

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis de la fragmentación de mineral producto de la voladura y su influencia en el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto, 2021**

Rolando Jhonny Yaranga Toribio

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **ASESOR**

Ing. Javier Córdova Blancas

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente a Dios, por su bendición e iluminación en mi día a día; a mis padres, por haberme dado la vida y sus sabios consejos; a mi esposa e hijos por su apoyo constante; a todas las personas involucradas en la empresa minera, tanto ingenieros como trabajadores de quienes aprendí mucho durante el día a día en esta prestigiosa empresa.

## **DEDICATORIA**

Con todo mi amor y cariño a mi amada esposa: Lida Rosenda Porras Vilcapoma, por su sacrificio y esfuerzo, por brindarme su apoyo y acompañarme a lograr obtener una carrera profesional para nuestro futuro y creer en mí, aunque hemos pasado momentos muy difíciles siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

A mis amados hijos Thiago y Piero por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día y así luchar para un futuro mejor.

A mis amados padres y hermanos quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla mis objetivos.

A mis familiares y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1. Planteamiento del problema	16
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Objetivo general	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación social – práctica	18
1.3.2. Justificación académica	19
1.3.3. Justificación económica	19
1.4. Hipótesis de la investigación	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	19
1.5. Identificación de las variables	20
1.5.1. Variable independiente	20
1.5.2. Variables dependientes	20
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21

2.1.2. Antecedentes nacionales -----	22
2.2. Generalidades de la compañía minera -----	23
2.2.1. Ubicación accesibilidad y generalidades -----	23
2.3. Geología general -----	25
2.3.1. Geología regional -----	25
2.3.2. Geología estructural -----	29
2.3.3. Geología económica -----	29
2.4. Tipo y forma del yacimiento -----	30
2.4.1. Afloramientos de las estructuras mineralizadas -----	30
2.5. Zonificación de la mina -----	30
2.6. Producción mina -----	32
2.7. Bases teóricas del estudio -----	32
2.7.1. Especificaciones técnicas de equipos de carguío -----	32
2.7.2. Consideraciones de parámetros de perforación -----	34
2.7.3. Consideraciones de parámetros de granulometría -----	42
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	49
3.1. Método y alcances de la investigación -----	49
3.1.1. Método de la investigación -----	49
3.1.2. Alcances de la investigación -----	50
3.2. Diseño de la investigación -----	51
3.3. Población y muestra -----	51
3.3.1. Población -----	51
3.3.2. Muestra -----	51
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	51
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos -----	51
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos -----	51
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	52
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información -----	52
4.1.1. Análisis del rendimiento de equipo de carguío -----	52
4.1.2. Análisis de la malla de perforación -----	58
4.1.3. Análisis de la voladura -----	62
4.1.4. Análisis del grado de fragmentación -----	64

4.1.5. Análisis de la fragmentación de mineral y su influencia en el rendimiento de los equipos de carguío-----	69
4.1.6. Resultado de la fragmentación de mineral y su influencia en el rendimiento de los equipos de carguío-----	78
CONCLUSIONES-----	80
RECOMENDACIONES-----	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	84
ANEXOS -----	85



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de operacionalización de variables.....	20
Tabla 2. Accesos al proyecto .....	23
Tabla 3. Granulometría requerida en la etapa de chancado. ....	42
Tabla 4. Curvas granulométricas zona Skarn serpentina - magnetita.....	44
Tabla 5. Rango de fragmentos zona Skarn serpentina – magnetita.....	44
Tabla 6. Curvas granulométricas zona Hornfels.....	45
Tabla 7. Rango de fragmentos zona Hornfels.....	46
Tabla 8. Curvas granulométricas zona intrusivo.....	47
Tabla 9. Rango de fragmentos zona Intrusivo.....	47
Tabla 10. Producción diaria, relacionada al ritmo de producción, ley de Cu y el dig rate.....	53
Tabla 11. Relación producción versus litología .....	55
Tabla 12. Relación producción versus alteración .....	56
Tabla 13. Relación producción versus alteración.....	57
Tabla 14. Relación producción versus alteración .....	58
Tabla 15. Litología asociada a la malla de perforación .....	59
Tabla 16. Litología asociada a la malla de perforación. ....	61
Tabla 17. Litología asociada a la malla (% fragmentación).....	63
Tabla 18. Relación de tipo de fragmento asociado a lo requerido en planta.....	65
Tabla 19. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 01 .....	69
Tabla 20. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 02 .....	72
Tabla 21. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 03 .....	75
Tabla 22. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 03 .....	78
Tabla 23. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 03 .....	79
Tabla 24. Matriz de operacionalización de variables.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y vías de acceso al proyecto minero .....	24
Figura 2. Geología local del área de proyecto.....	28
Figura 3. Contacto litológico, intrusivo y caliza, zona de skarn Cu.....	30
Figura 4. Zonificación de las áreas mineralizadas, zona de skarn Cu.....	31
Figura 5. Pala eléctrica Caterpillar, modelo 7295.....	33
Figura 6. Pala eléctrica Caterpillar, modelo 7295.....	34
Figura 7. Litología asociada a las diferentes litologías de la operación minera....	36
Figura 8. Alteración asociada a las diferentes litologías de la operación minera .....	37
Figura 9. Dureza asociada a las diferentes litologías de la operación minera.....	38
Figura 10. Malla de perforación, zona de Skarn serpentina - magnetita .....	39
Figura 11. Malla de perforación, zona de Hornfels.....	40
Figura 12. Malla de perforación, zona de intrusivo .....	41
Figura 13. Material según rango, mínimo, intermedio y máximo zona Skarn serpentina – magnetita .....	45
Figura 14. Material según rango, mínimo, intermedio y máximo zona Hornfels... ..	46
Figura 15. Material según rango, mínimo, intermedio y máximo zona Intrusivo..	48
Figura 16. Relación producción versus el dig rate.....	53
Figura 17. Relación producción versus dureza .....	54
Figura 18. Relación producción versus litología .....	55
Figura 19. Relación producción versus alteración.....	56
Figura 20. Relación litología versus dureza .....	57
Figura 21. Relación alteración versus dureza .....	58
Figura 22. Relación espaciamiento, burden y factor de potencia asociado a Ley Cu > 0.4 %.....	59
Figura 23. Relación espaciamiento, burden y pasadura (sobre perforación), asociado a Ley Cu > 0.4 %.....	60
Figura 24. Relación espaciamiento, burden y factor de potencia, asociado a Ley 0.4% < Cu < 0.3 %.....	61

Figura 25. Relación espaciamento, burden y pasadura, asociado a Ley 0.4% < Cu < 0.3 %.....	62
Figura 26. Relación malla (grueso, medio, fino) y factor de potencia asociado a Ley Cu > 0.4 %.....	63
Figura 27. Relación malla (grueso, medio, fino) y factor de potencia asociado a Ley Cu > 0.4 %.....	65
Figura 28. Relación material grueso programado y material requerido en planta.....	67
Figura 29. Relación material intermedio programado y material requerido en planta.....	68
Figura 30. Relación material fino programado y material requerido en planta .....	68
Figura 31. Relación dureza, P80 y Factor de potencia en equipo de carguío Pala 01 .....	70
Figura 32. Relación dureza, P80 y dig rate en equipo de carguío Pala 01.....	71
Figura 33. Relación dureza, factor de potencia y dig rate en equipo de carguío Pala 01 .....	71
Figura 34. Relación dureza, P80 y factor de potencia en equipo de carguío Pala 02 .....	73
Figura 35. Relación dureza, P80 y dig rate en equipo de carguío Pala 02.....	74
Figura 36. Relación dureza, Factor de Potencia y dig rate en equipo de carguío Pala 02 .....	74
Figura 37. Relación dureza, P80 y Factor de potencia en equipo de carguío Pala 03 .....	76
Figura 38. Relación dureza, P80 y dig rate en equipo de carguío Pala 03.....	77
Figura 39. Relación dureza, factor de potencia y dig rate en equipo de carguío Pala 03 .....	77
Figura 40. Análisis de fragmentación de mineral periodo enero a junio versus periodo optimizado julio a diciembre.....	79
Figura 41. Factor de potencia actual y budget .....	88
Figura 42. Factor de potencia por tipo de material / alteración.....	89

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo analizar el grado de fragmentación de mineral producto de la voladura y su influencia en el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto, 2021.

Para la realización del presente trabajo se aplicó el método analítico, es de carácter descriptivo y explicativo. La presente tesis es preexperimental, donde se observaron los resultados del grado de fragmentación producto de la voladura, asociando parámetros de dureza, alteración hidrotermal, factor de potencia y tasa de excavación para ser asociada en la mejora del rendimiento de los equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

El análisis del grado de fragmentación P80 asociada a la tasa de excavación de los equipos de carguío se comparó entre el periodo enero a junio y el periodo julio a diciembre, considerando la mejora del tonelaje en el segundo periodo y por ende el incremento del rendimiento de los equipos de carguío.

La producción generada por los equipos de carguío considera un tonelaje aproximado de 60 ktpt, siendo el tonelaje por turno para la pala PL01 de 5,000 tpd., para la pala PL02 de 16,636 tpt, para la pala PL03 de 22,000 tpt y el cargador CD01 de la zona de stock de 13,000 tpt, este tonelaje está asociado a diferentes sectores de operación como zona skarn, zona serpentina – magnetita, zona hornfels y zonas de intrusivo, y sus alteraciones asociadas.

El rendimiento de equipos de carguío durante el periodo enero a junio consideró un P80 de 2.83 pulgadas y una tasa de excavación de 10,254.65 t/h. Asimismo, el rendimiento de equipos de carguío durante el periodo julio a diciembre hubo una mejora durante este periodo con un P80 de 2.49 pulgadas y una tasa de excavación de 10,352.24 t/h.

Finalmente, la mejora de rendimiento de los equipos de carguío relacionando la dureza, factor de potencia, granulometría y la tasa de excavación permitió la mejora en el rendimiento de las palas PL01, PL02 y PL03 disminuyendo la granulometría en 0.34 pulgadas e incrementando la tasa de excavación en 97.59 t/h; mejorando así, los procesos unitarios de chancado y molienda, disminuyendo el consumo de energía por la reducción de la granulometría e incremento de tonelaje procesado.

**Palabras clave:** producción, P80, dureza, factor de potencia, granulometría, alteración hidrotermal, etc.

## ABSTRACT

The present thesis whose objective was to analyze the degree of fragmentation of mineral product of the blast and its influence on the performance of loading equipment in an open pit mine, 2021.

To carry out this work, the analytical method was applied, it is descriptive and explanatory. The present thesis is pre-experimental, where the results of the degree of fragmentation product of the blasting were observed, associating parameters of hardness, hydrothermal alteration, power factor and excavation rate to be associated in the improvement of the performance of loading equipment in an open pit mine.

The analysis of the degree of fragmentation P80 associated with the excavation rate of the loading equipment was compared between the period January to June and the period July to December, considering the improvement in tonnage in the second period and therefore the increase in the yield of loading equipment.

The production generated by the loading equipment considers an approximate tonnage of 60 ktpt, being the tonnage per shift for the PL01 shovel of 5,000 tpd., For the PL02 shovel of 16,636 tpt, for the PL03 shovel of 22,000 tpt and the CD01 loader of the stock zone of 13,000 tpt, this tonnage is associated with different sectors of operation such as the Skarn zone, the serpentine - magnetite zone, the hornfels zone and the intrusive zones, and their associated alterations.

The performance of loading equipment during the period January to June considered a P80 of 2.83 inches and an excavation rate of 10,254.65 t/h Likewise, the performance of loading equipment during the period July to December there was an improvement during this period with a P80 of 2.49 inches and an excavation rate of 10,352.24 t/ h.

Finally, the improvement in the performance of the loading equipment, relating the hardness, power factor, granulometry and the excavation rate, allowed the improvement in the performance of the shovels PL01, PL02 and PL03, reducing the granulometry by 0.34 inches and increasing the rate. of excavation in 97.59 t/h, also improving the unit crushing and grinding processes, reducing energy consumption due to the reduction of granulometry and increase of processed tonnage.

**Keywords:** production, P80, hardness, power factor, granulometry, hydrothermal alteration, etc.

## INTRODUCCIÓN

Generar programas de optimización y reducción de costos en operaciones mineras involucra un análisis de diversas variables geológicas, geomecánicas, operacionales, metalúrgicas y económicas. Estos análisis se relacionan a procesos unitarios operacionales como perforación y voladura y se relacionan con el rendimiento de los equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

La presente tesis involucra diversos sectores operacionales; los cuales, relacionados a su litología y alteración hidrotermal definen sus mallas de perforación y los parámetros de voladura para definir el factor de potencia asociado a cada sector y definir el grado de fragmentación, para luego asociarla a la tasa de excavación relacionando el rendimiento de los equipos de carguío. PL01, PL02 y PL03.

El desarrollo de la presente tesis considera diferentes capítulos, en los cuales se desarrolla el tema de forma y el tema de fondo. En el capítulo I se explica el problema general, objetivo general e hipótesis general, así mismo se expone los problemas específicos, objetivos específicos e hipótesis específicas.

En el capítulo II se detalla los antecedentes del problema del trabajo de investigación, asimismo se describe las generalidades de la operación como la geología, geomecánica, operaciones, etc. También se detalla el marco teórico el cual describe el procedimiento técnico a desarrollar en la presente tesis, describiendo el grado de fragmentación asociado a la voladura.

En el capítulo III se describe la metodología de investigación, el diseño aplicado, el nivel de investigación, definiendo la población y muestra aplicada en la presente tesis.

En el capítulo IV se describe y analiza los resultados del grado de fragmentación producto de la voladura, asociada a su litología, alteración hidrotermal y parámetros de diseño de malla de perforación como dureza, factor de potencia y relacionando al P80 y su tasa de excavación.



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

El desarrollo de la industria minera juega un papel importante en la economía del país, el producto bruto interno (PBI) es uno de los indicadores económicos que miden el crecimiento del país. Durante los últimos años existió un nivel de incremento del PBI. Así, el sector de minería generó el impulso de inversiones en nuestro país.

La explotación de yacimientos mineros mediante tajo abierto involucra niveles de inversión altos, con niveles de producción sobre 50,000 toneladas por día (50 ktpd) y costos operacionales bajos. Este crecimiento en el PBI en los próximos años será debido a las inversiones programadas durante los próximos 10 años en niveles de inversión de 50,000 MUS\$ en proyectos tipo *greenfield*, *brownfield* e *infill*.

Uno de los aspectos fundamentales en la industria minera es controlar los costos operacionales a medida que se profundiza las operaciones, donde es de vital importancia mejorar el rendimiento de los equipos a partir de un buen grado de fragmentación producto de la voladura y su relación con los procesos unitarios de planta. Estos mayores costos, está relacionado a una mayor distancia desde los

puntos de carguío hasta los puntos de descarga (chancadora, zona de acopio y desmontera)

Otro aspecto a considerar es el descenso de leyes a medida que se profundiza las operaciones, lo que implica el incremento de tonelaje y controlar la calidad de concentrados a producir, por lo que es importante la mejora de la productividad de los equipos de carguío y acarreo, en las distintos frentes operacionales. Uno de los conceptos de gestión operacional aplicados en minería está relacionado al concepto mina a planta, esto relaciona el grado de fragmentación desde la voladura hasta la etapa de chancado y molienda, pasando por las etapas anexas de carguío, acarreo y su incidencia en el consumo de energía, generando directamente el incremento de costos de operación.

El desarrollo del presente trabajo de investigación permitirá realizar un análisis de la fragmentación de mineral producto de la voladura y su influencia en el rendimiento de equipos de carguío en una mina atajo abierto.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **a) Problema general**

¿Cómo influye la fragmentación de mineral producto de la voladura en el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto, 2021?

#### **b) Problemas específicos**

¿Cómo relacionar las variables de voladura y el grado de fragmentación para mejorar el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto, 2021?

¿Cómo relacionar el factor de llenado y el grado de fragmentación para mejorar el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto, 2021?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la fragmentación de mineral producto de la voladura en el rendimiento de los equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Relacionar las variables de voladura y el grado de fragmentación para mejorar el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto.
  
- b) Relacionar el factor de llenado y el grado de fragmentación para mejorar el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

## **1.3. Justificación e importancia**

El presente trabajo de investigación permitirá relacionar diferentes variables operacionales, que implican los resultados de la voladura y relacionarlos con el grado de fragmentación y su influencia en los equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

### **1.3.1. Justificación social – práctica**

El trabajo de investigación permitirá una mejor relación entre las variables operacionales del grado de fragmentación producto de la voladura y su influencia en equipos de carguío, esto generará una mayor rentabilidad operacional y económica, además del uso de herramientas de gestión operacional, lo cual deriva en el uso de los estudiantes o personas relacionadas al sector minero.

Esta mejora ayudará a generar mayores oportunidades entre la relación empresa y comunidad, con su consecuente la mayor empatía de convivencia, generando proyectos comunales sustentados con el tiempo.

### **1.3.2. Justificación académica**

La presente tesis permitirá dar una mirada a los conceptos mina a planta, el cual permitirá analizar el grado de fragmentación producto de la voladura y relacionarla a la mejora del rendimiento de los equipos de carguío en una mina a tajo abierto. Asimismo, se analizará conceptos básicos en el cumplimiento de la normatividad del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, explicado en el Decreto Supremo N°024 – 2016. E.M. y su modificación mediante el D.S. N°023-2017 EM.

### **1.3.3. Justificación económica**

El análisis de la fragmentación de mineral, producto de la voladura y su influencia en el rendimiento de equipos de carguío, permitió la mejora en el rendimiento operacional, por lo que la optimización y reducción de costos, generó mayor rentabilidad económica en una mina a tajo abierto.

## **1.4. Hipótesis de la investigación**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La influencia de la fragmentación de mineral producto de la voladura influye positivamente en el rendimiento de los equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Al relacionar las variables de voladura y el grado de fragmentación influye positivamente en la mejora del rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto.
  
- b) Al relacionar el factor de llenado y el grado de fragmentación influye positivamente en la mejora del rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

## 1.5. Identificación de las variables

### 1.5.1. Variable independiente

Rendimiento de equipo de carguío

### 1.5.2. Variables dependientes

Análisis de la fragmentación

### 1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. *Tabla de operacionalización de variables*

Variables	Definición		Definición operacional	
	Conceptual	Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Rendimiento de equipos de carguío.	Es la cantidad de trabajo que realiza un equipo de carguío en un determinado tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factores geológicos.</li> <li>• Factores operacionales.</li> </ul>	Valoración geológica del yacimiento  Valoración geomecánica  Valoración de Parámetros de Voladura	Características del modelo geológico.  Características de diseño de malla de perforación.  Características de voladura (factor potencia)
VD: Análisis de la fragmentación	Se considera el análisis de la fragmentación en minería, al óptimo tamaño a ser transportado hacia planta de una forma eficiente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factores operacionales</li> </ul>	Valoración de P80  Valoración de P30	Relación granulométrica del P80 y el factor de potencia

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

- ✓ Tesis titulada: “*Dimensionamiento de equipos de carguío, acarreo y optimización del plan de mantenimiento de vías para los tajos Pampa Verde y San Pedro Sur, mina La Zanja*”. El estudio propuso el incremento de la producción en un 23 % con respecto al año anterior y un cumplimiento mayor al 90 % programado, durante el periodo enero a junio, considerando la reevaluación del dimensionamiento de flota en equipos de carguío y acarreo. Esta mejora de la producción orientado a este periodo de estudio fue debido a las condiciones climatológicas presentes en el área de estudio, lo que ocasiona pérdida de tiempos operacionales efectivos. Así mismo, la mejora del rendimiento de los equipos de acarreo fue producto de la mejora del mantenimiento y conservación de vías de acarreo. Esta mejora de vías de acarreo trajo una mejora en los tiempos reduciéndose en un 13.6% para mineral y en un 27% para desmonte, reduciendo en forma importante los costos unitarios de acarreo y una reducción del 6% de la disponibilidad mecánica, generando una rentabilidad operacional en 16%. (1)
  
- ✓ Tesis titulada: “*Evaluación del rendimiento de diferentes tipos de rodaduras para la optimización del ciclo de acarreo y transporte del material en tunelería*”

desarrollada en Universidad San Carlos de Guatemala. El estudio concluye, que el mayor costo operacional incide en los equipos de carguío y acarreo, considerando el análisis de las diferentes variables operacionales relacionadas entre estos procesos unitarios. Los resultados obtenidos, asocian a un buen desempeño de los equipos, a un buen mantenimiento de vías y el uso de los equipos en los diferentes frentes operacionales. El mantenimiento de vías adecuado, permitirá controlar de forma eficiente los tiempos de ciclo operacional desde los puntos de carguío hacia los puntos de descarga, dependiendo del material a transportar mineral o desmonte, controlando las velocidades óptimas y su mejor rendimiento, cumpliendo los planes mineros programados. (2)

### **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”*. De la tesis se infiere que en la actualidad se está llevando a cabo una revolución de la forma de hacer minería, esto se debe básicamente al avance tecnológico que nos permiten disponer de sistemas altamente desarrollados para el control de los procesos. Actualmente el costo más alto en operaciones de minas a cielo abierto, es el costo de acarreo de los camiones gigantes ya sea en combustible, llantas y repuestos, este costo representa casi el 55% del costo de minado. El objetivo de esta tesis es reducir los tiempos muertos de la flota de los camiones gigantes para así tener una mejor productividad de las mismas y por ende un mejor performance. Minimizando los tiempos muertos de los camiones de acarreo se podrá obtener una utilización alta y por tanto una productividad aceptable en base al costo del equipo. (3)
  
- ✓ Trabajo de investigación 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”*. En la tesis se explica técnica y económicamente la determinación de la flota de carguío y acarreo para el

incremento de la producción del material de desbroce de 400K a 1 000K BCM y optimización de costos en la U.E.A. El Brocal – Consorcio Pasco Stracon GyM. En primera instancia se proyectó una extracción mensual de 1 000 K BCM de material de desbroce, pero debido a las condiciones del mercado y a deficiencias en el planeamiento de minado en general, se redujo la producción a 400 K BCM. Ahora con el replanteo de opciones y prioridades de minado se optó por el incremento de la producción a 1 000 K BCM, como estaba contemplado contractualmente entre la Sociedad Minera El Brocal y Consorcio Pasco Stracon GyM. Para este incremento es necesaria la evaluación técnica y económica para lograr la óptima selección de equipos de carguío y acarreo para poder alcanzar la meta de aumentar la producción de material de desbroce. (4)

## 2.2. Generalidades de la compañía minera

### 2.2.1. Ubicación accesibilidad y generalidades

Regionalmente, la propiedad está localizada en el departamento de Ayacucho, a 520 km en línea recta al sur este de Lima. Localmente, se ubica en el distrito de Hualla, provincia de Víctor Fajardo. El proyecto está ubicado a una altura que oscila entre 3500 y 4000 m s. n. m.

**Tabla 2. Accesos al proyecto**

	Distancia (km)	Tiempo horas: minutos	Estado
Lima – Huamanga	560	8: 10	Pavimento asfaltado
Huamanga - Cangallo	102	2: 10	Carretera afirmada
Cangallo - Huancapi	5.5	1: 14	Carretera afirmada
Huancapi - Callara	2.1	0: 36	Carretera afirmada
Callara - Proyecto	18.4	0: 61	Carretera afirmada
Total	688	13: 11	



De Lima se puede comunicar por vía aérea o terrestre. La primera es la de mayor uso. La segunda es la de mayor tiempo de viaje con un aproximado de 13 a 15 horas.

