

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS
DOWNSTREAM MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE
LA MALLA, EL INCREMENTO DEL FACTOR DE
POTENCIA Y EL USO DE DETONADORES
ELECTRONICOS EN LA EMPRESA MINERA GOLDEN
SAC”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Minas

Autora:

Anaani Jhucynd Huaman Alcantara

Asesor:

Ing. Edmundo Vereau Miranda

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres quienes me enseñaron que el principio del conocimiento es el temor a Dios, ellos sembraron en mi valores y principios con los que he contruido mi vida.

A mis hijos Mathias y Evan quienes estan conmigo en cada etapa de mi desarrollo profesional y para quienes preparo el camino que un día les tocará caminar.

AGRADECIMIENTO

Mi mas profundo agrdecimiento a todos los que me acompañaron durante mis estudios y desarrollo de mi carrera, a aquellos que aportaron consejos y dirección a lo largo de estos años. A mis compañeros de estudios, profesores y compañeros de trabajo porque de cada uno de ellos pude aprender lecciones de vida.



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Antecedentes.....	12
1.3. Formulación del problema.....	14
1.3.1. Formulación de problemas específicos	14
1.4. Hipótesis	14
1.4.1. Hipótesis específicas	15
1.5. Objetivos.....	15
1.5.1. Objetivo General	15
1.5.2. Objetivo Específico	15
1.6. Justificación.....	15
1.6.1. Justificación económica.	16
1.6.2. Justificación técnica.	16
1.7. Bases teóricas	16
1.8. Definición y Términos:.....	23
CAPITULO II METODOLOGÍA.....	25



2.1.	Diseño de investigación	25
2.2.	Tipo de investigación	25
2.2.1.	Nivel de investigación.....	25
2.3.	Población y muestra	26
2.3.1.	Población.....	26
2.3.2.	Muestra.....	26
2.4.	Ubicación y Acceso de la Investigación.....	26
2.5.	Operacionalización de variables.....	27
2.6.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	30
2.6.1.	Técnicas:.....	30
2.7.	Instrumentos, materiales y equipos	31
2.8.	Procedimiento	31
2.9.	Instrumentos de recolección de datos	34
CAPITULO III RESULTADOS.....		36
3.1.	Etapas recolección línea base	36
3.2.	Etapas de implementación de cambios en perforación y voladura	36
3.3.	Etapas de Análisis de resultados:.....	37
CAPITULO IV DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		46
4.1.	Discusión.....	46
4.2.	Conclusiones.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		49
ANEXO I.....		51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracterización de la roca.....	26
Tabla 2 <i>Matriz de consistencia</i>	28
Tabla 3 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	29
Tabla 4 Parámetros de diseño de voladura de la mina.....	36
Tabla 5 Nuevos parámetros de diseño de voladuras	37
Tabla 6 Impacto de la Voladura en el procesamiento del molino SAG y el consumo específico de energía.....	43
Tabla 7 Análisis de costos de voladura durante los meses que se efectuaron los cambios	45
Tabla 8 Análisis económico para el cálculo del beneficio total por mayor venta de concentrado.	45
Tabla 9 Base de datos Molienda SAG	51
Tabla 10 Base de datos de Voladura.....	51
Tabla 11 Caracterización geológica del polígono.....	52
Tabla 13 Reporte del total de voladuras del mes.....	53
Tabla 14 Desviaciones Estandar de los parámetros del periodo julio agosto	53
Tabla 15 Diagrama de Flujo del circuito de molienda de la mina Golden SAC.....	54



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Efectos del taco corto y largo	20
Figura 2 Stock pile del circuito de molienda SAG con cuatro alimentadores	22
Figura 3 Fragmentación (P80) vs Factor de Potencia (PF siglas en ingles), asociado a los parametros de Voldura usados para alteración potásica cada recuadro representa un mes de noviembre del 2016 a agosto del 2017.	37
Figura 4 Tasa de excavación de la pala (digrate) vs Factor de Potencia (PF siglas en ingles), asociado a los parámetros de voladura utilizados en roca de alteración potásica. DigRate (tn / hr), P80 (in) y PF (kg /t) desde noviembre del 2016 a agosto del 2017.	38
Figura 5 <i>DigRate(tn/hr) vs Fragmentación(in) asociado a la malla de voladura en zonas de alteración Potásica y litología Granodiorita en dureza 4. Tomado de la Base de datos mina Golden SAC.</i>	38
Figura 6 Frentes de minado antes y despues de los cambios en los diseño de voladura para alteración potásica.....	39
Figura 7 Procesamiento del molino SAG de Marzo a Agosto del 2017.....	39
Figura 8 Gráfico de la tendencia de rendimiento del molino SAG asociado con el % menor a i pulgada en alteración potásica.	40
Figura 9 Fragmentación de la chancadora primaria de Marzo a Agosto	40
Figura 10 Consumo de energía específico del Molino SAG(CEE)	41
Figura 11 Gráfico de la tendencia de consumo de energía específico.....	41

