforación y Voladura.	Los factores operacionales de perforación y voladura está relacionado a los controles litológicos y de alteración.	• Variables operacionales • Variables de perforación y voladura	Valoración de Plan de producción Valoración de Litología y Alteración	Tonelaje producido Grado de fragmentación Dig rate (tasa excavación)

Anexos B

Planos en sección planta y transversal

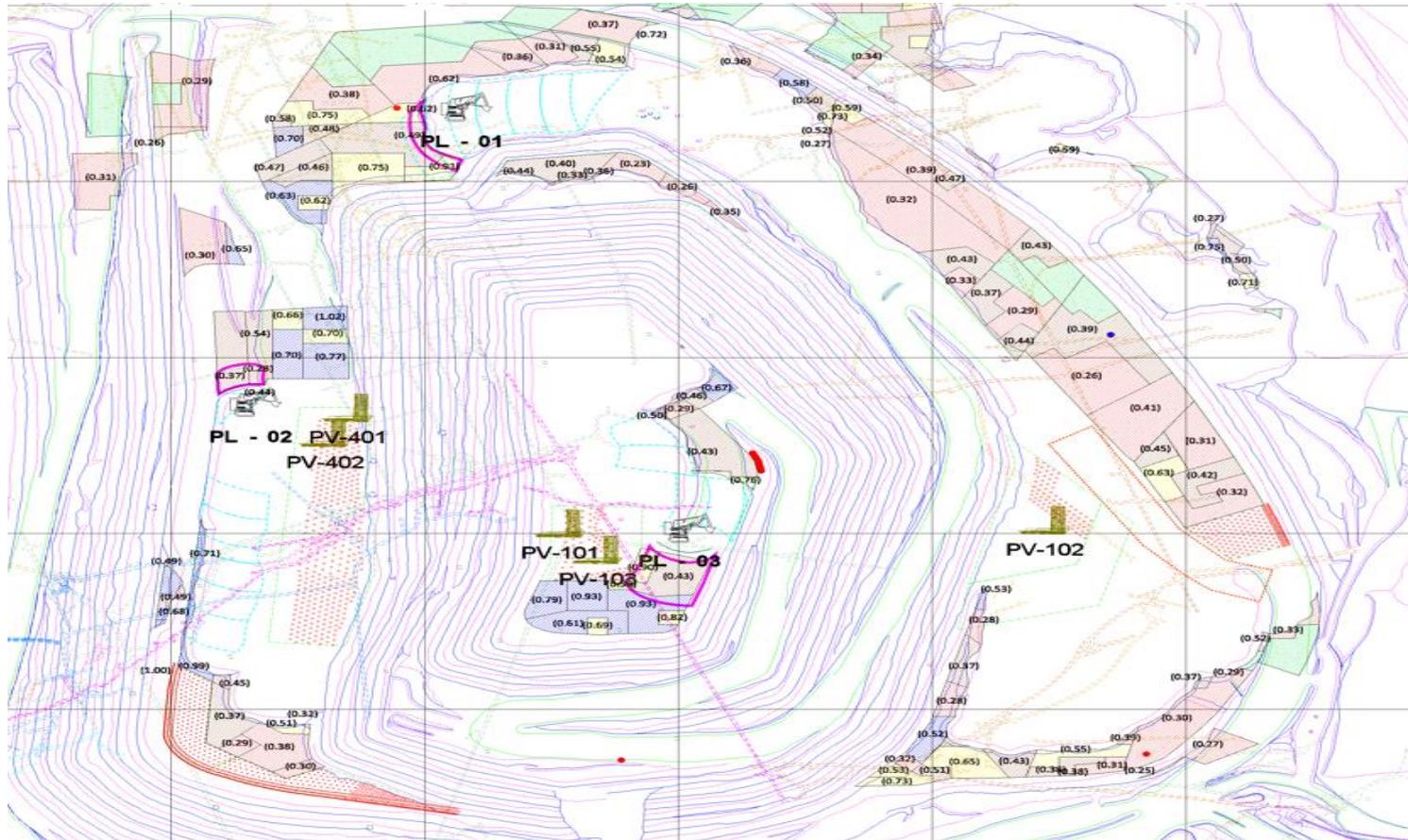


Figura 26. Plano en planta de distribución de leyes de Cu.