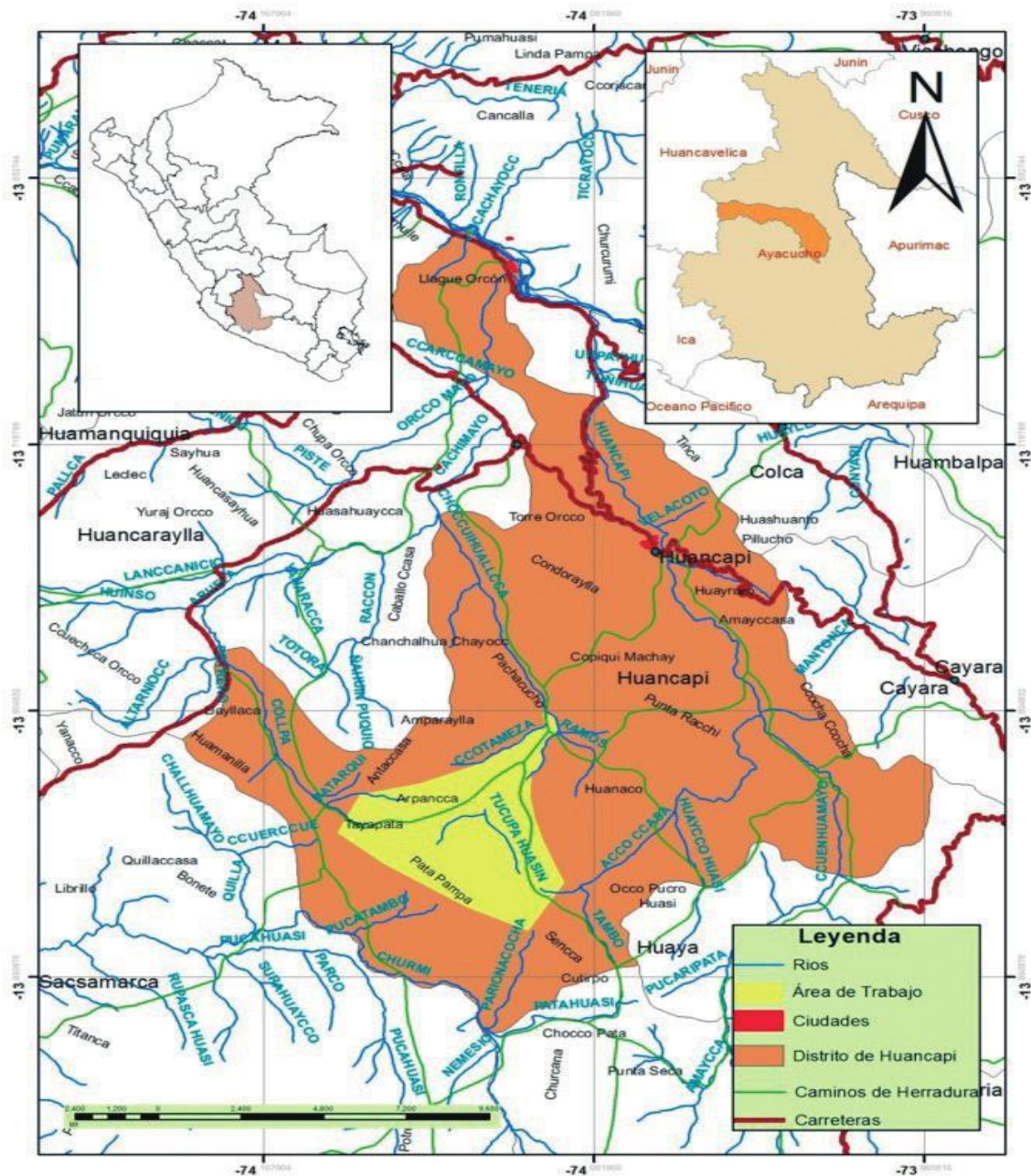


Figura 1. Ubicación y vías de acceso al proyecto minero

## **2.3. Geología general**

### **2.3.1. Geología regional**

La cordillera andina representa la principal estructura geológica en el Perú, se extiende sobre un ancho promedio de 300 km y con una altitud media de 3000 m. Ha sido formada y moldeada por diferentes ciclos tectónicos y sedimentarios. Estos eventos tectónicos han ocurrido en diferentes épocas geológicas (Jurásico, Cretácico y Terciario), y aún sus efectos siguen vigentes.

En el área del proyecto afloran rocas sedimentarias e ígneas que van desde el jurásico hasta el cuaternario reciente, y cubiertas en algunas áreas por volcanismo reciente. Los sedimentos se encuentran plegados, fallados e interrumpidos por repetidas intrusiones ígneas, en cuyos contactos se observan ocurrencias de mineralizaciones poli metálicas. Las estructuras y mineralizaciones presentan dirección NO – SE.

#### **a) Rocas sedimentarias**

- ✓ **Grupo Mitu**, constituido por areniscas color rojizo, grano fino a medio, intercaladas con conglomerados rojo amarillentos, clastos de granito gneiss rosado, calizas y cuarcitas y englobados por una matriz arenosa color gris rojizo. En algunas localidades se observan niveles de lutitas y arcillas rojas, estratos delgados de calizas lacustre de color amarillo y esporádicos niveles de tobas rosadas y andesitas de tonos rosados y rojizo, muy alterados. Aflora al norte y este de la zona del proyecto.
  
- ✓ **Grupo Pucará**, representada por calizas intercaladas con proporciones subordinadas de areniscas y lutitas; ocasionalmente se encuentran lentes de evaporitas y horizontes de conglomerados. En la parte superior de la serie presentan calizas brechoides con matriz y elementos de la misma naturaleza. Afloran en la zona norte del proyecto.

- ✓ **Formación Chunumayo**, es una secuencia de calizas arenosas y arcillosas; se presentan estratificadas en capas y bancos medianos, intercalados con niveles delgados de margas y calizas arenoso arcillosas color gris oscuro, a menudo en lajas. Hacia la parte superior se exponen lutitas gris verdosas con nódulos arenosos. Prácticamente aflora en toda el área del proyecto.
  
- ✓ **Grupo Yura**, está constituido por las formaciones Huacaña, Paire y Soraya. La parte inferior de la formación Huacaña es predominantemente lutácea, con intercalaciones de areniscas cuarzosas y calcáreas en estratos delgados, que pasa hacia arriba a una secuencia consistente de areniscas calcáreas, margas y lutitas calcáreas. Hacia la parte alta predominan areniscas cuarcíticas con intercalaciones delgadas de lutitas y areniscas calcáreas.
  
- ✓ **Formación Paire**, está representada por un conjunto calcáreo, constituido por calizas arenáceas en sus niveles inferiores y calizas arcillosas, con algunos horizontes de margas en su parte superior. Esta formación presenta una litología mayormente cuarcítica constituida por areniscas cuarcíticas y cuarcitas macizas que forman cerros prominentes y barrancos muy abruptos.
  
- ✓ **Formación Mara**, presenta alternancia de lutitas, limolitas y areniscas, con niveles lenticulares de microconglomerados. En conjunto adoptan un color rojo oscuro con tonalidades verdosas y blanquecinas. Aflora al Sur Oeste de la zona del proyecto.
  
- ✓ **Formación Ferrobamba**, presenta una alternancia de calizas gris oscuras a negras, areniscas calcáreas de color beige lutitas negras y verde oscuro. Las calizas por intemperismo adoptan color pardo amarillento, a veces rojizo. Aflora al N-E y S-O de la zona del proyecto.

## **b) Rocas volcánicas**

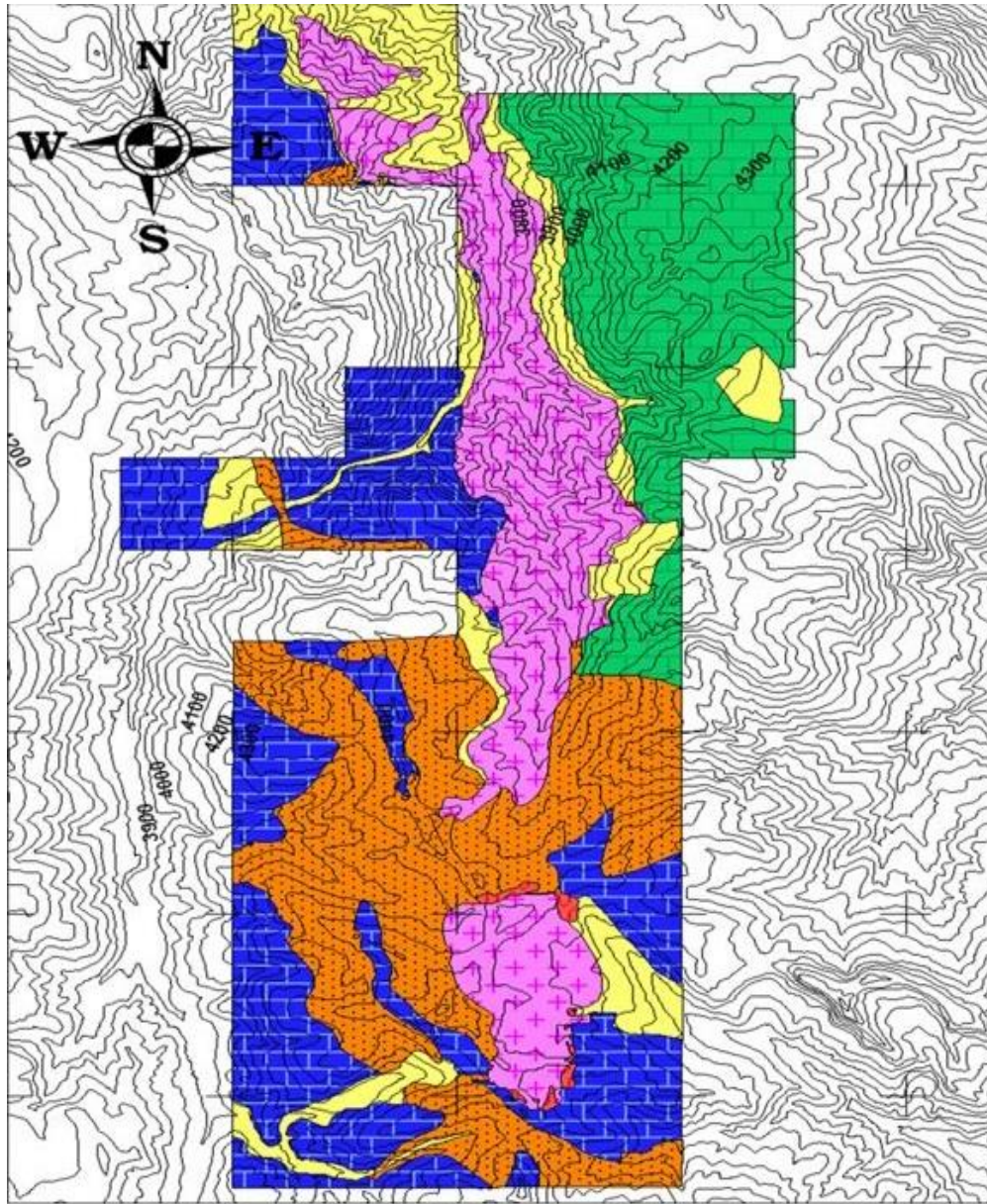
- ✓ **Grupo Barroso**, hacia abajo representado por alternancia de derrames andesíticos y traquiandesíticos de color gris a violáceo y textura porfídica, donde destacan fenocristales de plagioclasas y rocas de textura fluidal. Esto debido al alineamiento paralelo o subparalelo de elementos de la trama y estructuras vesiculares.

Es frecuente observar intercalaciones de brechas y aglomerados color gris a marrón. Hacia arriba está representado por secuencias piroclásticas cuya sección interior es constituida por intercalaciones de gruesos bancos de tobas soldadas de aspecto masivo y cavidades vacuolares con pómez, granos angulares de cuarzo, biotita, plagioclasas y vidrio volcánico. En conjunto presentan marcada disyunción esferoidal. La roca presenta coloración gris violácea en superficie fresca, variando a gris claro por intemperismo. Aflora al Oeste de la zona del proyecto.

## **c) Rocas igneas**

- ✓ **Diorita - Monzonita Ccasccabamba**, aflora a manera de stocks, apófisis, y cuerpos intrusivos de mediano tamaño. Las composiciones dioríticas, tonalíticas y monzoníticas varían entre algunos metros donde eventualmente alcanzan algunas texturas porfiriticas. Alteraciones silicato Na - K, propiliticas, filicas, argilizaciones y albitizaciones son reconocidas en algunos lugares. No existen dataciones sobre estas intrusiones, pero por su emplazamiento entre los estratos Jurasicos y Cretácicos se infiere una edad mínima cretácico superior a terciario, y su relación espacial con la ocurrencia de mineralizaciones poli metálicas conforman el metalotecto polimetálico Sur Andino del "Cretasico-Terciario" de rumbo Nor Oeste - Sureste.
- ✓ **Granito de Querobamba**, constituido por granito rojo y facies granodiorita-monzonita de edad permico-triasico (Paleozoico Superior). Representa el basamento de toda la zona y se distribuye regional y paralelamente en dirección Norte - Sur por el frente Este de la zona de estudio.

El granito de Querobamba representa el levantamiento orogénico “finihercinico” que representa el cierre del paleozoico y su exposición/erosión superficial es evidenciada por las molasas del grupo Mitu (Kontac et. al. 1985) de edad permico. El granito alberga una sería de explotaciones auríferas a nivel artesanal.



**Figura 2. Geología local del área de proyecto**

### **2.3.2. Geología estructural**

La interpretación de la imagen satelital Lansat banda 7, 4, 2, a una escala 1/100,000 es posible definir que las mineralizaciones del área de proyecto, se ubican en la intersección de un gran corredor estructural regional de dirección N30°E con el fallamiento regional de rumbo andino N10°W.

El fallamiento NE expone un juego dextral, con la generación de fallas tensionales de rumbo NS a N30° a 50°W. Precisamente, el afloramiento del intrusivo cuarzo monzonítico presenta un rumbo NS, al igual que el stock dacítico - monzonítico que mineraliza en sectores aledaños al proyecto. De igual forma, la mineralización en las estructuras tipo sills de composición dacítica y que emplaza mineralización de molibdeno presenta una dirección N40°W. La mineralización Skarn ocurre en el contacto de estas formas intrusivas

### **2.3.3. Geología económica**

#### **a) Mineralogía**

La mineralización está asociada a un yacimiento tipo *skarn*, con una alteración asociada del tipo granate y filosilicatos. Los granates presentes son andradita en cristales octogonales color marrón oscuro y claro, y en menor grado grosularia color verde claro también en cristales.

Los filosilicatos son clorita, epidota, actinolita, que junto con los granates forman una alteración del tipo “*skarn* retrogrado” asociado a la ocurrencia de sulfuros pirita, calcopirita y menor molibdenita con trazas de bornita y óxidos de Fe y Mn.

Los recursos minerales, sobre este tipo de *skarn* se cubicó un volumen entre 120 Millones de TM con ley promedio de 0.14 Au g/t, 5.46 Ag g/t, y 0.42 %Cu entre 7 zonas mineralizadas. Sin embargo, en algunas partes es posible observar cuerpos con mayor abundancia de sulfuro con leyes de hasta 2.9 %Cu, 1.0 Au g/t, y 29.7 Ag g/t.

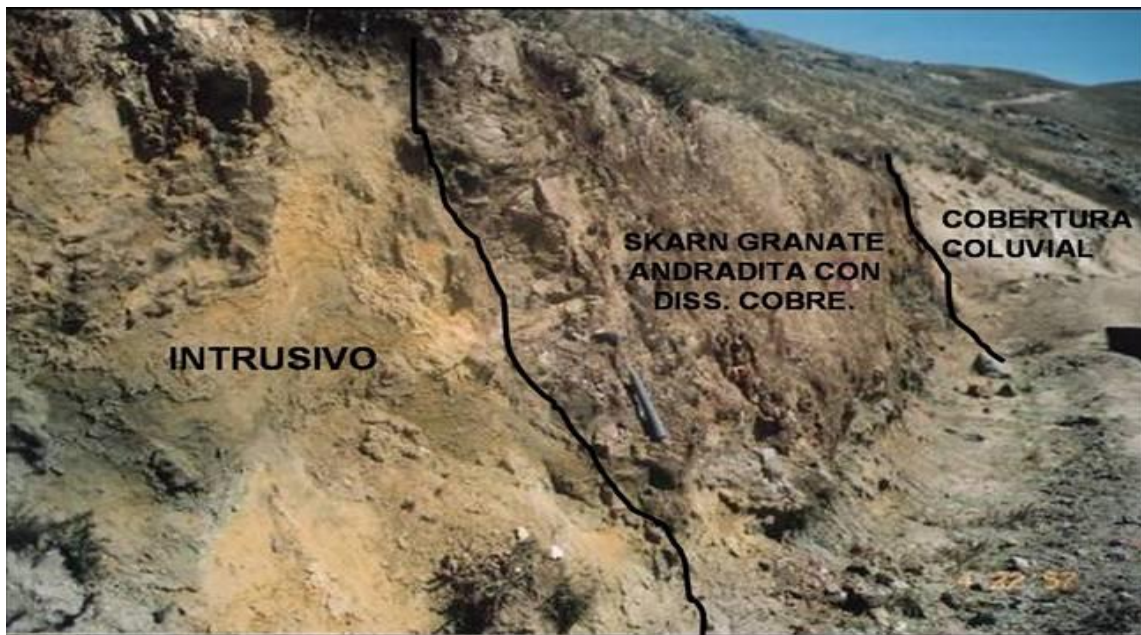
## 2.4. Tipo y forma del yacimiento

Se trata de un yacimiento *skarn*, asociado a sistemas pórfido de Cu, desarrollando un halo de alteración metasomática típica, con zonas muy definidas como el *endoskarn*, *skarn* y *exo skarn*.

Asimismo, el yacimiento está asociado a zonas de alteración hidrotermal tipo cuarzo sericita, relacionado a sistemas pórfido de Cu.

### 2.4.1. Afloramientos de las estructuras mineralizadas

Los afloramientos de las estructuras mineralizadas están asociadas a los contactos litológicos entre el intrusivo y los ambientes sedimentarios, así mismo se presentan estructuras mineralizadas asociadas a los principales lineamientos o fallas de sobre escurrimiento asociados a la mineralización de Cu.



**Figura 3. Contacto litológico, intrusivo y caliza, zona de skarn Cu**

## 2.5. Zonificación de la mina

El mayor volumen de los recursos minerales reconocidos en el proyecto se encuentra en la forma de *skarn*, principalmente en el área sur del proyecto, alrededor de los contactos del intrusivo cuarzo monzonítico con los horizontes de

calizas Chunumayo que buzan hacia el Sur Oeste. Se identificaron 7 zonas mineralizadas de pirita + calcopirita, englobadas por cuerpos masivos de granate andradita + grosularia. Con el mapeo geológico se delimitaron sus extensiones. Con un muestreo referencial sobre cada zona se realizó una primera caracterización del contenido metálico.



*Figura 4. Zonificación de las áreas mineralizadas, zona de skarn Cu*



## **2.6. Producción mina**

La explotación en el proyecto se realiza mediante tajo abierto, considerando el típico sistema de pala camión. Se considera una producción diaria de 60 ktpd, considerando el tratamiento metalúrgico como flotación.

El cumplimiento de los planes de producción está restringido al grado de fragmentación producto de la voladura generado en los diferentes sectores operacionales de la mina.

## **2.7. Bases teóricas del estudio**

El análisis de la fragmentación de mineral producto de la voladura permitirá dar una mirada al rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto, considerando los parámetros de perforación y voladura, así mismo se considerará las propiedades geológicas y de alteración asociadas a los parámetros de perforación y voladura. Los equipos de carguío asociadas son las palas eléctricas modelo CAT 7495.

### **2.7.1. Especificaciones técnicas de equipos de carguío**

Los equipos de carguío utilizados para el análisis de la fragmentación de mineral producto de la voladura y su influencia en el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto son: pala eléctrica CAT Modelo 7295.

#### **a) Pala eléctrica CAT – MODELO 7295**

El presente estudio analizará las palas eléctricas PL01, PL02 y PL03, cuyo modelo Caterpillar es 7295, de 45 toneladas de carga útil de balde.



**CARGA ÚTIL DEL BALDE**

**45 t**

**CAPACIDAD DEL BALDE**

**18,4 a 39,0 m<sup>3</sup> (24 a 51 yd<sup>3</sup>)**

**PESO DE TRABAJO CON BALDE Y VARILLAJES ESTÁNDARES**

**793259 kg**

*Figura 5. Pala eléctrica Caterpillar, modelo 7295  
Tomado de Caterpillar website*



*Figura 6. Pala eléctrica Caterpillar, modelo 7295.  
Tomado de Caterpillar website*

Las consideraciones técnicas para los equipos de carguío modelo Caterpillar 7295 de 45 toneladas de carga útil, está relacionado con los equipos de acarreo de capacidad aproximada de 120 toneladas considerando un match de 3 a 5 pases. Esta relación de equipos de carguío y equipos de acarreo estará en función del grado de fragmentación considerada en el presente trabajo de investigación considerando el P80 solicitado por planta, definiendo así el factor de llenado óptimo producto de la voladura en los diferentes frentes de operación.

### **2.7.2. Consideraciones de parámetros de perforación**

Los parámetros que inciden directamente en la voladura, es el grado de fragmentación y el desplazamiento, teniendo una incidencia directa en la estructura de costos operacionales.

La presente tesis está orientado a analizar el grado de fragmentación y su relación con las diferentes litologías, dureza y alteraciones presentes en los diferentes frentes operacionales.

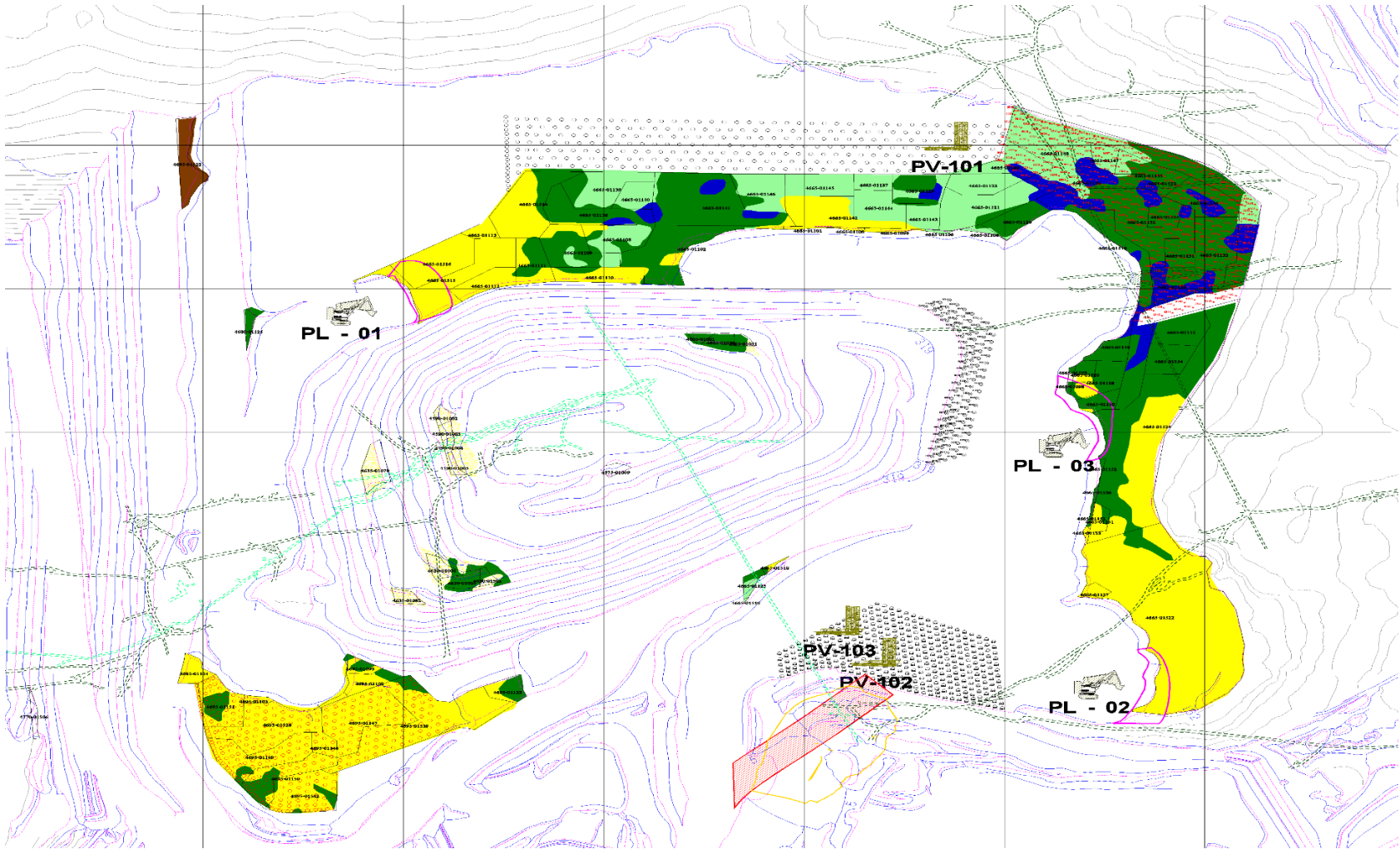
✓ Parámetros litológicos, alteración y dureza

La litología presente en el área de estudio corresponde a intrusivos del tipo diorita, andesita porfirítica, pórfidos granodioríticos, brechas, zonas de skarn, zona de hornfels y zonas de skarn con magnetita.