Figura 12 Gráfico del Factor de Potencia (PF siglas en ingles), frente al rendimiento del molino SAG.....	42
Figura 13 Gráfico de tendencia del rendimiento del molino SAG y la recuperación de Cu con respecto a la alteración procesada.....	43
Figura 14 Tendencia de procesamiento del molino SAG y consumo de energía específico según el P80 enviado desde la mina.....	44
Figura 15 Reporte de fragmentación: Curva Granulométrica	52
Figura 16 Histograma del tonelaje por hora del molino SAG, con una confiabilidad del 95% ..	53

RESUMEN

El objetivo de todo negocio es buscar la máxima rentabilidad mediante la optimización del uso de los recursos, procesos y la aplicación de nuevas tecnologías. Numerosas investigaciones y papers han reportado que la fragmentación producto de la voladura tiene el potencial de impactar positivamente en los resultados del circuito Chancado - Molienda. Este artículo describe el estudio de caso de la mina GOLDEN SAC en Perú, que ha realizado un estudio enfocado en la mejora de la fragmentación de rocas. El proyecto se basó en técnicas de reducción del tamaño de malla, incremento del factor de potencia y el uso de iniciación electrónica.

En la mina GOLDEN SAC en el estudio identificaron que, para lograr el objetivo deseado por la organización, se requirieron inversiones en procesos de voladuras con el fin de obtener mejoras en la fragmentación. Esto se demostró mediante el procesamiento de la información obtenida de varios departamentos y considerando variables que van desde la fase de perforación hasta los procesos de chancado y molienda. También es válido destacar la influencia de variables como la geología y la competencia de la roca, lo que da lugar a diferentes distribuciones de minerales duros y blandos que se explotan en diferentes períodos según el plan de mina.

La inversión adicional en voladuras resultó en una reducción de hasta 42% P80 y un aumento de hasta un 21% en la productividad de los equipos de minería. Estas mejoras resultaron en un impacto positivo en el proceso de molienda SAG, con un incremento de hasta 12%, lo que se traduce en una utilidad de 7.5 MM US \$ / mes para la planta de procesamiento.

Palabras clave: *Burden, espaciamiento, taco, factor de carga*

ABSTRACT

The objective of any business is to seek maximum profitability by optimizing the use of resources, processes and the application of new technologies. Numerous investigations and papers have reported that the fragmentation produced by blasting has the potential to positively impact the results of the Crushing - Grinding circuit. This article describes the case study of the GOLDEN SAC mine in Peru, which has conducted a study focused on improving rock fragmentation. The project was based on techniques to reduce the mesh size, increase the power factor and the use of electronic initiation.

In the GOLDEN SAC mine, the study identified that, to achieve the objective desired by the organization, investments in blasting processes were required in order to obtain improvements in fragmentation. This was demonstrated by processing the information obtained from various departments and considering variables ranging from the drilling phase to the crushing and grinding processes.

It is also valid to highlight the influence of variables such as geology and rock competition, which gives rise to different distributions of hard and soft minerals that are exploited in different periods according to the mine plan.

The additional investment in blasting resulted in a reduction of up to 42% P80 and an increase of up to 21% in the productivity of mining equipment. These improvements resulted in a positive impact on the SAG grinding process, with an increase of up to 12%, which translates into a profit of 7.5 MM US \$ / month for the processing plant.

Keywords: Burden, spacing, cleat, load factor

CAPÍTULO I:

INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las minas a cielo abierto, incluso en las grandes empresas, las actividades de extracción (perforación, voladura, carguío, acarreo, chancado y molienda) se conciben por separado, especialmente en circunstancias en las que la estrategia empleada tiene como objetivo la reducción de costos como área sin tener en cuenta el impacto de un proceso sobre otro. Es por esta razón que existe una gran dificultad para que las diferentes áreas trabajen de manera integrada dentro de las empresas mineras.