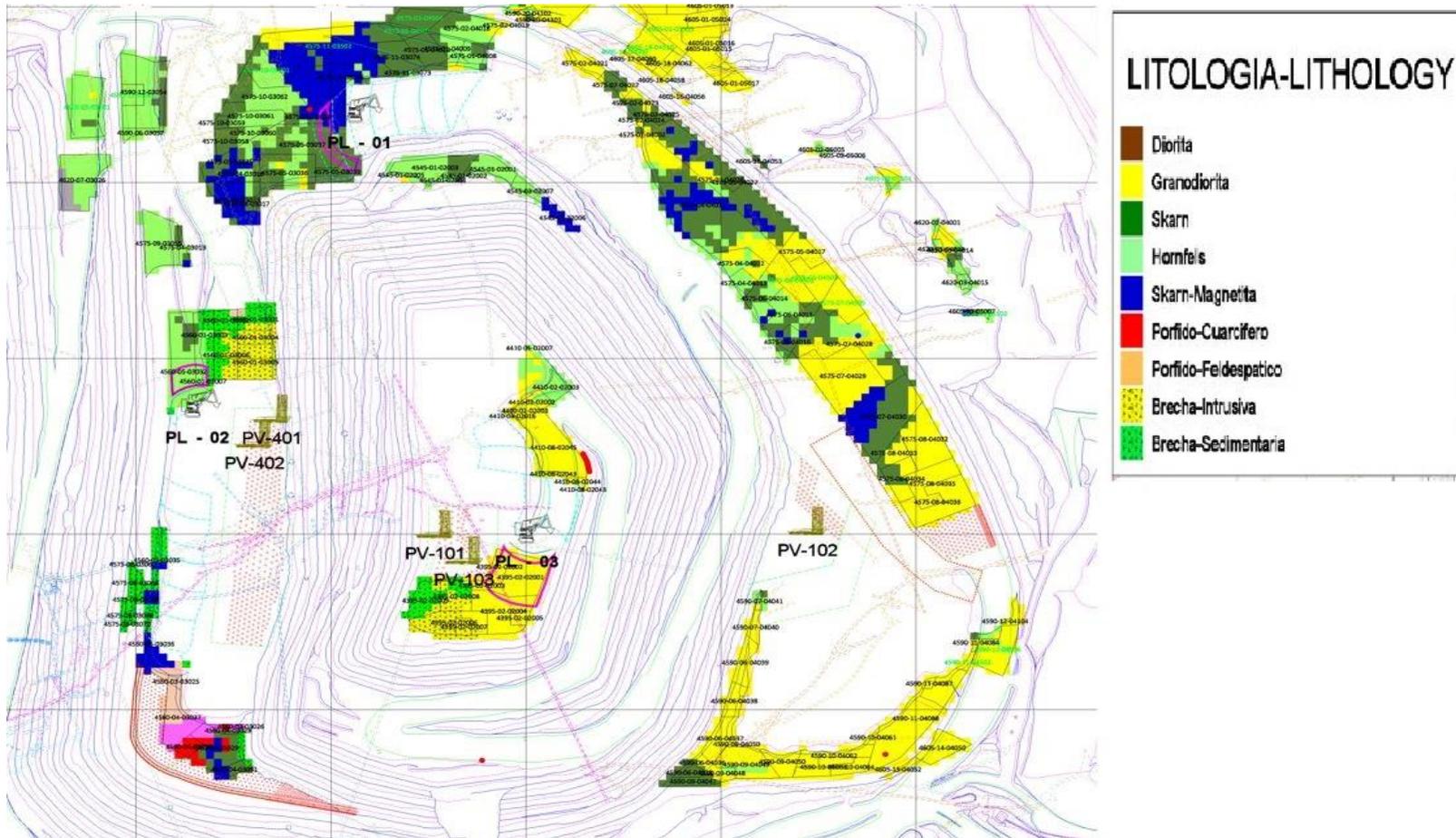


Figura 27. Plano en planta de distribución litológica.