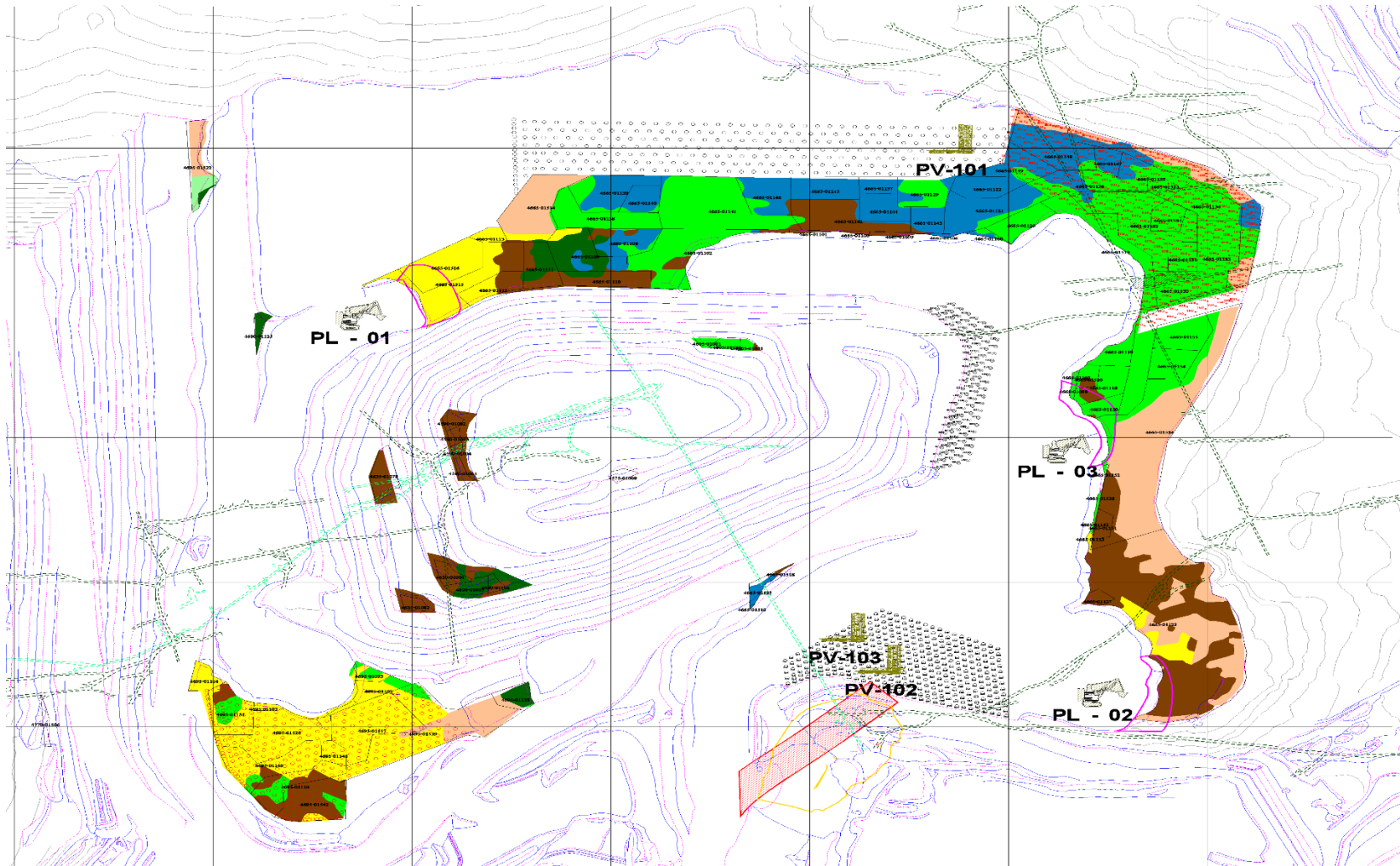
Las alteraciones presentes están asociados a sistemas pórfidos y sistemas tipo skarn, siendo las alteraciones hidrotermales presentes como: alteración potásica, alteración fílica, alteración propilítica y alteración argílica asociadas a los pórfidos, mientras que para los sectores tipo skarn están presentes las alteraciones progrado y retrogrado como: alteración endoskarn, alteración serpentina – magnetita, alteración tremolita – actinolita, alteración hornfels y silicificación.

La dureza está caracterizada en función a las propiedades del macizo rocoso siendo estas como: roca muy débil dureza 1, roca débil 2, roca medianamente fuerte 3 y roca fuerte 4.

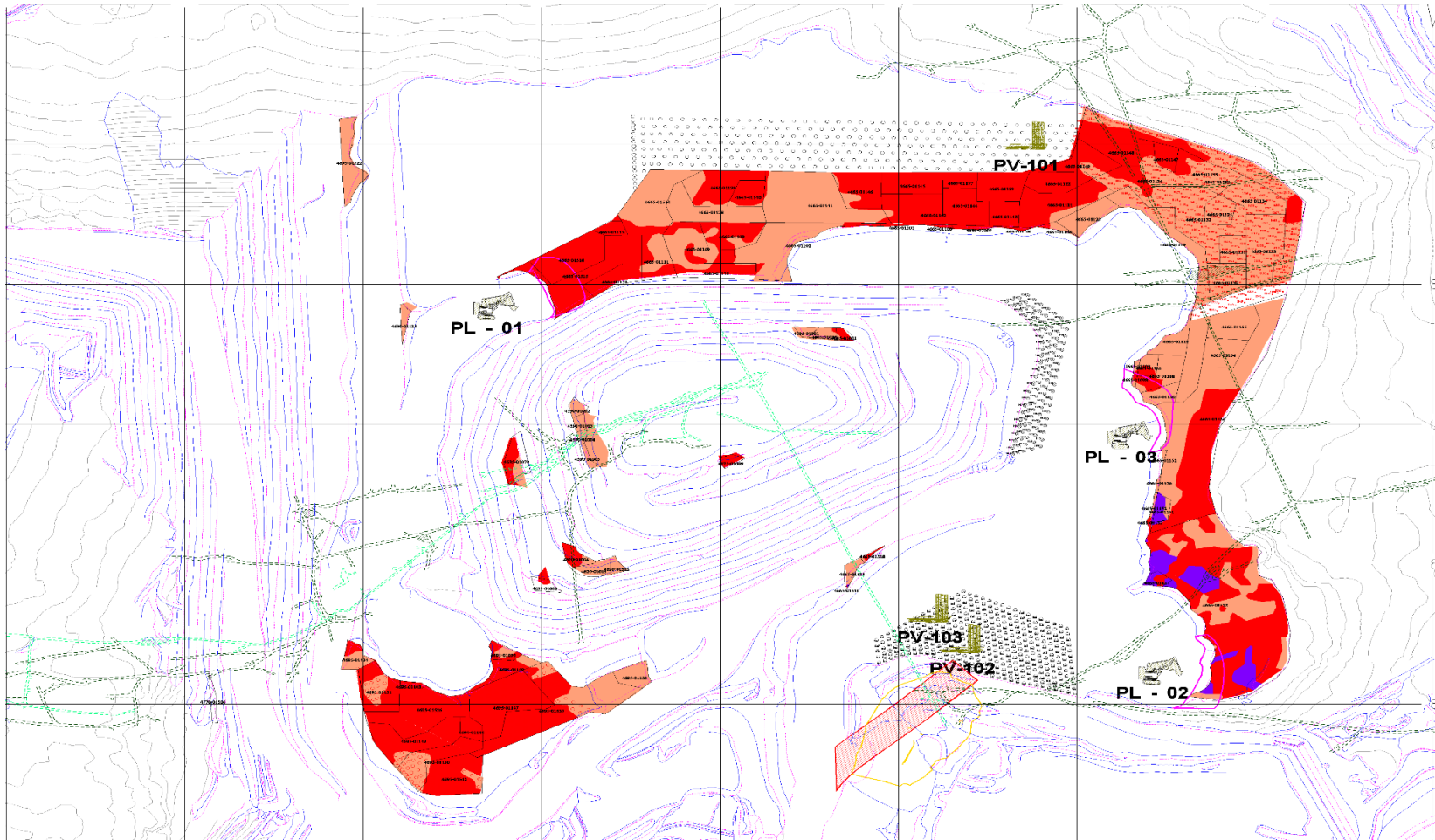
El presente trabajo de investigación relacionará las variables de factor de potencia, granulometría y las variables por litología, alteración y dureza, el cual nos dará una aproximación de la incidencia en el rendimiento de los equipos de carguío en la operación minera.



**Figura 7. Litología asociada a las diferentes litologías de la operación minera Tomado del Departamento de Planeamiento**



**Figura 8. Alteración asociada a las diferentes litologías de la operación minera  
Tomado del Departamento de Planeamiento**

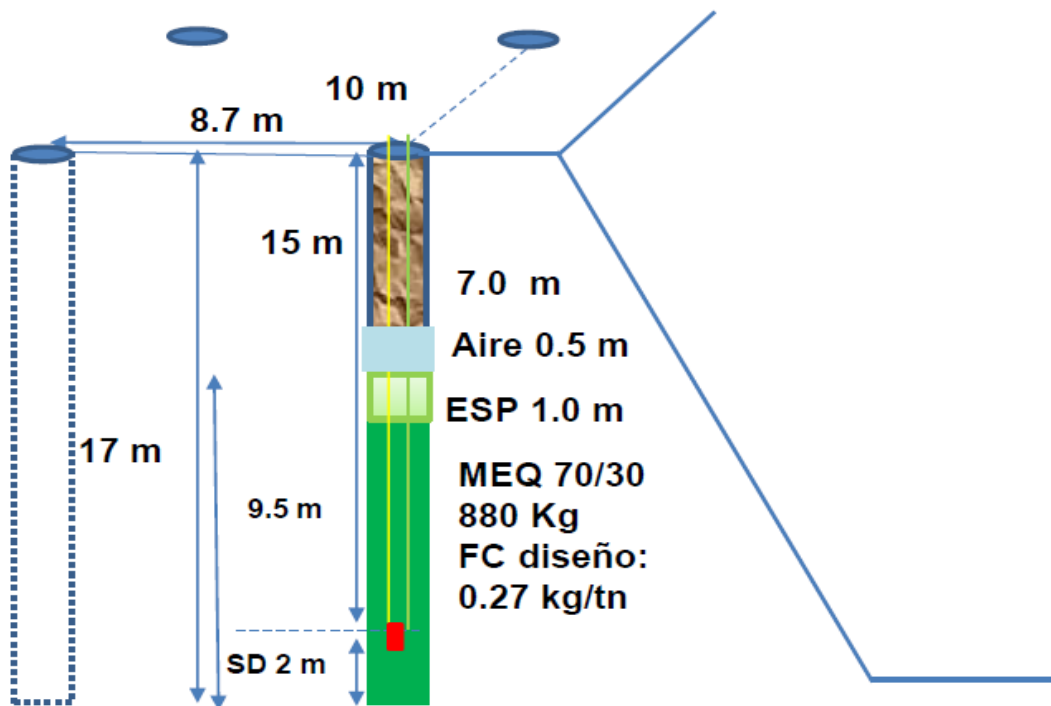


**Figura 9. Dureza asociada a las diferentes litologías de la operación minera Tomado del Departamento de Planeamiento**

✓ Parámetros de perforación y voladura

Las consideraciones de perforación y voladura están asociados y relacionados a las diferentes litologías, alteración y dureza presentes en los diferentes sectores de operación siendo los parámetros de perforación:

- Skarn serpentina - magnetita

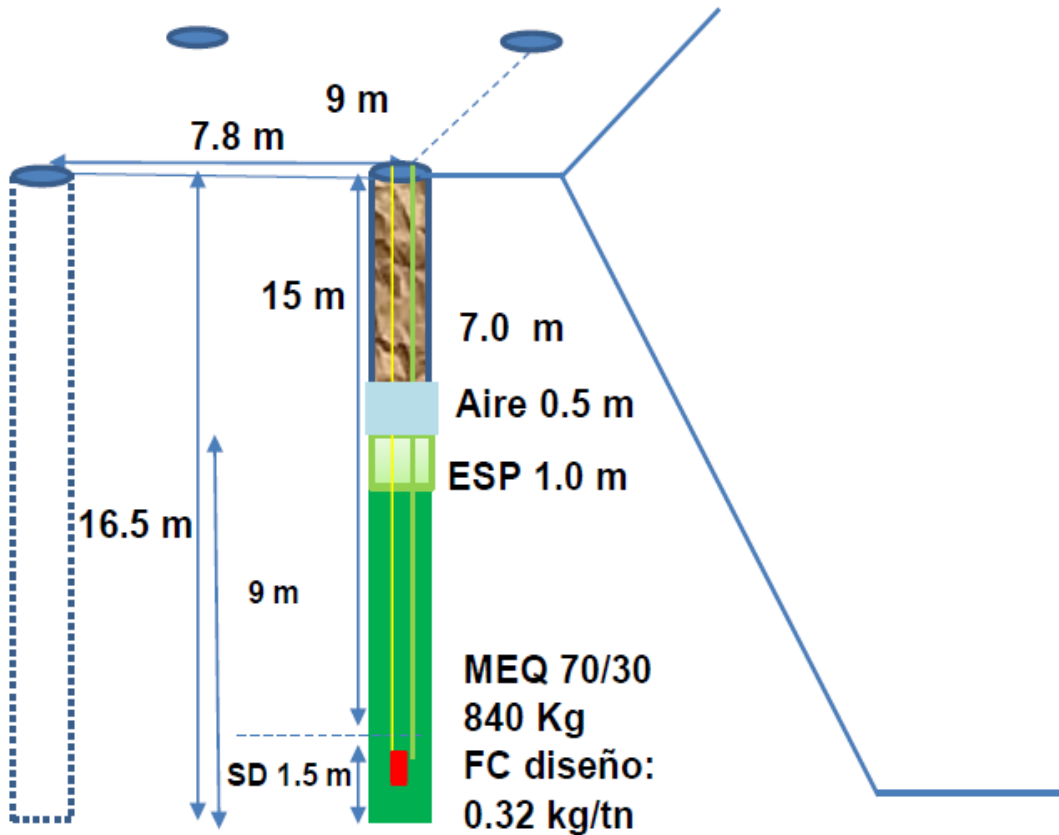


**Figura 10. Malla de perforación, zona de Skarn serpentina - magnetita  
Tomado del Departamento de Planeamiento**

Los parámetros de perforación en zonas de alteración tipo skarn con mineralogía tipo serpentina y magnetita considera una malla de 10 m x 8.7 m (espaciamento x burden), con alturas de banco de 17 metros, sobre perforación de 2 metros, considera un factor de potencia de 0.27 Kg/Ton y alturas de carga de 8.5 metros. El total de consumo de explosivos es de 880 kilogramos.



- Alteración Hornfels

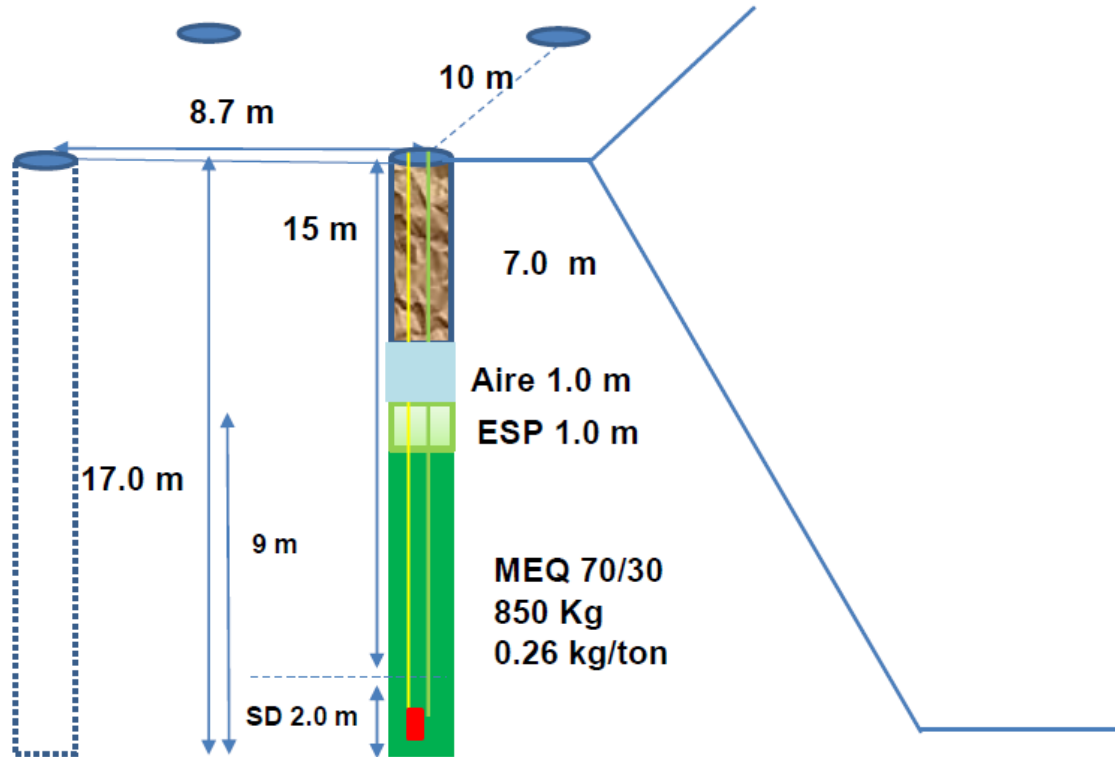


**Figura 11. Malla de perforación, zona de Hornfels  
Tomado del Departamento de Planeamiento**

Los parámetros de perforación en zonas de alteración tipo *skarn* con mineralogía tipo serpentina y magnetita considera una malla de 9 m x 7.8 m (espaciamiento x *burden*), con alturas de banco de 16.5 metros, sobre perforación de 1.5 metros, considera un factor de potencia de 0.32 kg/t y alturas de carga de 8.0 metros.

El total de explosivos es de 840 kilogramos.

- Intrusivo



**Figura 12. Malla de perforación, zona de intrusivo  
Tomado del Departamento de Planeamiento**

Los parámetros de perforación en zonas de alteración tipo *skarn* con mineralogía tipo serpentina y magnetita considera una malla de 10 m x 8.7 m (espaciamiento x *burden*), con alturas de banco de 17.0 metros, sobre perforación de 2.0 metros, considera un factor de potencia de 0.26 kg/t y alturas de carga de 8.0 metros.

El total de consumo de explosivos es de 850 kilogramos.

### 2.7.3. Consideraciones de parámetros de granulometría

Uno de los parámetros que inciden la voladura es el grado de fragmentación, donde las variables litológicas por tipo de alteración y factor de potencia serán analizadas en la presente tesis. Se presenta a continuación las curvas granulométricas de acuerdo al tipo de alteración presentes en el tajo.

Se analizó de cada alteración el porcentaje de finos mínimos y máximos a partir de ellos se estimó los rangos para la elaboración de las curvas de distribución granulométricas.

Para poder analizar y cuantificar el tonelaje de roca de fragmentos gruesos, medios y finos que ingresan a chancado se realiza lo siguiente:

- a) Se promedia las 3 curvas granulométricas de cada alteración (mínimo, intermedio y máximos) y se obtiene una sola curva granulométrica por cada alteración.
- b) Se considera los porcentajes de las alteraciones que son enviados a chancadora para poder cuantificar el tonelaje de fragmentos finos, medios y gruesos de cada alteración.
- c) Finalmente, se obtiene el total de tonelaje grueso, medio y fino de cada alteración.

Los parámetros de planta que considera los diferentes tamaños son:

**Tabla 3. Granulometría requerida en la etapa de chancado.**

Tipo de Fragmento	Tamaño Requerido (Pulgadas)	% Requerido
Fragmentos Gruesos	>4"	30%
Fragmentos Medio/Regular	>1"-4"	15%
Fragmentos Finos	<1"	55%

*Tomado de área de Planta*

Esto significa que por cada 100 toneladas que ingresa a la chancadora, 30 toneladas serán de fragmentos gruesos que consideran un tamaño requerido  $> 4''$ , 15 toneladas serán de fragmentos medios que consideran un tamaño requerido entre  $>1''$  a  $4''$  y 55 toneladas serán de fragmentos finos que consideran un tamaño requerido  $< 1''$ .

P80: Kuznetsov realizó estudios de fragmentación, en el cual hace referencia al tamaño medio de fragmentación, al factor de carga y a la estructura geológica; sin embargo, el trabajo asocia principalmente al tamaño medio de la fragmentación, el cual no asocia a las rocas grandes ni a los finos, producto de la voladura. Lo que es necesario es determinar la distribución real de tamaños y no solo el promedio (Konya y Albarrán, 1998).

La fragmentación medida en P80 (Pasante 80) representa la distribución de tamaños menores a X valores de los fragmentos correspondientes al 80 % del material total volado. Este valor se obtiene mediante el análisis e interpretación de imágenes con diferentes softwares.

Asimismo, se puede correlacionar con el P30 o P50, lo que indica el grado de la granulometría producto de la voladura, siendo el análisis granulométrico mediante el P80.

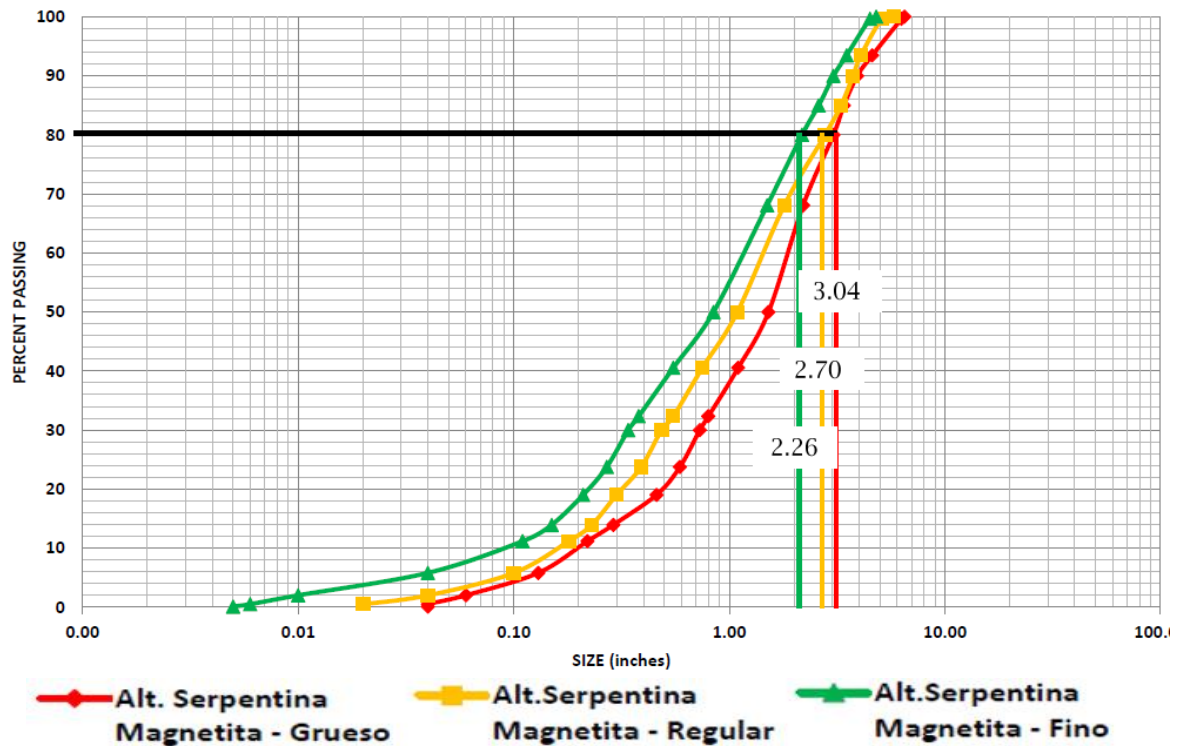
Para el análisis del P80, como ejemplo podríamos considerar la necesidad de planta de un P80 igual a 20 centímetros, se tiene como objetivo que el 80 % del material volado tiene que tener un tamaño igual o menor a 20 centímetros.