Existe una gran dificultad para que esta visión de trabajo integrado sea adoptada por cada área de una empresa minera. En muchas operaciones a nivel mundial las áreas de mina y planta trabajan de manera independiente y son muy pocas las empresas que buscan integrar los procesos esto se debe a que los KPI's no son transversales. Esto quiere decir que se establecieron Kpi's individuales para áreas que deberían trabajar en conjunto, por ende, se limita la integración y fomenta la búsqueda individual de alcanzar solo sus propios objetivos. (Morote, Vega, & Pareja, 2019)

Este problema lleva a las diferentes áreas a una guerra por conseguir el mayor ahorro en costos unitarios sin tener una mirada integral de toda la cadena de procesos lo que puede traer grandes pérdidas a la empresa. Por esta razón es de gran importancia desarrollar el pensamiento que la mina y la planta son una sola operación integrada y fomentarlo como rasgo de la cultura organizacional el trabajo colaborativo.

Pamela Navarrete, coordinadora de I+D con la Empresa para el área Minería del Centro de Innovación UC, subraya: “El explosivo es la energía más barata para arrancar y fragmentar la inmensa mayoría, de las rocas y minerales. Una pila de roca bien fragmentada trae consigo menores tiempos de carga y mejor productividad de palas y camiones debido al mejor factor de llenado del balde”.

Finalmente, esta investigación busca demostrar cual es el impacto que existe en los procesos downstream cuando se invierte en las actividades de perforación, voladura y cuando se busca que el producto final de cada área sea el más óptimo para el siguiente proceso.

1.2. Antecedentes

En el año 2010 se llevó a cabo un proyecto de ingeniería en la mina Cominco Alaska Red Dog, ubicada en USA al noreste de Alaska, para determinar el grado en el que el rendimiento del molino SAG podría aumentarse mediante la voladura. En dicho estudio se utilizaron los modelos de JKMRRC para relacionar los cambios de diseño de voladura con el rendimiento del molino SAG. Se determinó que al aumentar el factor de potencia un 150% (0,29kg/tn a 0,72kg/tn) se podría proporcionar un beneficio neto de \$30M/yr debido al aumento de producción de concentrado. (Kojovich, 2001)

Un grupo de ingenieros realizaron un estudio de caso para una nueva mina en América del Sur. Este estudio se realizó para determinar el diseño de voladura óptima que cumpla con el requisito de molino de rendimiento de 95.000 toneladas (104.720 toneladas) por día durante los primeros 10 años de la vida de la mina. La geología del cuerpo de mineral se dividió en cuatro unidades geológicas. Cuatro diseños de hornos se consideraron con factores de polvo de 0,44, 0,54, 0,64 y 0,94 kg / t. Los resultados de este estudio muestran que la determinación de la

explosión de un diseño adecuado es importante para asegurar que el requisito de rendimiento del molino se reunió durante una vida útil. (Rocha, Fernandez, Fuentealba, Rodriguez, & Bobo, 2014)

En el año 2007 la empresa Metso Process Technology and Innovation (PTI) realizó un estudio similar para la Compañía Minera Antamina ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huarí en la Región Ancash, a 200 km de la ciudad de Huaraz. El objetivo del estudio fue incrementar el rendimiento del molino SAG a partir del desarrollo de estrategias que parten desde la caracterización de la roca hasta el blending de alimentación a planta. En perforación y voladura se realizaron parámetros de diseño para cada dominio geológico de la mina según la competencia de la roca, para adaptarse a los requisitos definidos aguas abajo. Como resultado de la aplicación de dichas estrategias se obtuvo un incremento del rendimiento del Molino SAG de 32%. (Rybinski, y otros, 2011)

Uno de los estudios de casos aplicados en Perú en el año 2011 está el de Gold Fields en Cerro Corona, el objetivo de este estudio fue comprender el impacto de la dureza del mineral en el rendimiento, la fluctuación de la planta y la distribución del tamaño de partículas y utilizar este conocimiento para optimizar la operación. A partir de este estudio se realizaron una serie de recomendaciones que abordan los problemas operativos actuales en voladura y apuntaron a maximizar el rendimiento de la planta. Uno de los cambios más significativos fue el incremento del Factor de potencia de 0.31 kg/tn a 0.65 kg/tn, como resultado de estos cambios se obtuvo que la energía específica de SAG se redujo en un 9.3% y un incremento del tonelaje del molino SAG del 15%. (Jankovic, Diaz, Mamani, Valle, & Duffy, 2015)

Finalmente en el año 2013 en la empresa minera Cerro Verde se realizó un estudio para medir la influencia de las voladuras de intensidad sobre los procesos de chancado y molienda. El enfoque del estudio está en realizar un incremento del 70% en el factor de potencia (0,61 versus 0,36 kg/tn del diseño estándar) a partir de una reducción de malla y un aumento del diámetro de perforación y el uso de doble deck con cámara de aire, dichos cambios lograron obtener un aumento del rendimiento del circuito de molienda del 12,2% con una reducción total del costo global del 3,3%; además de incrementar el beneficio mensual de finos de metal mayor a los 13 millones de dólares. (Pacheco, 2013)

1.3. Formulación del problema

¿De qué manera la modificación de la malla, el incremento del factor de potencia y el uso de detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC?