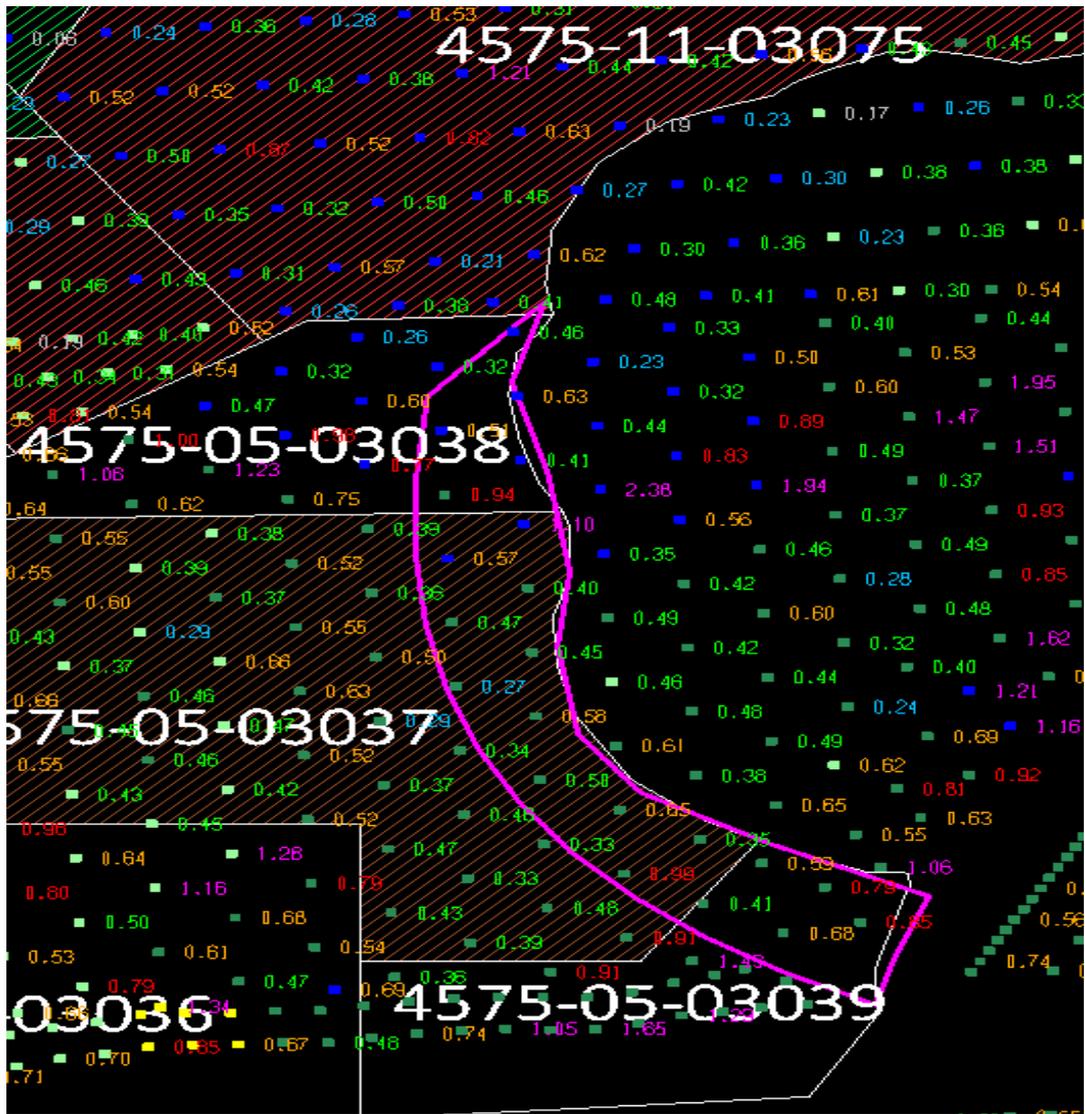


Figura 28. Malla de perforación

Anexos C
Fotografías



Figura 29. Zona de stock 01



Figura 30. Zona de stock 05