Estos resultados de optimizar el grado de fragmentación de acuerdo a la necesidad de planta, estará íntimamente relacionado a la litología presente, su alteración que estas sufren (hidrotermal, supérgeno, etc), el factor de potencia, etc. Un mal disparo afectará no solo la fragmentación sino también el rendimiento de los

equipos de carguío y acarreo con un consecuente incremento de costos operacionales en el área de mina y planta, por un mayor consumo de energía.

- ✓ Parámetros de granulometría zona *Skarn* serpentina - magnetita.

**Tabla 4. Curvas granulométricas zona *Skarn* serpentina - magnetita**

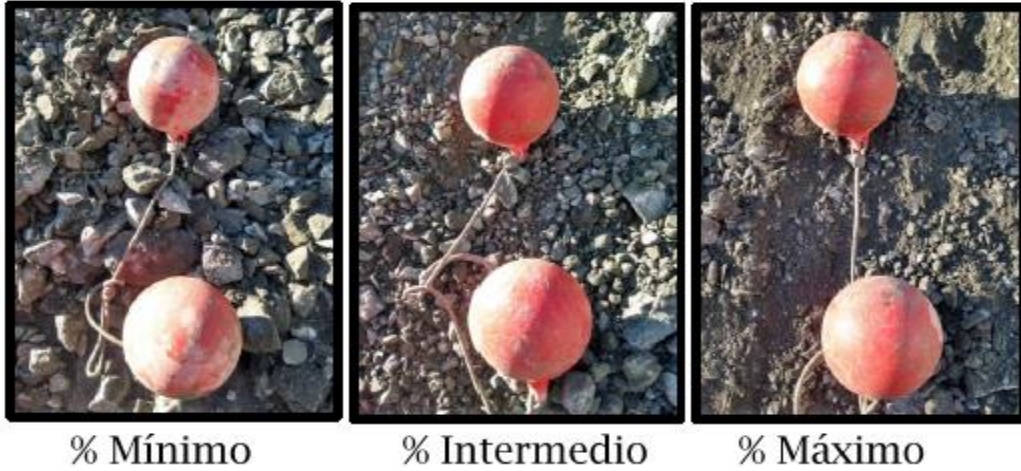


*Tomado de área de Perforación y Voladura*

**Tabla 5. Rango de fragmentos zona *Skarn* serpentina – magnetita.**

Alt. Serpentina - Magnetita				
RANGO % de Finos <1"	P 30	P 50	P 80	P90
[35-40] Mínimo	0.730	1.520	3.040	3.920
[41-50] Intermedio	0.464	1.080	2.697	3.695
[51-58] Máximo	0.334	0.860	2.262	3.273

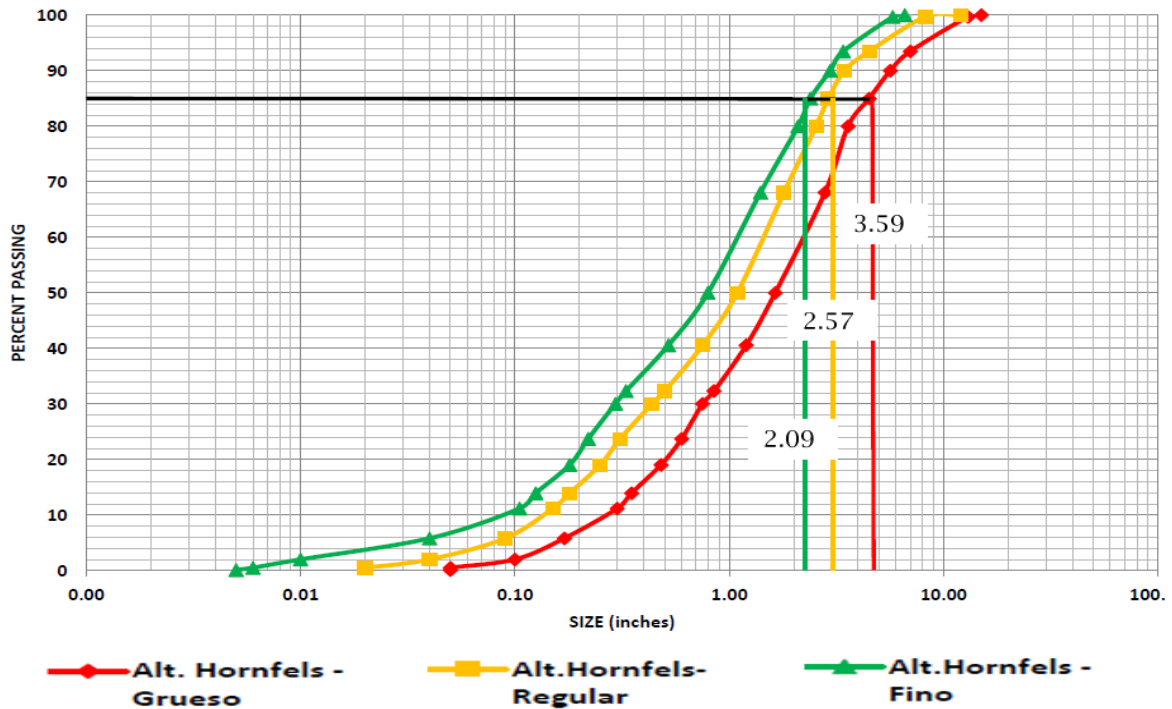
*Tomado de área de Perforación y Voladura*



**Figura 13. Material según rango, mínimo, intermedio y máximo zona Skarn serpentina – magnetita**  
*Tomado de área de Perforación y Voladura*

✓ Parámetros de granulometría zona Hornfels

**Tabla 6. Curvas granulométricas zona Hornfels**



*Tomado de área de Perforación y Voladura*

Tabla 7. Rango de fragmentos zona Hornfels

Alteración Hornfels				
RANGO % de Finos <1"	P 30	P 50	P 80	P90
[36-40] Mínimo	0.750	1.640	3.590	5.650
[41-50] Intermedio	0.427	1.076	2.565	3.569
[51-61] Máximo	0.306	0.812	2.087	3.024

Tomado de área de Perforación y Voladura



% Mínimo

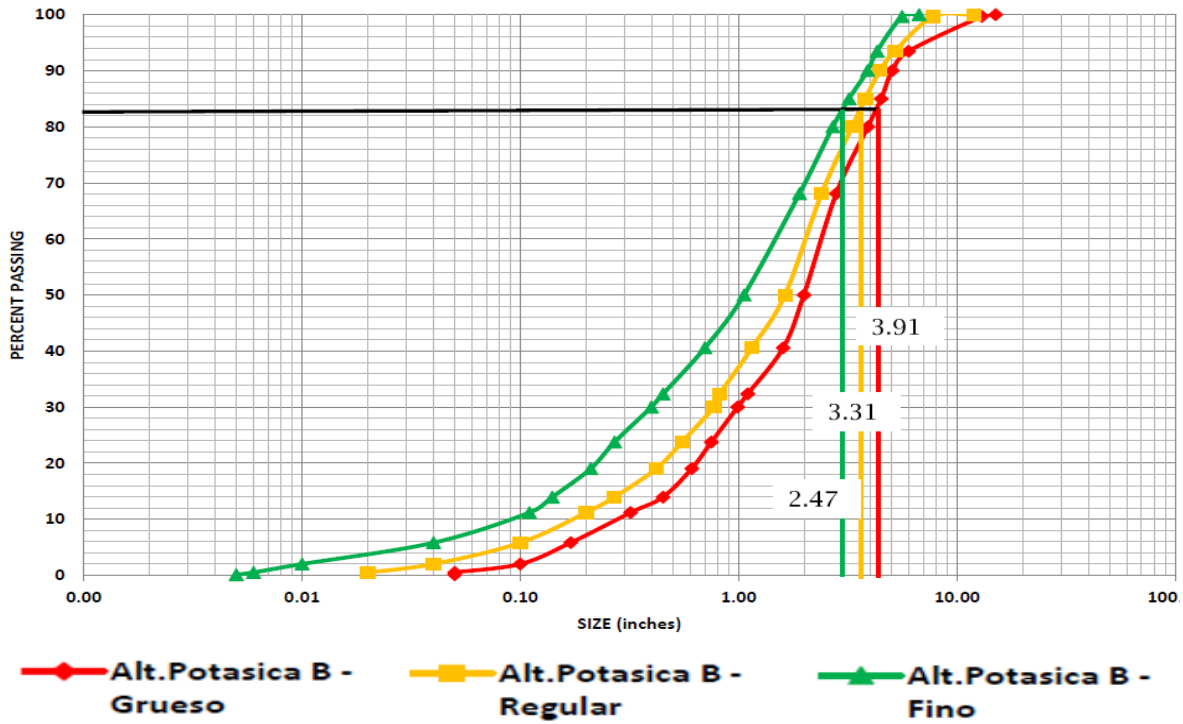
% Intermedio

% Máximo

Figura 14. Material según rango, mínimo, intermedio y máximo zona Hornfels  
Tomado de área de Perforación y Voladura

✓ Parámetros de granulometría zona intrusivo

**Tabla 8. Curvas granulométricas zona intrusivo**



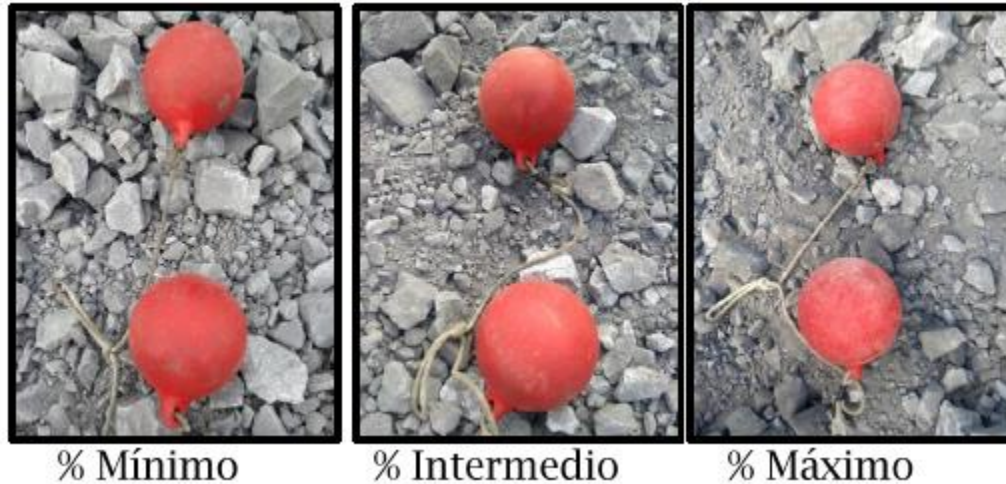
*Tomado de área de Perforación y Voladura*

**Tabla 9. Rango de fragmentos zona Intrusivo**

ALTERACIÓN POTÁSICA B				
RANGO % de Finos <1"	P 30	P 50	P 80	P90
[25-30] Mínimo	0.990	1.990	3.910	5.050
[31-40] Intermedio	0.770	1.630	3.310	4.440
[41-57] Máximo	0.399	1.013	2.465	3.504

*Tomado de área de Perforación y Voladura*





**Figura 15. Material según rango, mínimo, intermedio y máximo zona Intrusivo Tomado de área de Perforación y Voladura**

Para poder analizar y cuantificar el tonelaje de rocas de fragmentos gruesos, medios y finos en los tres tipos de alteración considera lo siguiente:

- ✓ Zona Alteración Serpentina – Magnetita: considera el P80 de materiales gruesos en 3.04 pulgadas, el P80 del material intermedio o regular en 2.70 pulgadas y el P80 del material fino en 2.26 pulgadas.
- ✓ Zona Hornfels: considera el P80 de materiales gruesos en 3.59 pulgadas, el P80 del material intermedio o regular en 2.57 pulgadas y el P80 del material fino en 2.09 pulgadas.
- ✓ Zona Intrusivo: considera el P80 de materiales gruesos en 3.91 pulgadas, el P80 del material intermedio o regular en 3.31 pulgadas y el P80 del material fino en 2.47 pulgadas.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1. Método de la investigación**

El trabajo de investigación es de carácter aplicada a un nivel explicativo, que logrará la mejora en el rendimiento de equipos de carguío producto del análisis de la fragmentación en la voladura en una mina a tajo abierto, siendo el método a desarrollar de carácter inductivo – deductivo.

##### **a) Método general**

El método inductivo – deductivo, observará y analizará los parámetros de voladura y verificará los resultados que influyen en el rendimiento de equipos de carguío. Las evaluaciones de los parámetros operacionales, permitirá determinar la incidencia que genera los resultados de la voladura en equipos de carguío. en una mina a tajo abierto.

##### **b) Métodos específicos**

La determinación de los principales indicadores operacionales que influyen en la voladura, mediante la recolección y procesamiento de variables geológicas y geomecánicas considera:

- **Recopilación de informes anteriores.** Para el análisis de información a lo largo de periodos de tiempo y su incidencia en las variables de rendimiento de equipos de carguío, se obtendrá de las áreas unitarias de geología, mina, planta, etc.
- **Trabajo de campo.** Considera las observaciones de campo, observando el análisis de tiempo y variables que involucran el grado de fragmentación producto de la voladura en una mina a tajo abierto.
- **Trabajo de gabinete.** Se analizará los parámetros de voladura que influye en el grado de fragmentación del mineral.
- **Resultados.** Se analizará la evaluación de las variables de voladura y su relación con el grado de fragmentación para mejorar el rendimiento de los equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

### 3.1.2. Alcances de la investigación

El diseño de investigación consistirá en realizar el control de las variables operacionales de voladura que influyen en el grado de fragmentación de mineral, el cual influye directamente en el rendimiento de equipos de carguío.

#### a) Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, donde utiliza y aplica los conocimientos y teorías que ya se desarrollan en la investigación básica. Se fundamenta en la geología, geomecánica, perforación y voladura, costos, etc.

#### b) Nivel

El nivel de la investigación es de tipo explicativo, porque buscará un método que permita mejorar la productividad en equipos de carguío, producto de la fragmentación de la voladura. El principal alcance es saber cuál es el método que ayude a mejorar el rendimiento de equipos de carguío.

### **3.2. Diseño de la investigación**

La investigación es descriptivo longitudinal, el cual permitirá la descripción y evaluación de los parámetros que inciden directamente en el grado de fragmentación producto de la voladura en una mina a tajo abierto.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población pertenece a las diferentes labores de producción perteneciente a la empresa minera a tajo abierto.

#### **3.3.2. Muestra**

Está asociada por los distintos frentes operacionales superficiales para el control del grado de fragmentación.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

- ✓ Observación de campo
- ✓ Recolección bibliográfica
- ✓ Data de campo
- ✓ Análisis de data de voladura

#### **3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

- ✓ Tablas de Excel
- ✓ Libros y revistas
- ✓ Información de internet
- ✓ Lap top
- ✓ Otros

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información**

Se analizará los resultados de la fragmentación de mineral producto de la voladura y su influencia en equipos de carguío en una mina a tajo abierto.

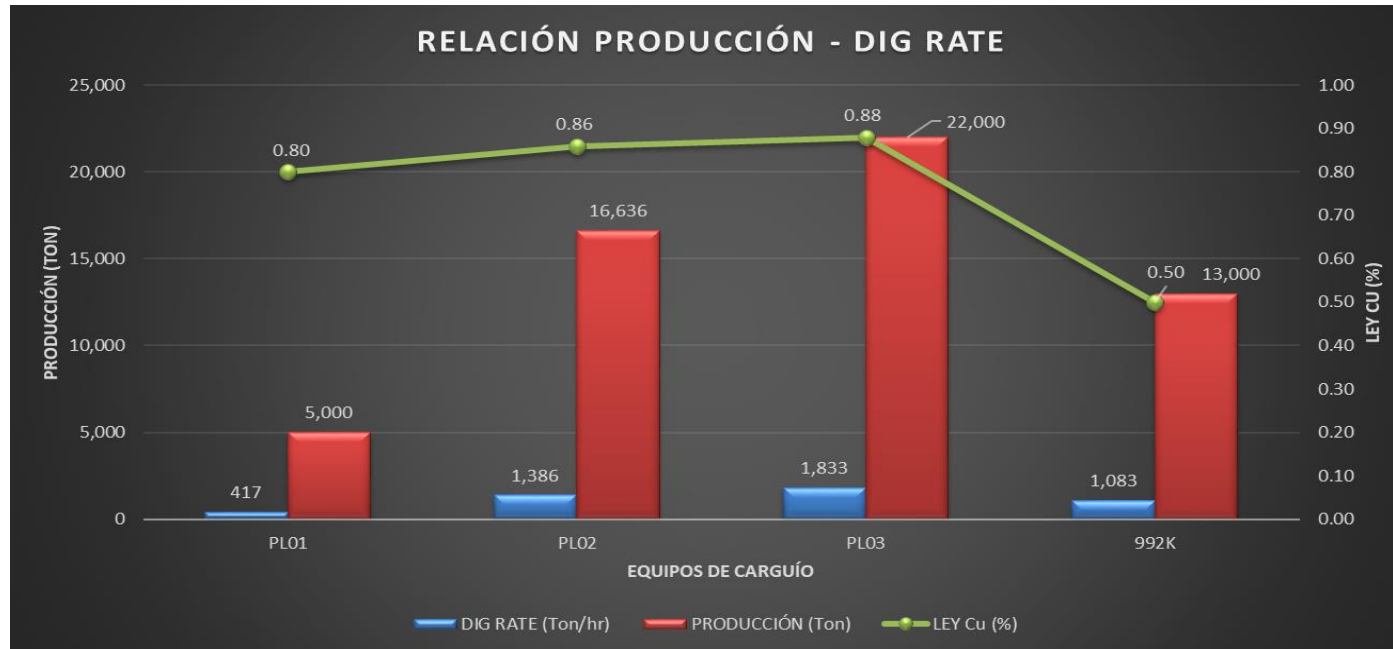
##### **4.1.1. Análisis del rendimiento de equipo de carguío**

Para el análisis de la fragmentación producto de la voladura, se tuvo en cuenta el ritmo de producción, el cual considera una producción de 60 ktpt, con leyes promedio de Cu@0.78 %, As@0.26 ppm, con una dureza promedio de 2.66. La producción está relacionado al sector tipo pórfido y al sector tipo *skarn*. Estos sectores están asociados a la granodiorita y a rocas metamórficas, siendo las alteraciones hidrotermales presentes como potásica y alteraciones metasomáticas como alteración serpentina – magnetita y alteración serpentina – talco.

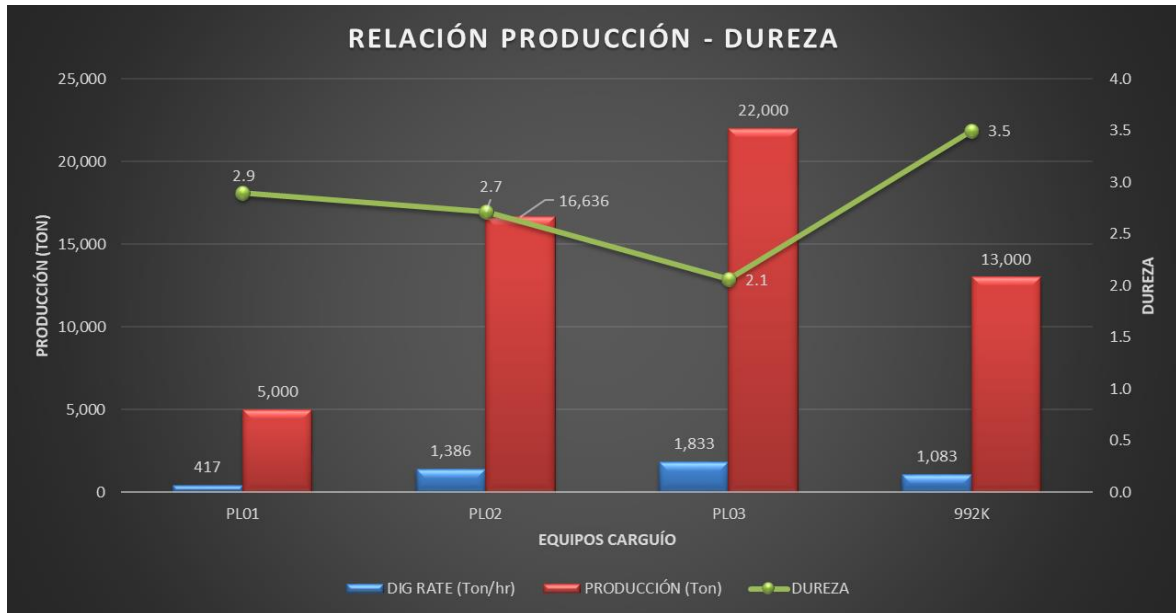
Estas relaciones litológicas y su correspondiente alteración hidrotermal o metasomática inciden directamente con la producción asociada a los equipos de carguío, siendo la dureza y el *dig rate* variables a analizar.

**Tabla 10. Producción diaria, relacionada al ritmo de producción, ley de Cu y el dig rate**

TURNO A				Cu	AsCon	Fe	Zn	Dureza	Rec	Litología				Alteración					
Equipo de Carguio	Polígonos	ton/hora	Ton	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Diorita	Granod	skarn	Hornfels	Potasica	Filica	Act-trem	Serp-mag	Serp-Talc	Hornfels
PL01	4665-01098	417	5,000	0.80	0.32	8.1	0.03	2.9	72.7			100%					100%		
PL02	4665-01118	1,386	16,636	0.86	0.10	8.7	0.04	2.7	76.1		60%	40%		60%			30%	10%	
PL03	4665-01150	1,833	22,000	0.88	0.09	8.5	0.04	2.1	72.4		10%	90%		10%			70%	20%	
992K	Stock Dinámico	1,083	13,000	0.50	0.8	8.0	0.14	3.5	77.45		100%			100%					
	<b>Ton Total</b>	<b>1,500</b>	<b>56,636</b>	<b>0.780</b>	<b>0.26</b>	<b>8.40</b>	<b>0.062</b>	<b>2.66</b>	<b>74.65</b>	<b>0%</b>	<b>44%</b>	<b>56%</b>	<b>0%</b>	<b>44%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>45%</b>	<b>11%</b>	<b>0%</b>



**Figura 16. Relación producción versus el dig rate**



**Figura 17. Relación producción versus dureza**

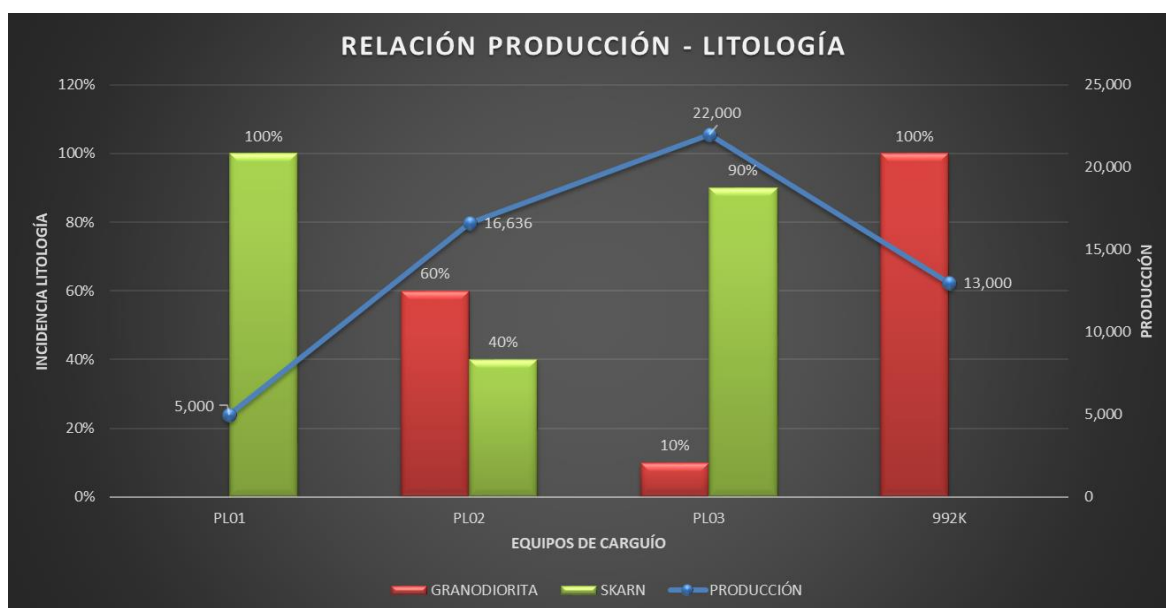
La producción generada por los equipos de carguío considera un tonelaje aproximado de 60 ktpt, siendo el tonelaje por turno para la pala PL01 de 5,000 tpd., para la pala PL02 de 16,636 tpt, para la pala PL03 de 22,000 tpt y el cargador CD01 de la zona de stock de 13,000 tpt.

El mayor tonelaje está asociado a la pala PL03 con una producción de 22,000 toneladas con un *dig rate* (tasa de excavación) de 1,833 t/h, con una dureza de 2.1, este mejor rendimiento del equipo de carguío tiene una relación directa entre la menor dureza y el tonelaje producido.

El menor tonelaje está asociado a la pala PL01 con una producción de 5,000 toneladas con un *dig rate* (tasa de excavación) de 417 t/h y con una dureza de 2.9, este bajo rendimiento del equipo de carguío tiene una relación directa entre la mayor dureza y el tonelaje producido.

En ambos escenarios la tasa de excavación de los equipos de carguío, está directamente relacionada entre el tonelaje cargado y la dureza del material, el cual está directamente asociada al grado de fragmentación en diferentes tipos de litología.

✓ Relación producción – litología



**Figura 18. Relación producción versus litología**

**Tabla 11. Relación producción versus litología**

EQUIPO CARGUÍO PALAS	PRODUCCIÓN - LITOLOGÍA		TOTAL
	skarn	granod	
PL01	5,000.00	0	5,000
PL02	6,654.40	9,981.60	16,636
PL03	19,800.00	2,200.00	22,000
992K (Stock)	13,000.00	0	13,000

La relación producción versus litología, considera la granodiorita y las rocas metamórficas asociadas al *skarn*, siendo el total de producido en la zona de *skarn* con 44,454.40 toneladas con una incidencia del 78.49 % y el total producido en la granodiorita fue de 12,181.60 toneladas con una incidencia del 21.51 %.

El mayor tonelaje asociado a la tasa de extracción de los equipos de carguío, inciden en la pala PL03 con 22,000 toneladas y una tasa de extracción (*dig rate*) de 1,833 t/h y en segundo orden de incidencia está asociada a la pala PL02 con 16,636 toneladas y una tasa de extracción de 1,386 t/h.



✓ Relación producción – alteración

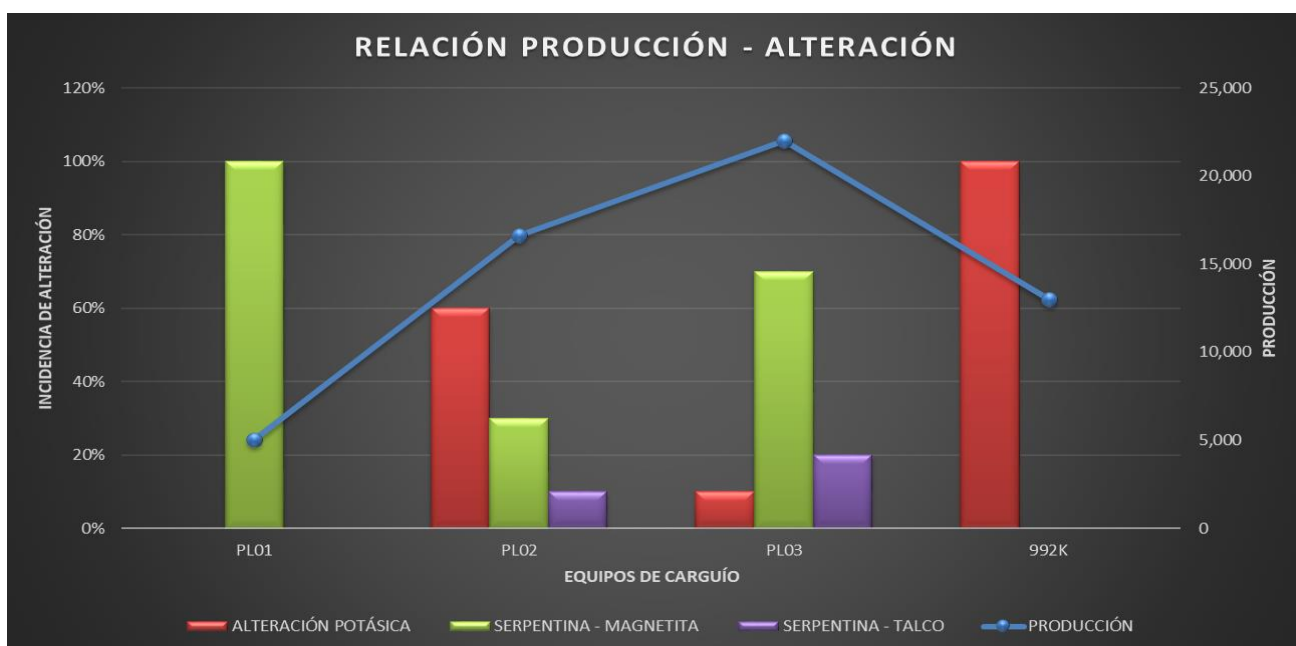


Figura 19. Relación producción versus alteración

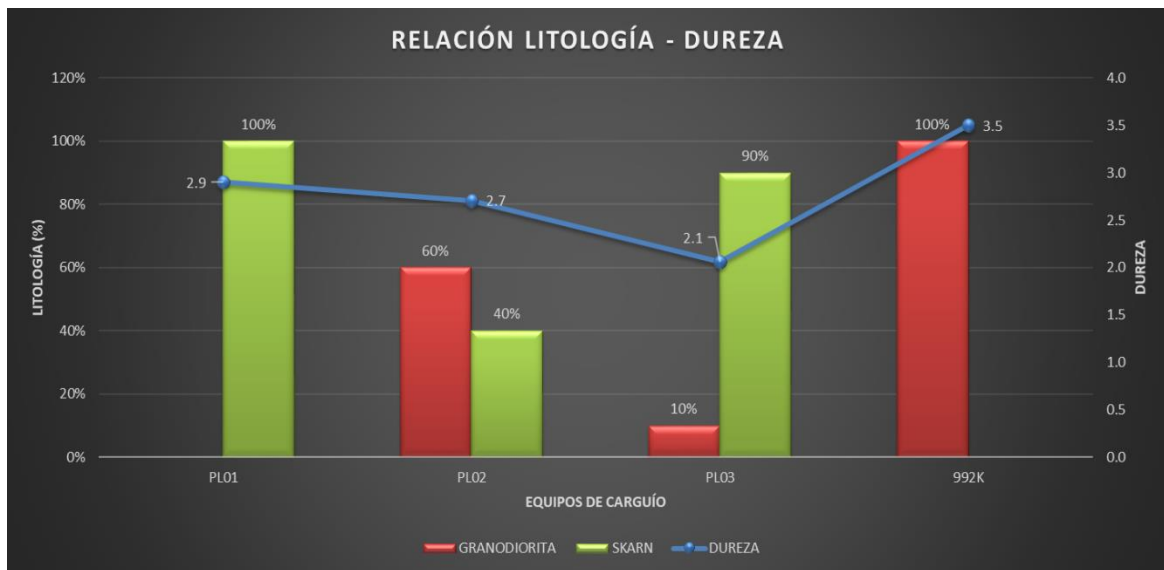
Tabla 12. Relación producción versus alteración

EQUIPO CARGUÍO PALAS	PRODUCCIÓN - ALTERACIÓN			TOTAL
	Alt. Potásica	Serp - Magnet	Serp - Talco	
PL01	0.00	5,000.00	0.00	5,000
PL02	9,981.60	4,990.80	1,663.60	16,636
PL03	2,200.00	15,400.00	4,400.00	22,000
992K (Stock)	13,000.00	0.00	0.00	13,000

La relación producción versus alteración, considera las alteraciones potásicas, serpentina – magnetita y serpentina - talco, siendo el total de producido en la alteración potásica con 25,181.60 toneladas con una incidencia del 44.46 %, el total producido en la alteración serpentina – magnetita con 25,390.80 toneladas con una incidencia del 44.83% y el total producido en la alteración Serpentina – Talco con 6,063.60 toneladas con una incidencia del 10.71 %.

Las mayores producciones están asociados a las alteraciones potásica y serpentina – magnetita, considerados sectores pórfido y *skarn* Cu.

✓ Relación litología - dureza



**Figura 20. Relación litología versus dureza**

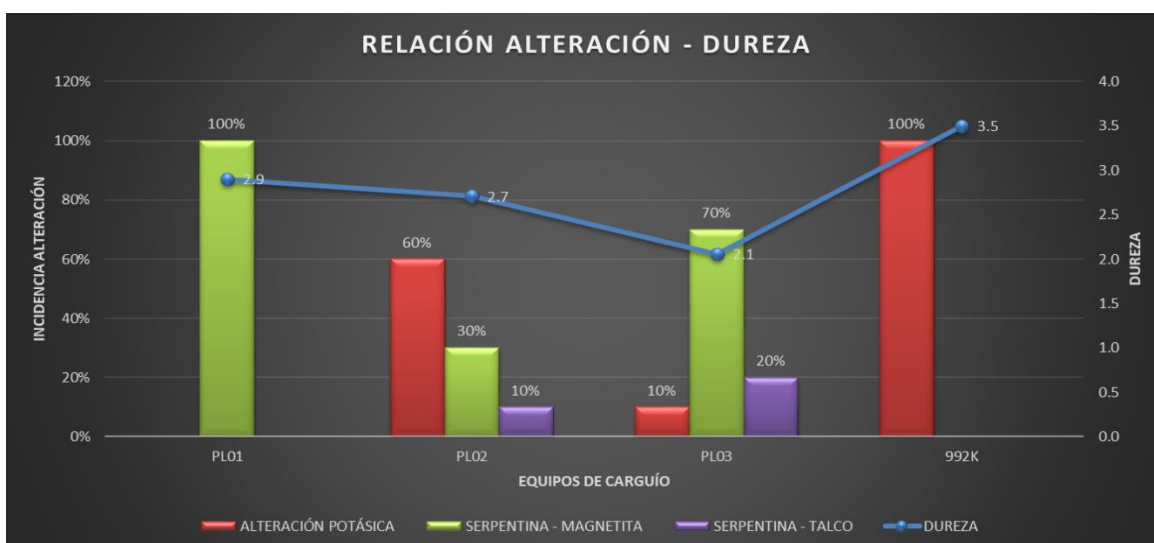
**Tabla 13. Relación producción versus alteración.**

EQUIPO CARGUÍO	LITOLOGIA		DUREZA
	skarn	granodiorita	
PALAS			
PL01	100%	0	2.9
PL02	40%	60%	2.7
PL03	90%	10%	2.1
992K (Stock)	0	100%	3.5

La litología que genera una incidencia del 56 % está relacionada a rocas metamórficas tipo *skarn* y la incidencia del 46 % representa a la granodiorita, en ambos casos considera una dureza media de 2.66.

La dureza está en el rango mínimo de 2.1 asociado a rocas tipo *skarn* y la dureza en rangos máximos de 3.5 asociado a rocas intrusivas tipo granodiorita.

✓ **Relación alteración - dureza**



**Figura 21. Relación alteración versus dureza**

**Tabla 14. Relación producción versus alteración**

EQUIPO CARGUÍO PALAS	ALTERACIÓN			DUREZA
	Potásica	Serp - Magnet	Serp - talco	
PL01	0%	100%	0.00%	2.9
PL02	60%	30%	10.00%	2.7
PL03	10%	70%	20.00%	2.1
992K (Stock)	100%	0%	0.00%	3.5

Las alteraciones presentes inciden en alteraciones potásicas en 44 % promedio, alteración serpentina – magnetita con 45 % de incidencia y la alteración serpentina – talco tiene una incidencia del 11 % asociados a una dureza media de 2.66.

La dureza está en el rango mínimo de 2.1 asociado a alteraciones tipo serpentina – magnetita y en menor incidencia la alteración serpentina – talco, asociados a los sectores tipo *skarn* y las alteraciones tipo potásica asociada a sistemas intrusivos tipo diseminado.

#### 4.1.2. Análisis de la malla de perforación

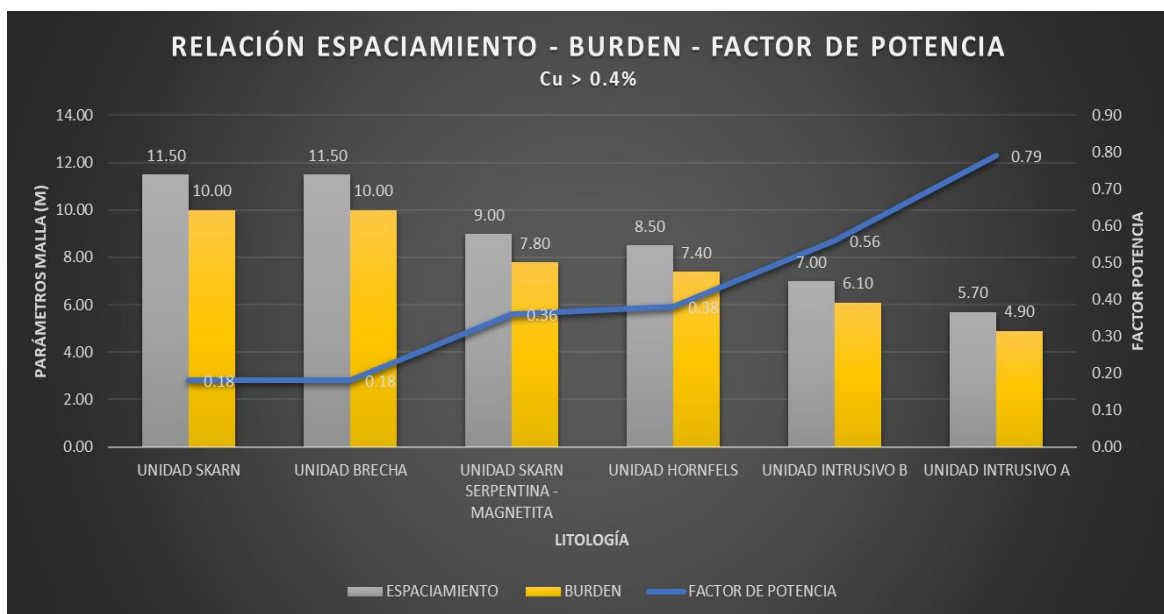
Las consideraciones de perforación están directamente relacionados a las diferentes mallas de perforación asociadas a su litología, alteración y dureza presentes en los diferentes sectores de operación de acuerdo a las leyes presentes.

✓ Ley de Cu > 0.4%

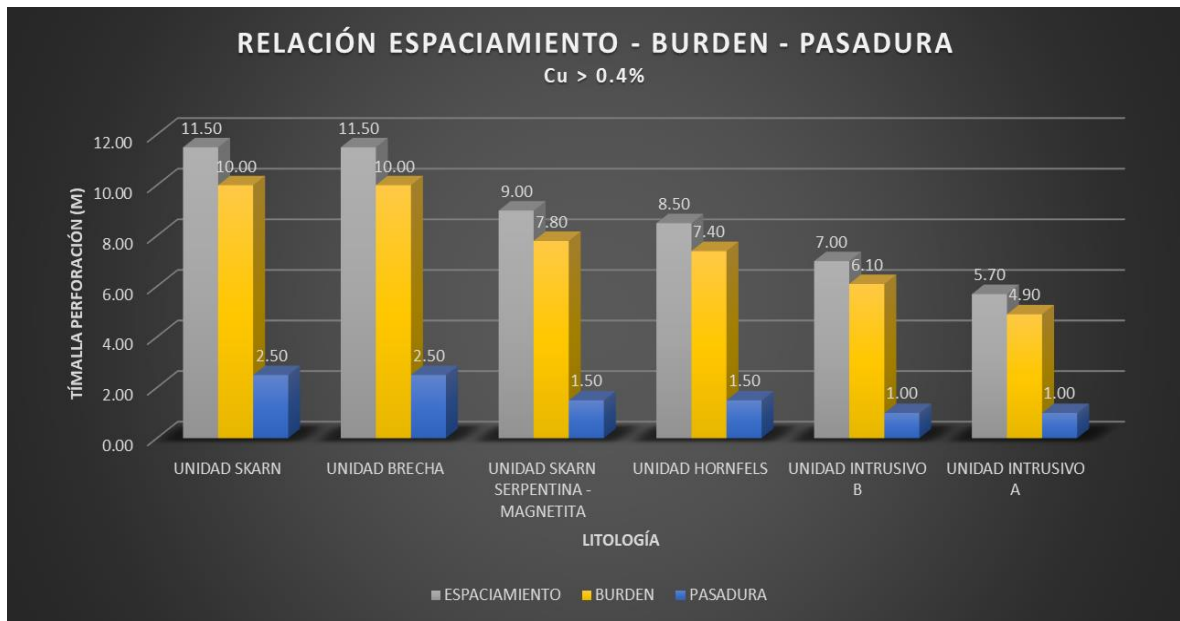
**Tabla 15. Litología asociada a la malla de perforación**

Mineral Cu > 0.4%

Alteración	Malla	Espaciamiento	Burden	Sub. Drill	Factor Potencia
UNIDAD SKARN	11.5 x 10	11.50	10.00	2.50	0.18
UNIDAD BRECHA	11.5 x 10	11.50	10.00	2.50	0.18
UNIDAD SKARN SERPENTINA - MAGNETITA	9 x 7.8	9.00	7.80	1.50	0.36
UNIDAD HORNFELS	8.5 x 7.4	8.50	7.40	1.50	0.38
UNIDAD INTRUSIVO B	7 x 6.1	7.00	6.10	1.00	0.56
UNIDAD INTRUSIVO A	5.7 x 4.9	5.70	4.90	1.00	0.79



**Figura 22. Relación espaciamento, burden y factor de potencia asociado a Ley Cu > 0.4 %**



**Figura 23. Relación espaciamiento, burden y pasadura (sobre perforación), asociado a Ley Cu > 0.4 %**

La malla de perforación asociadas a las diferentes litologías y alteraciones presentes en los diferentes frentes de producción se relacionaron a leyes de Cu > 0.4 %, siendo las litologías asociadas al *skarn*, brecha, *skarn* serpentina – magnetita, *hornfels* e intrusivo.

La malla de perforación de mayores dimensiones está asociado a la zona de *skarn* con un espaciamiento y *burden* de 11.5 x 10 metros, una pasadura (sobre perforación) de 2.5 metros y un consumo de explosivo menores en los distintos frentes de operación con un factor de potencia de 0.18 kg/t.

La malla de perforación de menores dimensiones está asociado a la zona de Intrusivo con un espaciamiento y *burden* de 5.70 x 4.90 metros, una pasadura (sobre perforación) de 1.0 metros y un consumo de explosivo mayores en los distintos frentes de operación con un factor de potencia de 0.79 kg/t.

✓ Ley de 0.3% < Cu < 0.4%

Tabla 16. Litología asociada a la malla de perforación.

Mineral 0.3% < Cu < 0.4%

Alteración	Malla	Espaciamiento	Burden	Sub. Drill	Factor Potencia
UNIDAD SKARN	11.5 x 10	11.50	10.00	2.50	0.18
UNIDAD BRECHA	11.5 x 10	11.50	10.00	2.50	0.18
UNIDAD SKARN SERPENTINA - MAGNETITA	9.5 x 8.2	9.50	8.20	2.00	0.34
UNIDAD HORNFELS	8.5 x 7.4	8.50	7.40	1.50	0.38
UNIDAD INTRUSIVO B	7.5 x 6.5	7.50	6.50	0.50	0.46
UNIDAD INTRUSIVO A	6 x 5.2	6.00	5.20	0.50	0.65

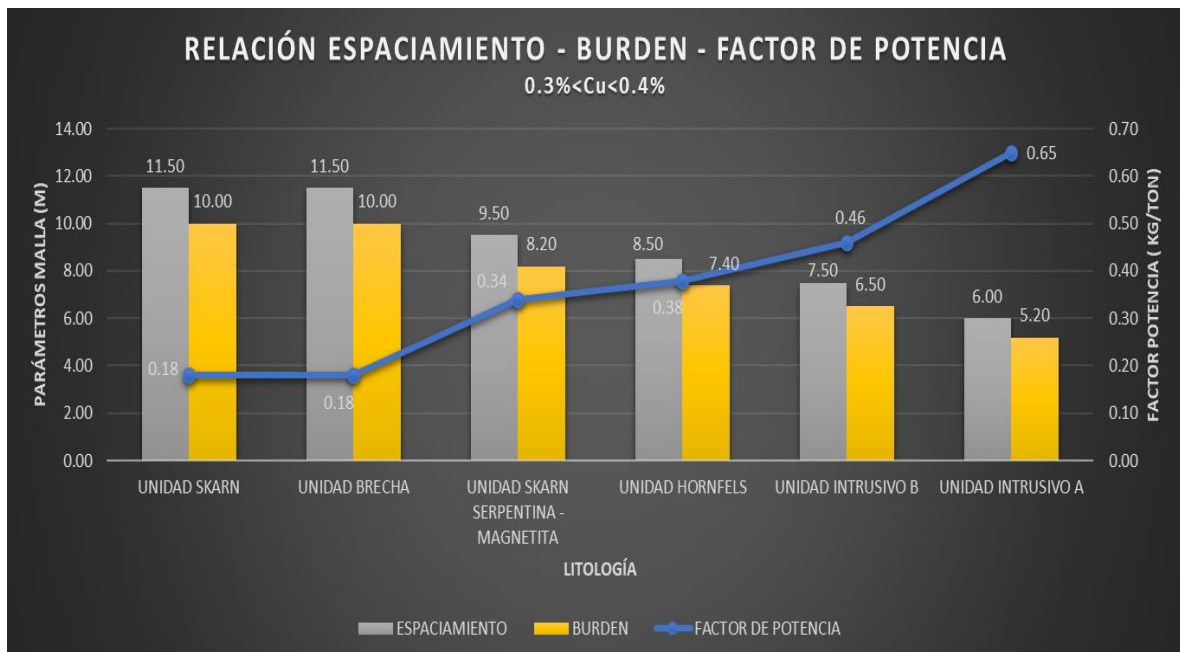
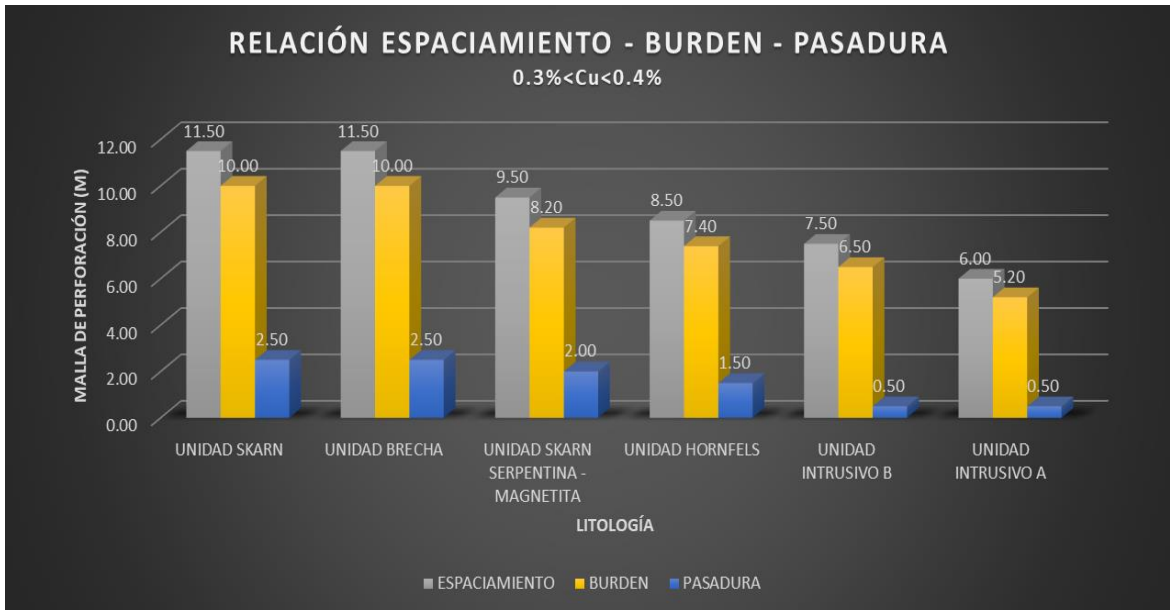


Figura 24. Relación espaciamento, burden y factor de potencia, asociado a Ley 0.4% < Cu < 0.3 %



**Figura 25. Relación espaciamiento, burden y pasadura, asociado a Ley 0.4% < Cu < 0.3 %**

La malla de perforación está asociada a las diferentes litologías y alteraciones presentes en los diferentes frentes de producción se relacionaron a leyes de 0.3 % < Cu < 0.4%, siendo las litologías asociadas al *skarn*, brecha, *skarn* serpentina – magnetita, *hornfels* e intrusivo.

La malla de perforación de mayores dimensiones está asociado a la zona de *skarn* con un espaciamiento y *burden* de 11.5 x 10 metros, una pasadura (sobre perforación) de 2.5 metros y un consumo de explosivo menores en los distintos frentes de operación con un factor de potencia de 0.18 kg/t.

La malla de perforación de menores dimensiones está asociado a la zona de Intrusivo con un espaciamiento y *burden* de 6.0 x 5.20 metros, una pasadura (sobre perforación) de 0.5 metros y un consumo de explosivo mayores en los distintos frentes de operación con un factor de potencia de 0.65 kg/t.

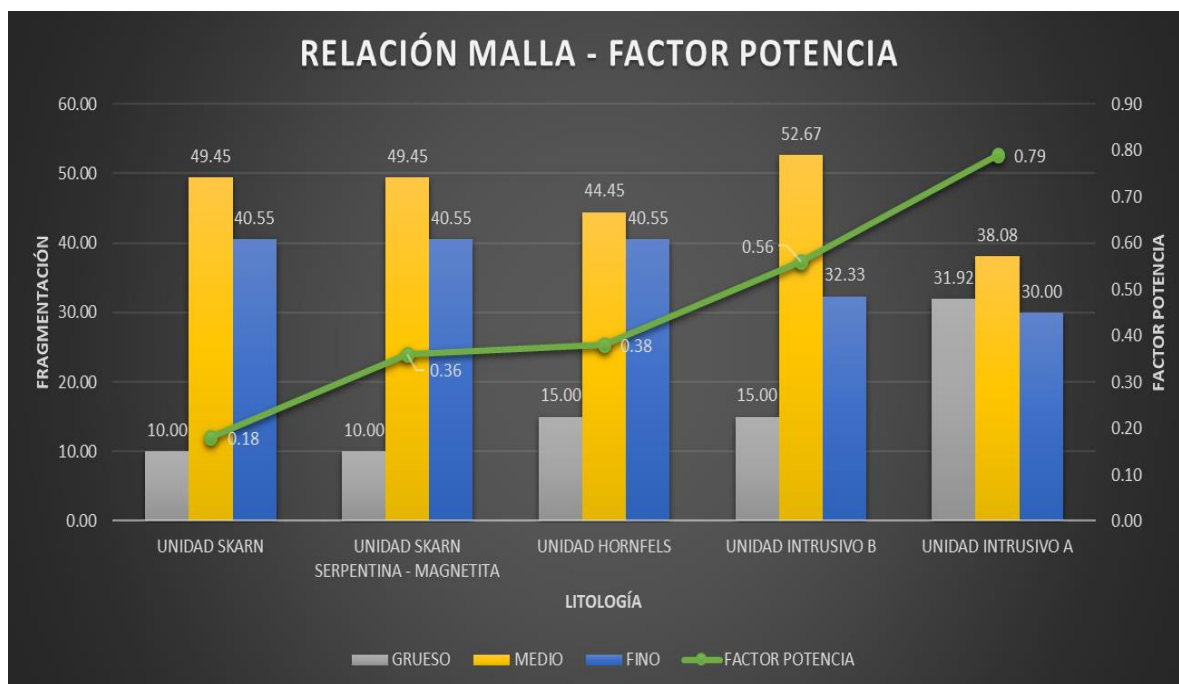
#### 4.1.3. Análisis de la voladura

Las diferentes mallas de voladura están asociadas directamente al grado de fragmentación considerando porcentaje material grueso, medio y fino.

**Tabla 17. Litología asociada a la malla (% fragmentación)**

Mineral Cu > 0.4%

Alteración	Malla	Grueso	Medio	Fino	Factor Potencia
UNIDAD SKARN	11.5 x 10	10.00	49.45	40.55	0.18
UNIDAD SKARN SERPENTINA - MAGNETITA	9 x 7.8	10.00	49.45	40.55	0.36
UNIDAD HORNFELS	8.5 x 7.4	15.00	44.45	40.55	0.38
UNIDAD INTRUSIVO B	7 x 6.1	15.00	52.67	32.33	0.56
UNIDAD INTRUSIVO A	5.7 x 4.9	31.92	38.08	30.00	0.79



**Figura 26. Relación malla (grueso, medio, fino) y factor de potencia asociado a Ley Cu > 0.4 %**

Las granulometrías asociadas a las diferentes litologías han considerado el porcentaje de fragmentación considerando material grueso, material medio y material fino.

- ✓ Unidad *Skarn*: considera el material grueso en 10 %, material medio en 49.45 % y el material fino en 40.55 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 10 toneladas es de material grueso, 49.45 toneladas de material medio y 40.55 toneladas de material fino.
- ✓ Unidad *Skarn* serpentina - magnetita: considera el material grueso en 10 %, material medio en 49.45 % y el material fino en 40.55 %. Si consideramos un



tonelaje producido de 100 toneladas, 10 toneladas es de material grueso, 49.45 toneladas de material medio y 40.55 toneladas de material fino.

- ✓ Unidad Hornfels: considera el material grueso en 15 %, material medio en 44.45 % y el material fino en 40.55 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 15 toneladas es de material grueso, 44.45 toneladas de material medio y 40.55 toneladas de material fino.
  
- ✓ Unidad Intrusivo B: considera el material grueso en 15 %, material medio en 52.67 % y el material fino en 32.33 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 15 toneladas es de material grueso, 52.67 toneladas de material medio y 32.33 toneladas de material fino.
  
- ✓ Unidad Intrusivo A: considera el material grueso en 31.92 %, material medio en 38.08 % y el material fino en 30.00 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 31.92 toneladas es de material grueso, 38.08 toneladas de material medio y 30.00 toneladas de material fino.

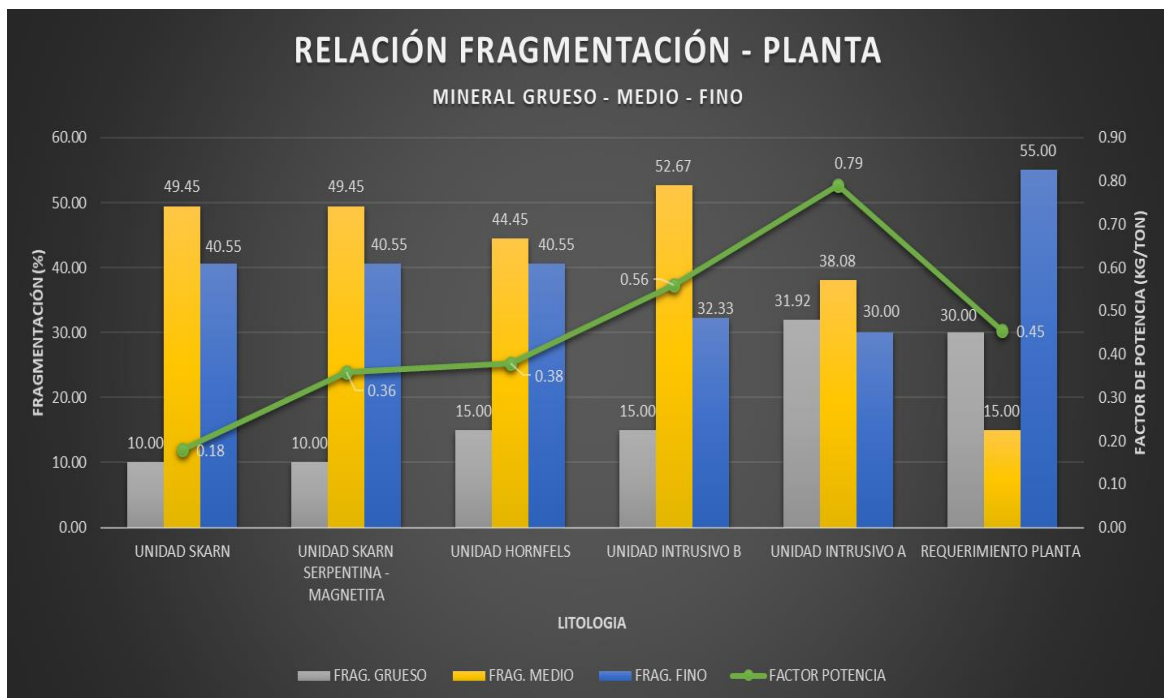
Como se observa, el material grueso está relacionado al intrusivo A con 31.92 %, el material medio está relacionado al intrusivo B y el material fino está relacionado al *skarn*. Estos resultados, están relacionados directamente al factor de potencia y dureza de estos materiales.

#### **4.1.4. Análisis del grado de fragmentación**

De acuerdo al programa de producción considerando el grado de fragmentación programada en función al porcentaje de material de fragmentos grueso, fragmento medio y fragmento fino, y necesidad de planta se considera los siguientes parámetros:

**Tabla 18. Relación de tipo de fragmento asociado al tamaño requerido en planta**

Tipo de Fragmento	Tamaño Requerido (Pulgadas)	% Requerido
Fragmentos Gruesos	>4"	30%
Fragmentos Medio/Regular	>1"-4"	15%
Fragmentos Finos	<1"	55%



**Figura 27. Relación malla (grueso, medio, fino) y factor de potencia asociado a Ley Cu > 0.4 %**

De acuerdo a las unidades litológicas analizadas, se observa una distorsión de los fragmentos grueso, medio y fino entre lo ejecutado y el requerido en planta, generando los siguientes resultados.

✓ Fragmentación unidad *Skarn*:

En la unidad *Skarn* el material grueso es del 10 %, siendo el requerimiento de planta del 30 %, generando un déficit del 20 %. El material intermedio representa el 49.45 % siendo el requerimiento de planta del 15 % generando una sobre producción en este grado de fragmentación en 34.45 %. Por último, el material fino

es del 40.55% siendo el requerimiento en planta del 55 % generando un déficit en el grado de fragmentación de material fino en 14.45 %. Este grado de fragmentación está asociado a un factor de potencia de 0.18 kg/t.

✓ Fragmentación unidad *Skarn* serpentina – magnetita:

En la unidad *Skarn* serpentina – magnetita, el material grueso es del 10 %, siendo el requerimiento de planta del 30 %, generando un déficit del 20 %. El material intermedio representa el 49.45 % siendo el requerimiento de planta del 15 % generando una sobre producción en este grado de fragmentación en 34.45 %. Por último, el material fino es del 40.55 % siendo el requerimiento en planta del 55 % generando un déficit en el grado de fragmentación de material fino en 14.45%. Este grado de fragmentación está asociado a un factor de potencia de 0.36 kg/t.

✓ Fragmentación unidad *Hornfels*:

En la unidad *Hornfels*, el material grueso es del 15%, siendo el requerimiento de planta del 30%, generando un déficit del 15 %. El material intermedio representa el 44.45% siendo el requerimiento de planta del 15 % generando una sobre producción en este grado de fragmentación en 29.45 %. Por último, el material fino es del 40.55% siendo el requerimiento en planta del 55 % generando un déficit en el grado de fragmentación de material fino en 14.45%. Este grado de fragmentación está asociado a un factor de potencia de 0.38 kg/t.

✓ Fragmentación unidad Intrusivo B:

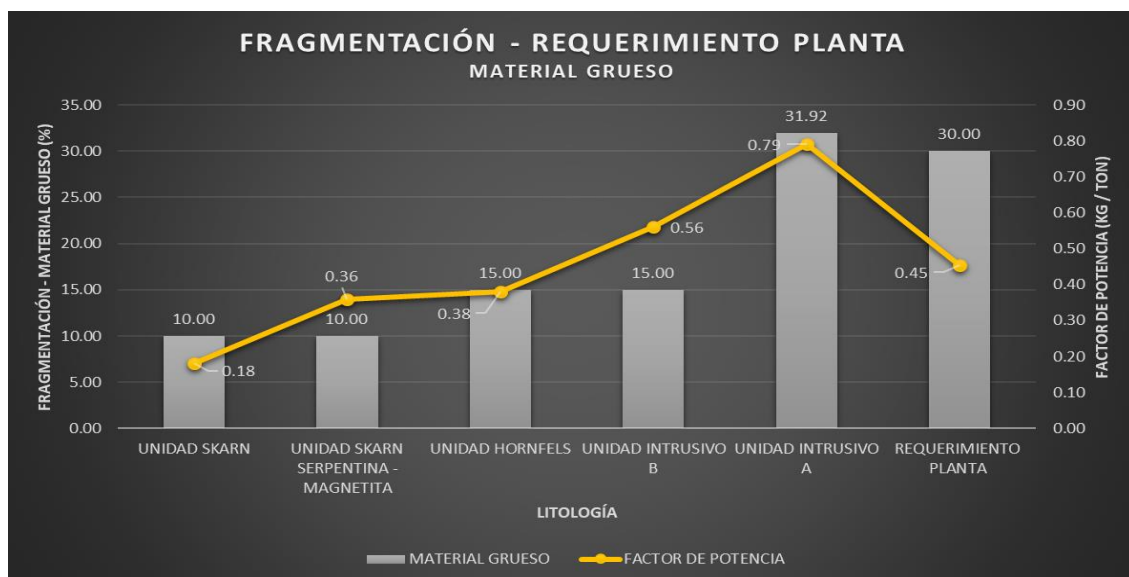
En la unidad Intrusivo B, el material grueso es del 15 %, siendo el requerimiento de planta del 30 %, generando un déficit del 15 %. El material intermedio representa el 52.67 % siendo el requerimiento de planta del 15 % generando una sobre producción en este grado de fragmentación en 37.67 %. Por último, el material fino es del 32.33 % siendo el requerimiento en planta del 55 % generando un déficit en el grado de fragmentación de material fino en 22.67 %. Este grado de fragmentación está asociado a un factor de potencia de 0.56 kg/t.

✓ Fragmentación unidad Intrusivo A:

En la unidad Intrusivo A, el material grueso es del 31.92 %, siendo el requerimiento de planta del 30 %, generando un excedente del 1.92 %. El material intermedio representa del 38.08 % siendo el requerimiento de planta del 15 % generando una sobre producción en este grado de fragmentación en 23.08 %. Por último, el material fino es del 30.00 % siendo el requerimiento en planta del 55 % generando un déficit en el grado de fragmentación de material fino en 15.00 %. Este grado de fragmentación está asociado a un factor de potencia de 0.79 kg/t.

La relación del grado de fragmentación entre las distintas unidades litológicas y sus alteraciones asociadas considera el material grueso, intermedio y fino programado versus el requerido por planta consideran lo siguiente:

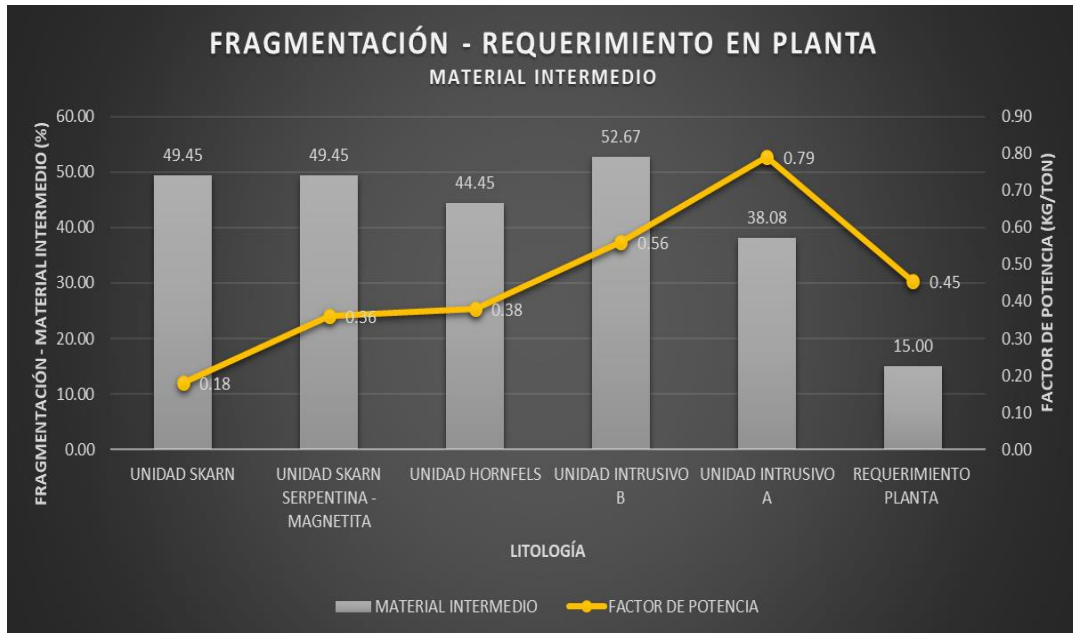
Material grueso:



**Figura 28. Relación material grueso programado y material requerido en planta**

Se considera un promedio de material grueso en las litologías asociadas a las zonas *skarn*, serpentina – magnetita, *hornfels*, intrusivo B e intrusivo A en 16.38 %, considerando un requerimiento de planta del 30% genera un déficit del 13.62 %, considerando un factor de potencia promedio de 0.45 kg/t.

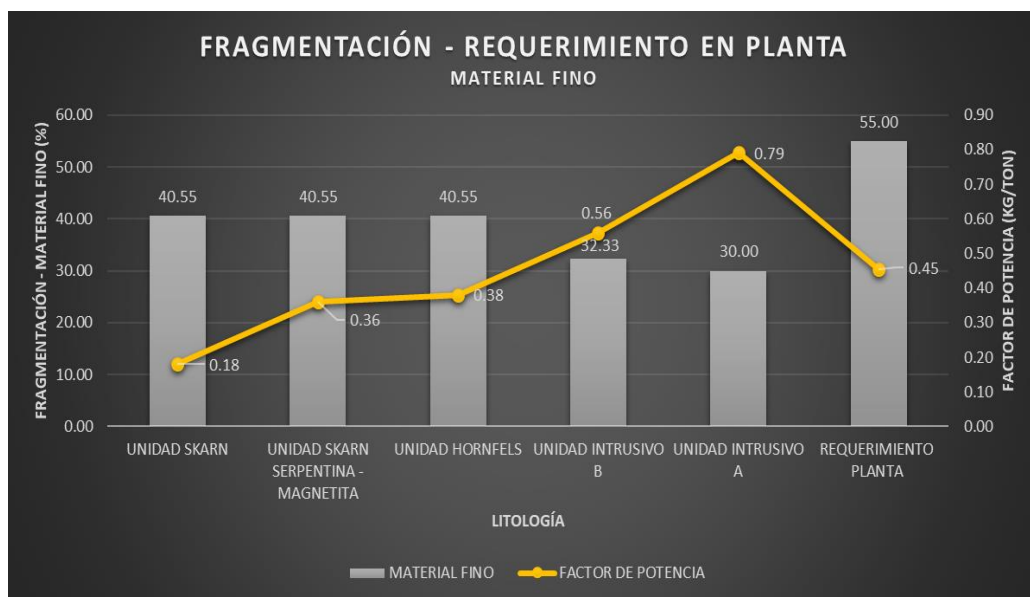
Material medio:



**Figura 29. Relación material intermedio programado y material requerido en planta**

Se considera un promedio de material intermedio en las litologías asociadas a las zonas skarn, serpentina – magnetita, hornfels, intrusivo B e intrusivo A en un 46.82%, considerando un requerimiento de planta del 30% genera un excedente de material en 16.82%, considerando un factor de potencia promedio de 0.45 kg/t.

Material fino:



**Figura 30. Relación material fino programado y material requerido en planta**

Se considera un promedio de material fino en las litologías asociadas a las zonas *skarn*, *serpentina* – *magnetita*, *hornfels*, intrusivo B e intrusivo A en un 36.80 %, considerando un requerimiento de planta del 55 % genera un déficit de material en 18.20%, considerando un factor de potencia promedio de 0.45 kg/t.

El análisis de los materiales grueso, intermedio y fino de acuerdo a requerimiento de planta determina un déficit en material grueso y fino, mientras que en el material intermedio hay un excedente en 31.82 %. Lo que es importante el análisis del factor de potencia en base a su malla de perforación (espaciamiento y *burden*), *dig rate* (tasa de excavación), peso específico, etc., para controlar el grado de fragmentación y mejorar el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo.

#### 4.1.5. Análisis de la fragmentación de mineral y su influencia en el rendimiento de los equipos de carguío

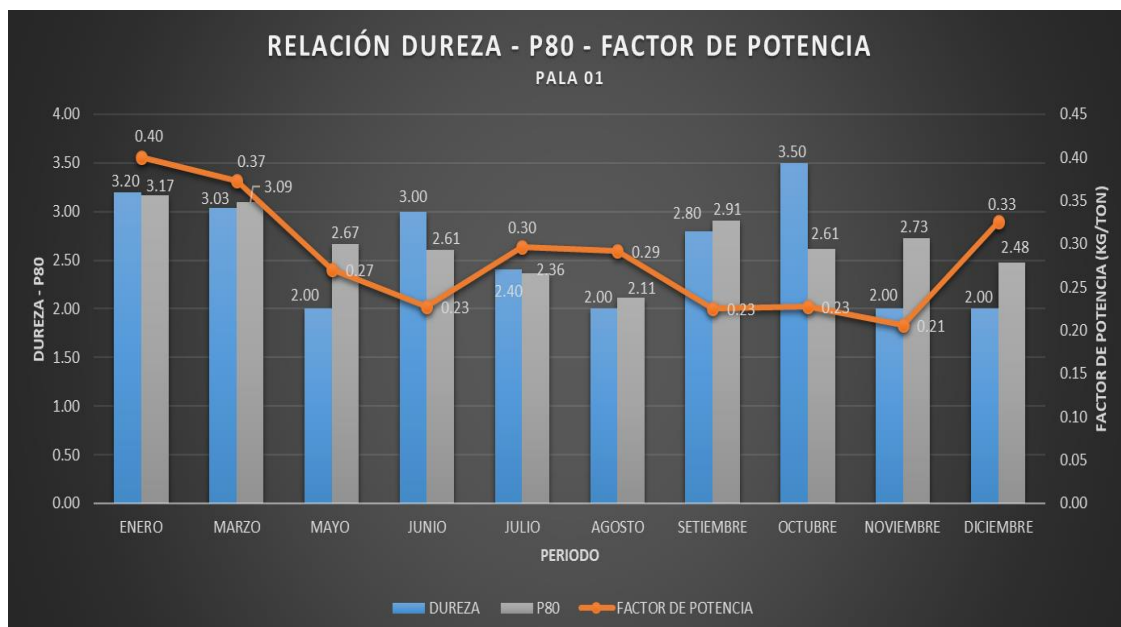
El análisis de la fragmentación de mineral P80, producto de la voladura y su influencia en el rendimiento de equipos de carguío, está relacionado a la dureza, factor de potencia y la tasa de excavación de los equipos de carguío, siendo los resultados expuestos a continuación.

✓ Pala 01

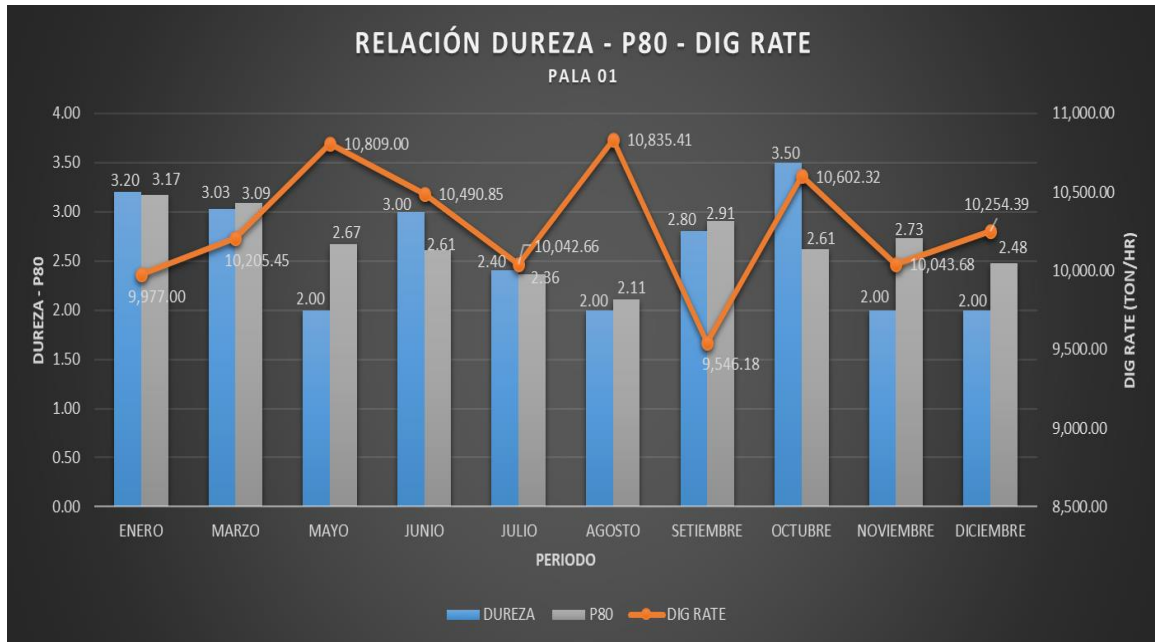
**Tabla 19. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 01**

<b>PALA 01</b>				
<b>MES</b>	<b>DUREZA</b>	<b>DIG RATE (Ton/hr)</b>	<b>FACT.POT(Kg/tn)</b>	<b>P 80 (Plg)</b>
ENERO	3.20	9,977.00	0.40	3.17
MARZO	3.03	10,205.45	0.37	3.09
MAYO	2.00	10,809.00	0.27	2.67
JUNIO	3.00	10,490.85	0.23	2.61
JULIO	2.40	10,042.66	0.30	2.36
AGOSTO	2.00	10,835.41	0.29	2.11
SETIEMBRE	2.80	9,546.18	0.23	2.91
OCTUBRE	3.50	10,602.32	0.23	2.61
NOVIEMBRE	2.00	10,043.68	0.21	2.73
DICIEMBRE	2.00	10,254.39	0.33	2.48
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.34</b>	<b>10,299.87</b>	<b>0.27</b>	<b>2.51</b>

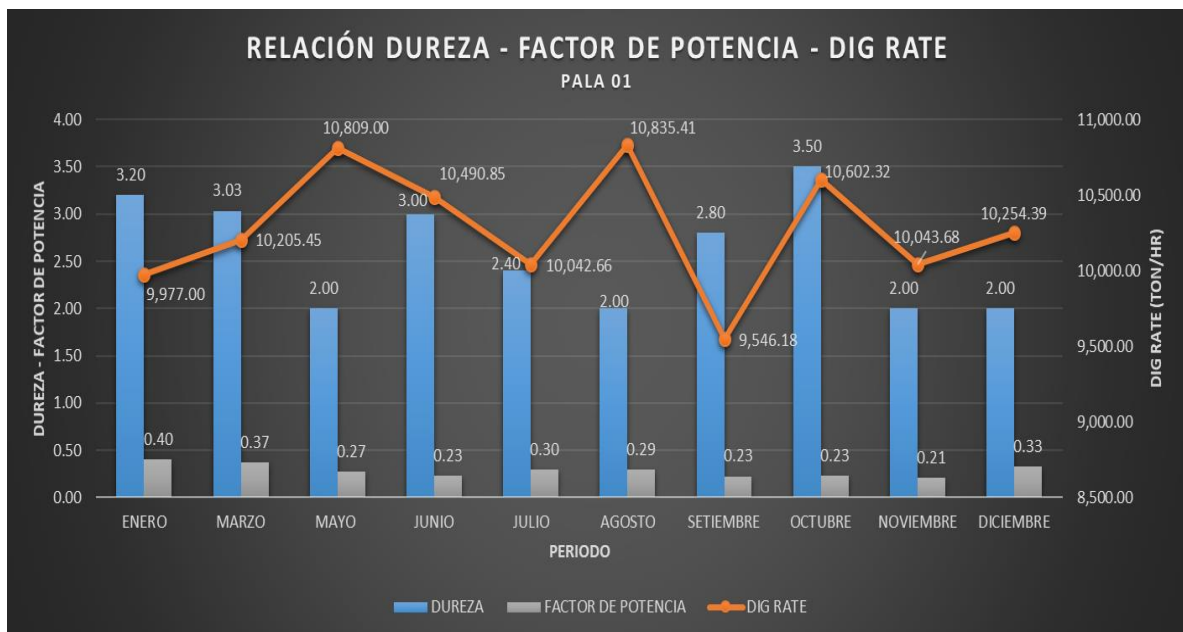
PROMEDIO - PALA 01				
PERIODO	DUREZA	DIG RATE	FACT. POT	P80
EN-JUN	2.81	10,370.57	0.32	2.89
JUL - DIC	2.45	10,220.77	0.26	2.53
PROMEDIO	2.63	10,295.67	0.29	2.71



**Figura 31. Relación dureza, P80 y Factor de potencia en equipo de carguío Pala 01**



**Figura 32. Relación dureza, P80 y dig rate en equipo de carguío Pala 01**



**Figura 33. Relación dureza, factor de potencia y dig rate en equipo de carguío Pala 01**

Los indicadores asociados al grado de fragmentación y su influencia en el equipo de carguío Pala 01 considera el análisis entre dos periodos de enero a junio y de julio a diciembre, siendo los resultados lo siguiente:

- ✓ Periodo enero a junio con un promedio de dureza de 2.81, factor de potencia de 0.32 kg/t, con un P80 de 2.89 pulgadas y un dig rate de 10,370.57 t/h.



- ✓ Periodo julio a diciembre con un promedio de dureza de 2.45, factor de potencia de 0.26 kg/t, con un P80 de 2.53 pulgadas y un dig rate de 10,220.77 t/h.

De acuerdo a los resultados mostrados en ambos periodos de análisis durante el periodo enero a junio la Pala 01 tiene un mejor *dig rate* (tasa de excavación) con un mayor *dig rate* de 149.8 t/h, mejorando el rendimiento de la Pala 01 en este periodo.

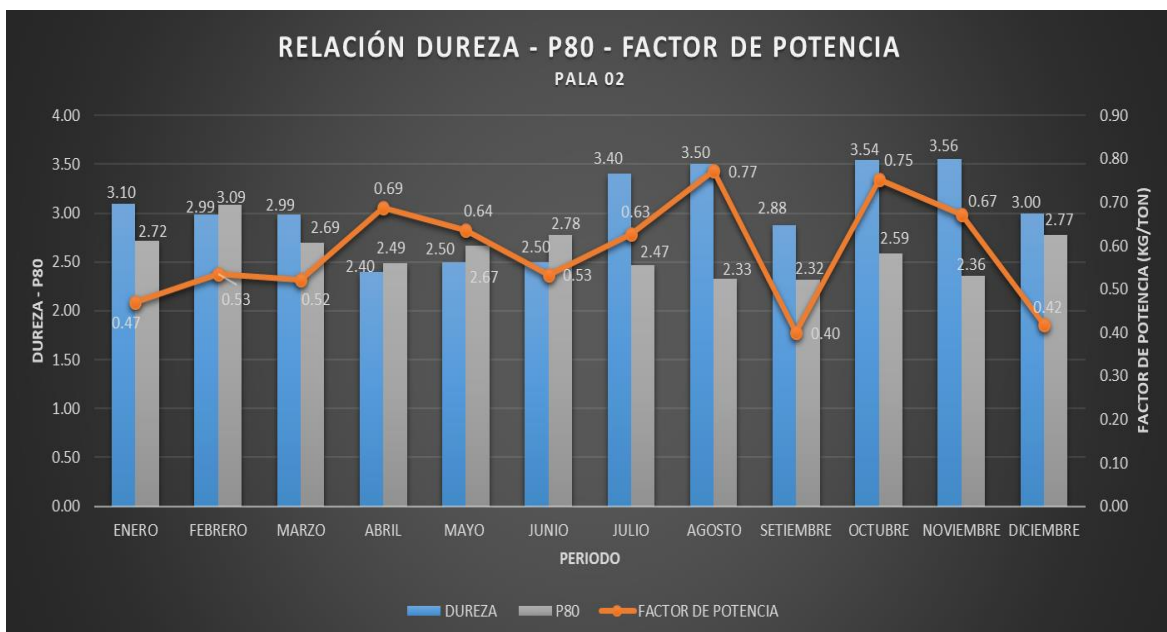
El promedio anual en la Pala 01 considera un promedio de dureza de 2.63, factor de potencia de 0.29 kg/t, con un P80 de 2.71 pulgadas y un *dig rate* de 10,295.67 t/h.

- ✓ Pala 02

**Tabla 20. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 02**

<b>PALA 02</b>				
<b>MES</b>	<b>DUREZA</b>	<b>DIG RATE (Ton/hr)</b>	<b>FACT.POT(Kg/tn)</b>	<b>P 80 (Plg)</b>
ENERO	3.10	9,851.13	0.47	2.72
FEBRERO	2.99	9,786.63	0.53	3.09
MARZO	2.99	10,891.86	0.52	2.69
ABRIL	2.40	9,942.13	0.69	2.49
MAYO	2.50	11,022.77	0.64	2.67
JUNIO	2.50	9,795.02	0.53	2.78
JULIO	3.40	10,181.72	0.63	2.47
AGOSTO	3.50	10,356.71	0.77	2.33
SETIEMBRE	2.88	10,651.94	0.40	2.32
OCTUBRE	3.54	9,982.67	0.75	2.59
NOVIEMBRE	3.56	10,688.81	0.67	2.36
DICIEMBRE	3.00	9,884.23	0.42	2.77
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.02</b>	<b>10,294.35</b>	<b>0.59</b>	<b>2.60</b>

PROMEDIO - PALA 02				
PERIODO	DUREZA	DIG RATE	FACT. POT	P80
EN-JUN	2.75	10,214.92	0.56	2.74
JUL - DIC	3.31	10,291.01	0.61	2.47
PROMEDIO	3.03	10,252.97	0.59	2.61



**Figura 34. Relación dureza, P80 y factor de potencia en equipo de carga Pala 02**

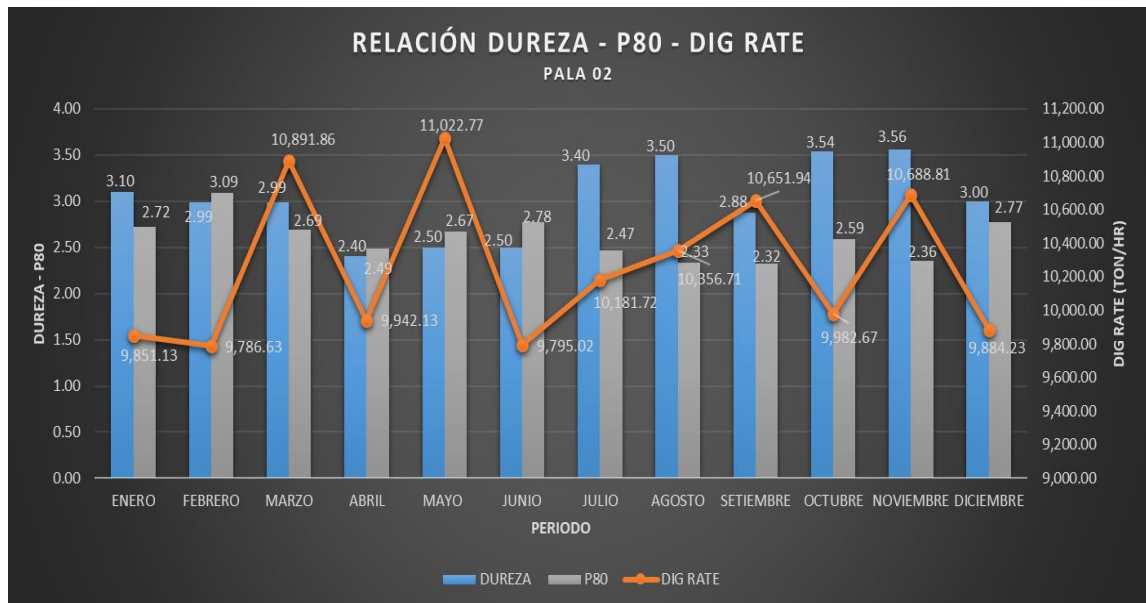


Figura 35. Relación dureza, P80 y dig rate en equipo de carguío Pala 02

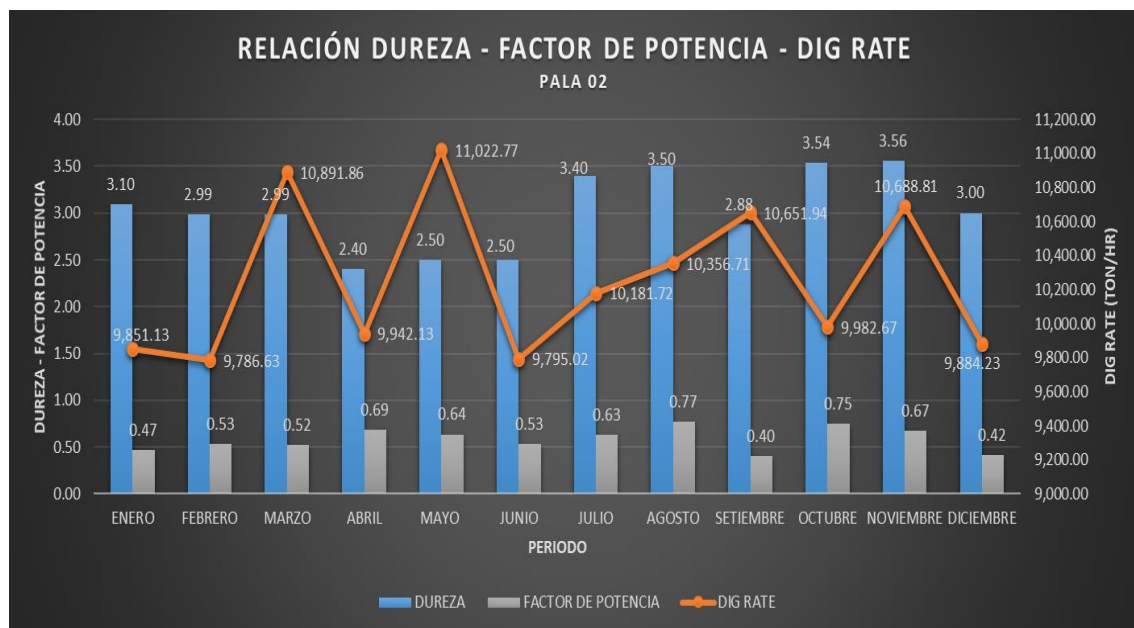


Figura 36. Relación dureza, Factor de Potencia y dig rate en equipo de carguío Pala 02

Los indicadores asociados al grado de fragmentación y su influencia en el equipo de carguío Pala 02 considera el análisis entre dos periodos de enero a junio y de julio a diciembre, siendo los resultados lo siguiente:

- ✓ Periodo enero a junio con un promedio de dureza de 2.75, factor de potencia de 0.56 kg/t, con un P80 de 2.74 pulgadas y un *dig rate* de 10,214.92 t/h.

- ✓ Periodo julio a diciembre con un promedio de dureza de 3.31, factor de potencia de 0.61 kg/t., con un P80 de 2.47 pulgadas y un *dig rate* de 10,291.01 t/h.

De acuerdo a los resultados mostrados en ambos periodos de análisis durante el periodo julio a diciembre la Pala 01 tiene un mejor *dig rate* (tasa de excavación) con un mayor *dig rate* de 76.09 t/h, mejorando el rendimiento de la Pala 02 en este periodo.

El promedio anual en la Pala 02 considera un promedio de dureza de 3.03, factor de potencia de 0.59 kg/t., con un P80 de 2.61 pulgadas y un *dig rate* de 10,252.97 t/h.

- ✓ Pala 03

**Tabla 21. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 03**

<b>PALA 03</b>				
<b>MES</b>	<b>DUREZA</b>	<b>DIG RATE (Ton/hr)</b>	<b>FACT.POT(Kg/tn)</b>	<b>P 80 (Plg)</b>
ENERO	3.50	8,966.77	0.69	3.67
FEBRERO	3.13	10,483.35	0.61	2.28
MARZO	3.20	10,753.09	0.57	2.86
ABRIL	2.40	10,870.07	0.72	2.78
MAYO	3.25	9,546.51	0.70	2.77
JUNIO	3.42	10,451.01	0.59	2.82
JULIO	3.00	10,751.53	0.90	2.52
AGOSTO	2.50	10,793.58	0.65	2.15
SETIEMBRE	2.86	9,910.80	0.51	2.50
OCTUBRE	3.00	10,655.76	0.51	2.78
NOVIEMBRE	3.57	10,475.93	0.48	2.29
DICIEMBRE	3.54	10,682.07	0.61	2.55
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.19</b>	<b>10,442.02</b>	<b>0.63</b>	<b>2.67</b>

PROMEDIO - PALA 03				
PRERIODO	DUREZA	DIG RATE	FACT. POT	P80
EN-JUN	3.15	10,178.47	0.64	2.86
JUL - DIC	3.08	10,544.94	0.61	2.46
PROMEDIO	3.11	10,361.70	0.63	2.66

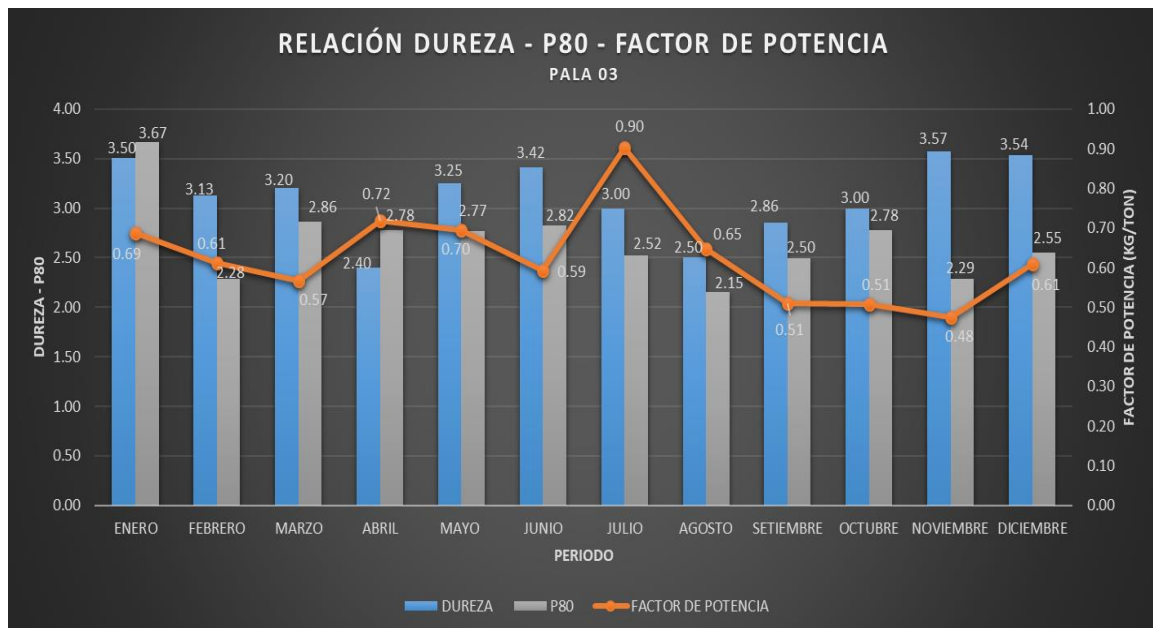


Figura 37. Relación dureza, P80 y Factor de potencia en equipo de carguío Pala 03

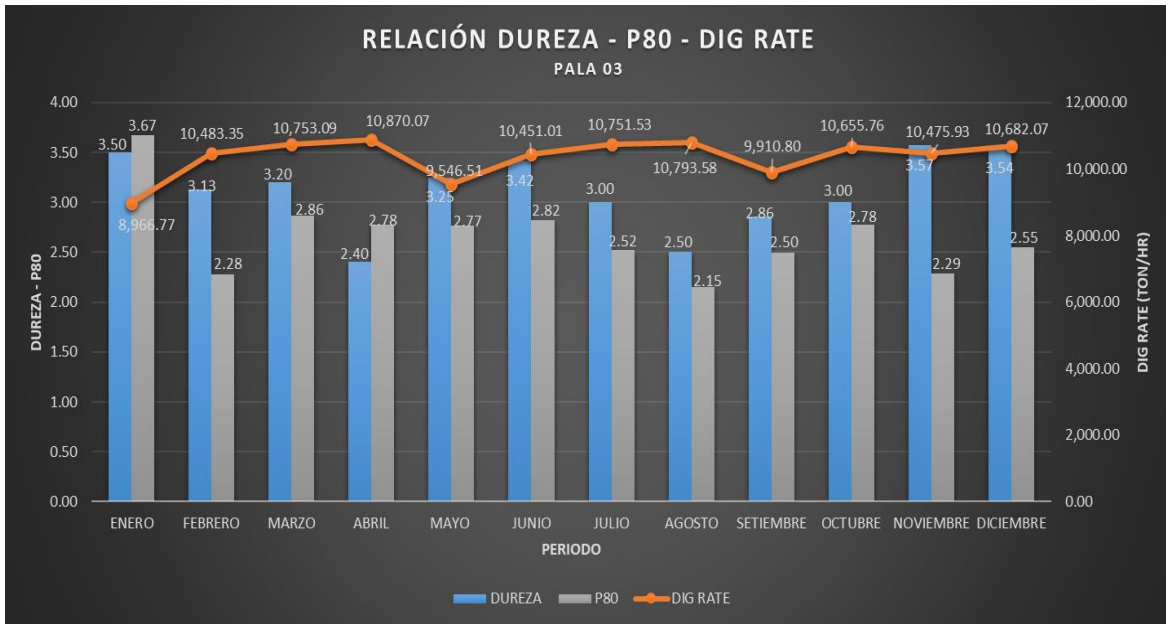


Figura 38. Relación dureza, P80 y dig rate en equipo de carguío Pala 03

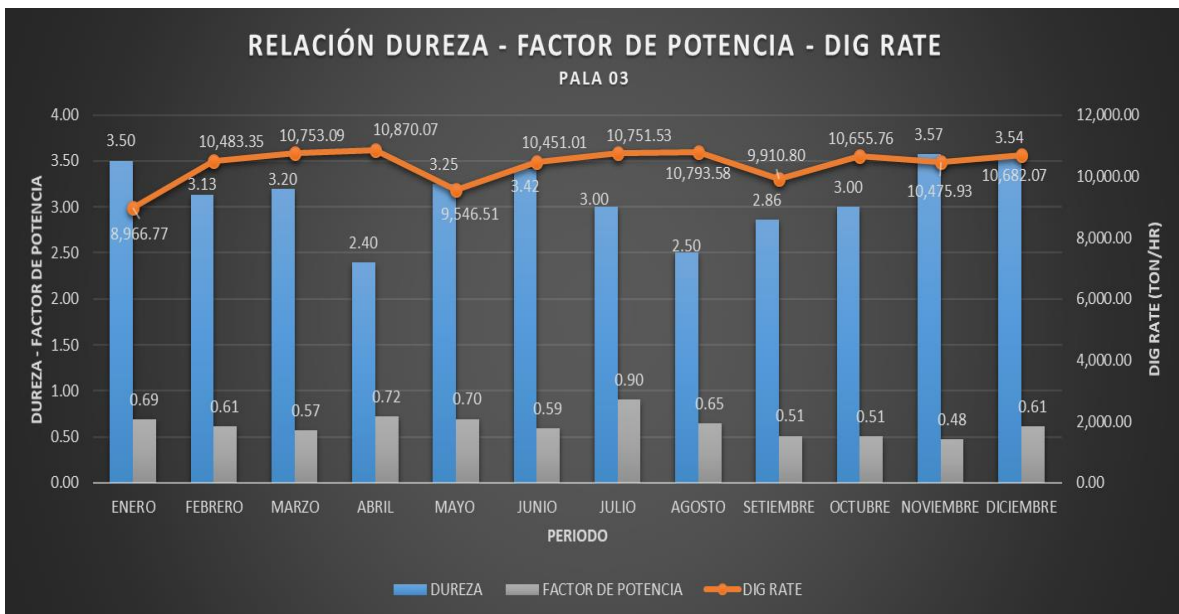


Figura 39. Relación dureza, factor de potencia y dig rate en equipo de carguío Pala 03

Los indicadores asociados al grado de fragmentación y su influencia en el equipo de carguío Pala 03 considera el análisis entre dos periodos de enero a junio y de julio a diciembre, siendo los resultados lo siguiente:

- ✓ Periodo enero a junio con un promedio de dureza de 3.15, factor de potencia de 0.64 kg/t., con un P80 de 2.86 pulgadas y un *dig rate* de 10,178.47 t/h.

- ✓ Periodo julio a diciembre con un promedio de dureza de 3.08, factor de potencia de 0.61 kg/t., con un P80 de 2.46 pulgadas y un *dig rate* de 10,544.94 t/h.

De acuerdo a los resultados mostrados en ambos periodos de análisis durante el periodo julio a diciembre la Pala 03 tiene un mejor *dig rate* (tasa de excavación) con un mayor *dig rate* de 366.47 t/h, mejorando el rendimiento de la Pala 03 en este periodo.

El promedio anual en la Pala 03 considera un promedio de dureza de 3.11, factor de potencia de 0.63 kg/t, con un P80 de 2.66 pulgadas y un *dig rate* de 10,361.70 t/h.

#### 4.1.6. Resultado de la fragmentación de mineral y su influencia en el rendimiento de los equipos de carguío

Los resultados asociados al grado de fragmentación en las diferentes litologías presentes en los frentes de operación como las zonas de *skarn*, serpentina – magnetita, *hornfels*, intrusivo A e intrusivo B, asociadas a los parámetros de voladura como dureza, factor de potencia, P80 y el *dig rate* y relacionadas al rendimiento de los equipos de carguío se hizo un comparativo entre los periodos enero a junio y el periodo julio a diciembre.

Tabla 22. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 03

<b>RENDIMIENTO EQUIPOS DE CARGUÍO</b>					
<b>PL01 - PL02 - PL03</b>					
<b>PERIODO</b>	<b>PALA</b>	<b>DUREZA</b>	<b>DIG RATE</b>	<b>FACT. POT</b>	<b>P80</b>
<b>EN - JUN</b>	PL01	2.81	10,370.57	0.32	2.89
	PL02	2.75	10,214.92	0.56	2.74
	PL03	3.15	10,178.47	0.64	2.86
<b>PROMEDIO EN - JUN</b>		<b>2.90</b>	<b>10,254.65</b>	<b>0.51</b>	<b>2.83</b>
<b>JUL - DIC</b>	PL01	2.45	10,220.77	0.26	2.53
	PL02	3.31	10,291.01	0.61	2.47
	PL03	3.08	10,544.94	0.61	2.46
<b>PROMEDIO JUL - DIC</b>		<b>2.95</b>	<b>10,352.24</b>	<b>0.49</b>	<b>2.49</b>

Tabla 23. Fragmentación de mineral, relacionado a equipo de carguío Pala 03

RENDIMIENTO EQUIPOS DE CARGUÍO				
PL01 - PL02 - PL03				
PERIODO	DUREZA	DIG RATE	FACT. POT	P80
PROMEDIO EN - JUN	2.90	10,254.65	0.51	2.83
PROMEDIO JUL - DIC	2.95	10,352.24	0.49	2.49
<b>PROMEDIO ANUAL</b>	<b>2.92</b>	<b>10,303.45</b>	<b>0.50</b>	<b>2.66</b>

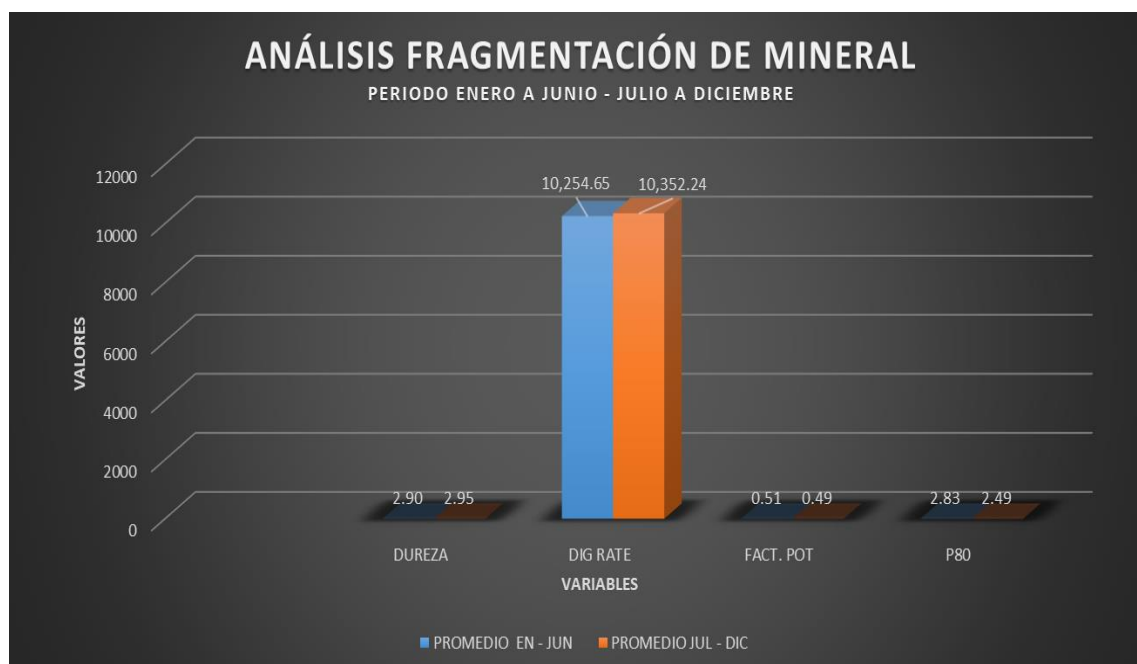


Figura 40. Análisis de fragmentación de mineral periodo enero a junio versus periodo optimizado julio a diciembre

El rendimiento de equipos de carguío durante el periodo enero a junio se relacionó entre el P80 y el *dig rate* considera los resultados de 2.83 pulgadas y 10,254.65 t/h respectivamente.

El rendimiento de equipos de carguío durante el periodo julio a diciembre se relacionó entre el P80 y el *dig rate* considera los resultados de 2.49 pulgadas y 10,352.24 t/h respectivamente.

Finalmente, el resultado del análisis de la fragmentación de mineral producto de la voladura durante los periodos enero a junio y su optimización y mejora en el periodo julio a diciembre en el rendimiento de los equipos de carguío fueron de una mejora en el *dig rate* en 97.59 t/h y una mejora en la fragmentación del mineral en el P80 en 0,34 pulgadas.



## CONCLUSIONES

1. La producción generada por los equipos de carguío considera un tonelaje aproximado de 60 ktpt, siendo el tonelaje por turno para la pala PL01 de 5,000 tpd., para la pala PL02 de 16,636 tpt, para la pala PL03 de 22,000 tpt y el cargador CD01 de la zona de stock de 13,000 tpt.

El mayor tonelaje está asociado a la pala PL03 con una producción de 22,000 toneladas con un *dig rate* (tasa de excavación) de 1,833 t/h, con una dureza de 2.1, este mejor rendimiento del equipo de carguío tiene una relación directa entre la menor dureza y el tonelaje producido.

El menor tonelaje está asociado a la pala PL01 con una producción de 5,000 toneladas con un *dig rate* (tasa de excavación) de 417 t/h y con una dureza de 2.9, este bajo rendimiento del equipo de carguío tiene una relación directa entre la mayor dureza y el tonelaje producido.

En ambos escenarios la tasa de excavación de los equipos de carguío está directamente relacionada entre el tonelaje cargado y la dureza del material, el cual está directamente relacionado al grado de fragmentación en diferentes tipos de litología.

2. La relación producción versus litología considera la granodiorita y las rocas metamórficas asociadas al *skarn*, siendo el total de producido en la zona de *skarn* con 44,454.40 toneladas con una incidencia del 78.49 % y el total producido en la granodiorita fue de 12,181.60 toneladas con una incidencia del 21.51 %. El mayor tonelaje asociado a la tasa de extracción de los equipos de carguío, inciden en la pala PL03 con 22,000 toneladas y una tasa de extracción (*dig rate*) de 1,833 t/h y en segundo orden de incidencia está asociada a la pala PL02 con 16,636 toneladas y una tasa de extracción de 1,386 t/h.
3. La relación producción versus alteración considera las alteraciones potásicas, serpentina – magnetita y serpentina - talco, siendo el total de producido en la

alteración potásica con 25,181.60 toneladas con una incidencia del 44.46 %, el total producido en la alteración serpentina – magnetita con 25,390.80 toneladas con una incidencia del 44.83 % y el total producido en la alteración serpentina – talco con 6,063.60 toneladas con una incidencia del 10.71 %. Las mayores producciones están asociados a las alteraciones potásica y serpentina – magnetita, consideradas como sectores pórfido y *skarn* Cu.

4. La litología que genera una incidencia del 56 % está relacionado a rocas metamórficas tipo *skarn* y la incidencia del 46 % representa a la granodiorita, en ambos casos considera una dureza media de 2.66. La dureza está en el rango mínimo de 2.1 asociado a rocas tipo *skarn* y la dureza en rangos máximos de 3.5 asociado a rocas intrusivas tipo granodiorita.
5. Las granulometrías asociadas a las diferentes litologías han considerado el porcentaje de fragmentación considerando material grueso, material medio y material fino, siendo el requerimiento de planta en:

Tipo de Fragmento	Tamaño Requerido (Pulgadas)	% Requerido
Fragmentos Gruesos	>4"	30%
Fragmentos Medio/Regular	>1"-4"	15%
Fragmentos Finos	<1"	55%

Unidad *Skarn*: considera el material grueso en 10 %, material medio en 49.45 % y el material fino en 40.55 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 10 toneladas es de material grueso, 49.45 toneladas de material medio y 40.55 toneladas de material fino.

Unidad *Skarn* serpentina - magnetita: considera el material grueso en 10 %, material medio en 49.45 % y el material fino en 40.55 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 10 toneladas es de material grueso, 49.45 toneladas de material medio y 40.55 toneladas de material fino.

Unidad *Hornfels*: considera el material grueso en 15 %, material medio en 44.45 % y el material fino en 40.55 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 15 toneladas es de material grueso, 44.45 toneladas de material medio y 40.55 toneladas de material fino.

Unidad Intrusivo B: considera el material grueso en 15 %, material medio en 52.67 % y el material fino en 32.33 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 15 toneladas es de material grueso, 52.67 toneladas de material medio y 32.33 toneladas de material fino.

Unidad Intrusivo A: considera el material grueso en 31.92 %, material medio en 38.08 % y el material fino en 30.00 %. Si consideramos un tonelaje producido de 100 toneladas, 31.92 toneladas es de material grueso, 38.08 toneladas de material medio y 30.00 toneladas de material fino.

Como se observa el material grueso está relacionado al intrusivo A con 31.92 %, el material medio está relacionado al intrusivo B y el material fino está relacionado al *Skarn*. Estos resultados, están relacionados directamente al factor de potencia y dureza de estos materiales.

6. El rendimiento de equipos de carguío durante el periodo enero a junio se relacionó entre el P80 y el *dig rate* considera los resultados de 2.83 pulgadas y 10,254.65 t/h respectivamente.

El rendimiento de equipos de carguío durante el periodo julio a diciembre se relacionó entre el P80 y el *dig rate* considera los resultados de 2.49 pulgadas y 10,352.24 t/h respectivamente.

Finalmente, el resultado del análisis de la fragmentación de mineral producto de la voladura durante los periodos enero a junio y su optimización y mejora en el periodo julio a diciembre en el rendimiento de los equipos de carguío fueron de una mejora en el *dig rate* en 97.59 t/h y una mejora en la fragmentación del mineral en el P80 en 0,34 pulgadas.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios de mayor detalle en los mapeos geológicos, geomecánicos y geotécnicos para definir en mayor detalle la variabilidad geológica en el yacimiento.
2. Se recomienda seguir realizando estudios de rendimiento de equipos de acarreo asociado a los parámetros de voladura y definir los ciclos reales desde los puntos de carga a los diferentes frentes de descarga como zona de acopio, chancadora y desmontera.
3. Se recomienda realizar estudios bajo el concepto *mine to mill* relacionando el grado de fragmentación con las áreas unitarias de carguío y acarreo producto de la voladura.
4. Se recomienda realizar estudios complementarios del consumo de energía en la etapa de chancado y molienda asociado al grado de fragmentación, producto de la voladura en los diferentes frentes de operación.
5. Se recomienda realizar mapeos de detalle en las diferentes zonas mixtas en los diferentes dominios geológicos y asociarlos al *dig rate*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PARI, Juan. Dimensionamiento de equipos de carguío, acarreo y optimización del plan de mantenimiento de vías para los tajos Pampa Verde y San Pedro Sur mina La Zanja S. R. L. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa- Perú: Universidad Nacional San Agustín, 2018, 160 pp.
2. VÁSQUEZ, Emilio. 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 de Minas). Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, 2013, 183 pp.
3. GERARDO, Mauricio. 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 (Título de Maestro en Ciencias con Mención en Gestión Minera). Puno – Perú: Universidad Nacional del Altiplano- Puno, 2015, 163pp.
4. MANZANEDA, Jorge. 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 – Perú: Universidad Nacional San Agustín, 2015, 206 pp.

## **ANEXOS**

## Anexo A

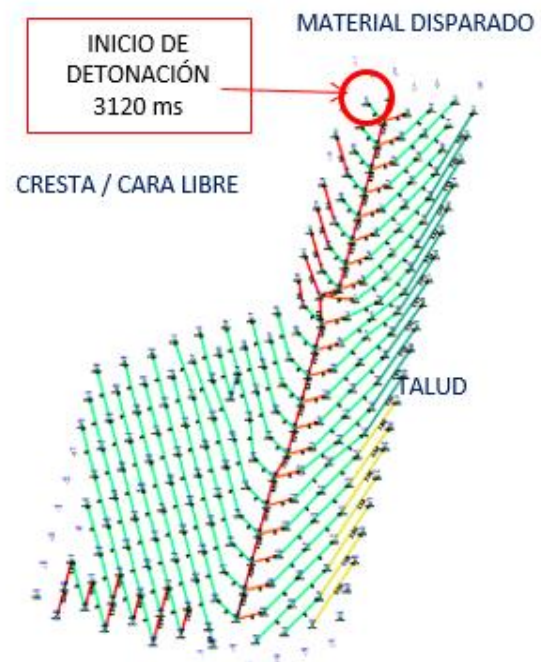
### Matriz de operacionalización de variables

**Tabla 24. Matriz de operacionalización de variables**

Variables	Definición		Definición operacional	
	Conceptual	Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Rendimiento de equipos de carguío.	Es la cantidad de trabajo que realiza un equipo de carguío en un determinado tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factores geológicos.</li> <li>• Factores operacionales.</li> </ul>	Valoración geológica del yacimiento  Valoración geomecánica  Valoración de Parámetros de Voladura	Características del modelo geológico.  Características de diseño de malla de perforación.  Características de voladura (factor potencia)
VD: Análisis de la fragmentación	Se considera el análisis de la fragmentación en minería, al óptimo tamaño a ser transportado hacia planta de una forma eficiente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factores operacionales</li> </ul>	Valoración de P80  Valoración de P30	Relación granulométrica del P80 y el factor de potencia

## Anexo B

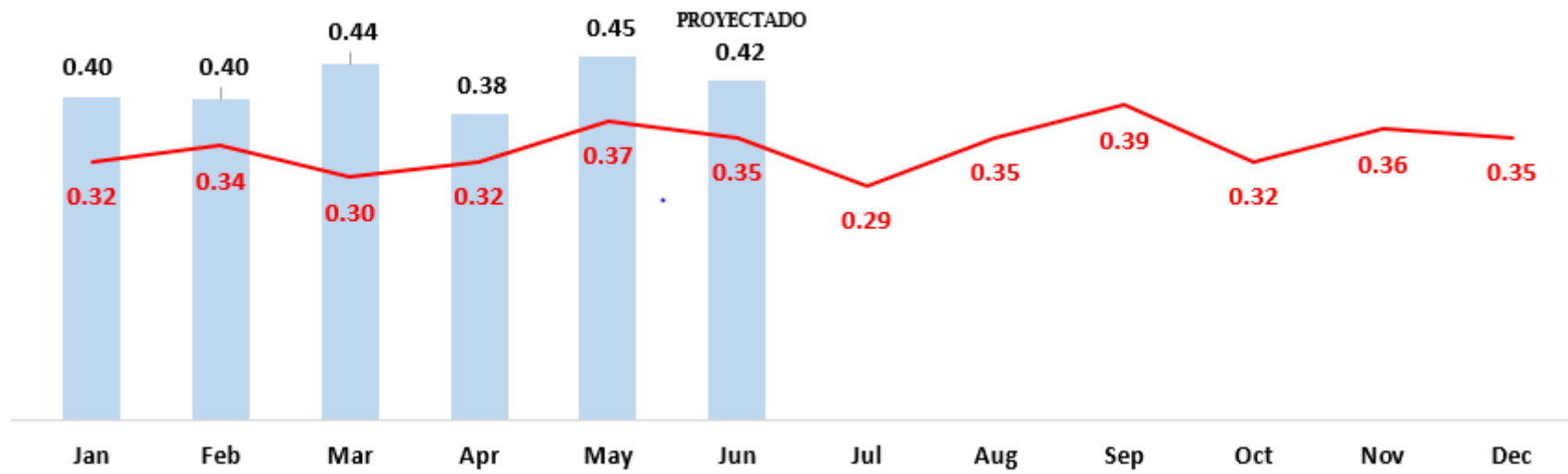
### Planos en sección planta y transversal



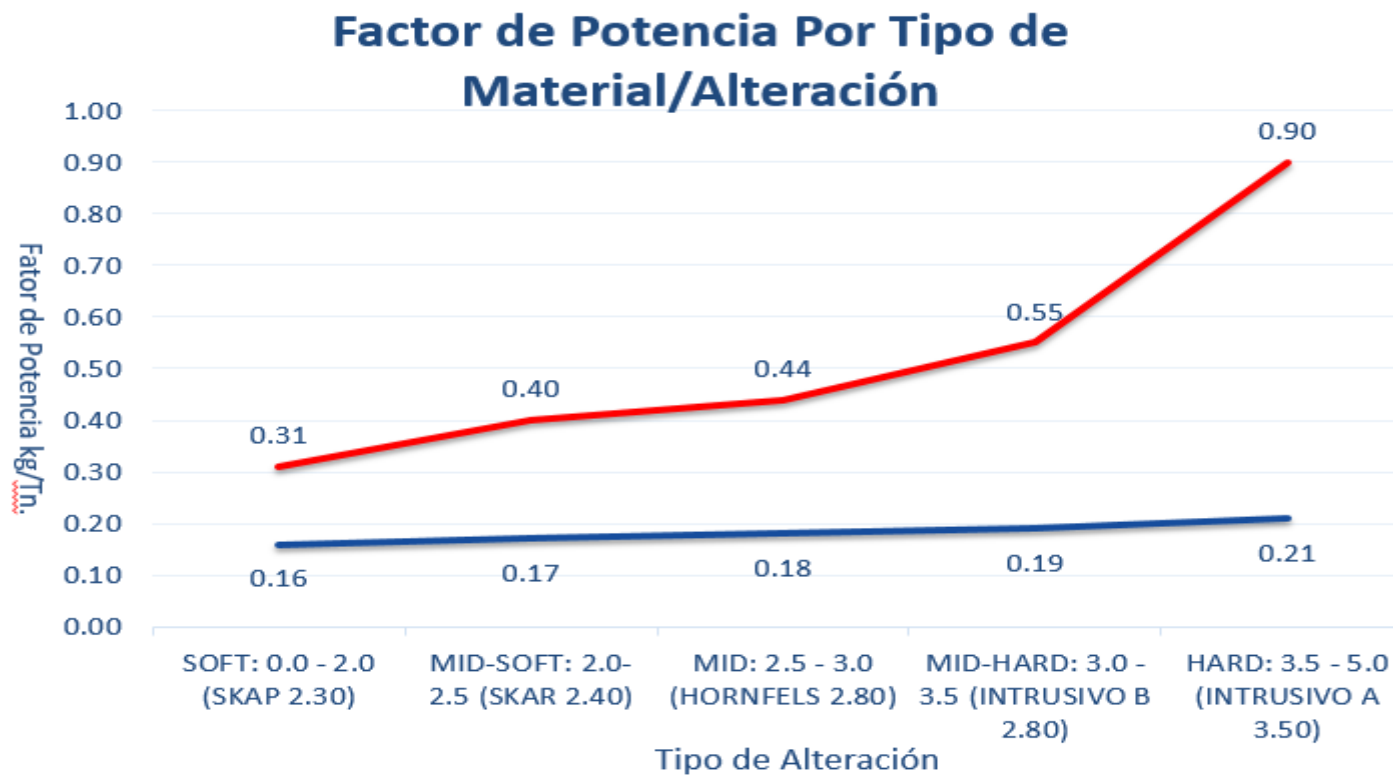
### Imagen post voladura







*Figura 41. Factor de potencia actual y budget*



**Figura 42. Factor de potencia por tipo de material / alteración**