1.3.1. Formulación de problemas específicos

¿De qué manera la modificación de la malla optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC?

¿De qué manera el incremento del factor de potencia optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC?

¿De qué manera la utilización de los detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC?

1.4. Hipótesis

La modificación de la malla, el incremento del factor de potencia y el uso de detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC.

1.4.1. Hipótesis específicas

Existe influencia significativa en la modificación de la malla para optimizar los procesos downstream en la mina Golden SAC.

El incremento del factor de potencia optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC.

El uso de detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Modificar la malla, incrementar el factor de potencia y utilizar detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC.

1.5.2. Objetivo Específico

Modificar la malla optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC.

Incrementar el factor de potencia optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC.

Utilizar detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina Golden SAC.

1.6. Justificación

El proyecto de investigación permitirá demostrar que una óptima fragmentación post voladura logra maximizar la productividad total de las operaciones de carguío, chancado y molienda. Así mismo permite, cumplir con el objetivo de toda empresa, incrementar la rentabilidad del negocio.

1.6.1. Justificación económica.

La investigación muestra que tener una visión global del negocio puede traer grandes beneficios a la empresa. El estudio permite demostrar que la inversión en el proceso de perforación y voladura, es decir poder alcanzar el tamaño de partícula requerido por planta, logra un beneficio económico en toda la cadena productiva como lo es una mayor productividad de los equipos de minado, una mayor productividad del molino SAG y una disminución en el CEE es el adecuado.

1.6.2. Justificación técnica.

Esta investigación busca demostrar que la modificación de la malla de perforación, el aumento en el factor de carga en la voladura y el uso de detonadores electrónicos, se logra generar un ahorro por menor costo en carguío, transporte y especialmente por mayor producción en la molienda. Además una óptima fragmentación post-voladura genera un incremento en el rendimiento del molino SAG.

1.7. Bases teóricas

Diseño de Voladuras: Los parámetros de diseño de una voladura deben ser mejorados continuamente para optimizar operaciones y costos. Los diseños de voladura son desarrollados teniendo en cuenta los siguientes:

Tipo de roca y condiciones geológicas

Propiedades físico-mecánicas de la roca

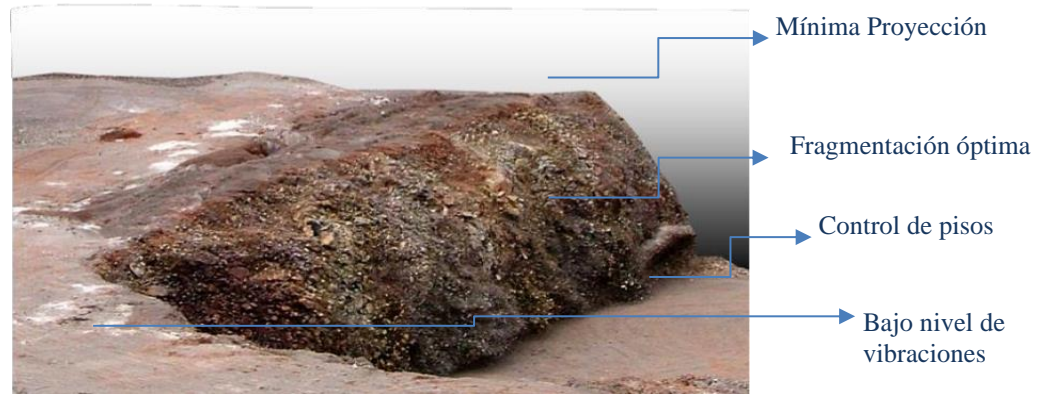
Altura de banco

Diseño de malla y carga (diámetro, geometría, taco y carga)

Secuencia de disparo y tipo de iniciación

Tipo de explosivo

Los diseños óptimos de una voladura buscan producir la fragmentación esperada, pila volada con material bienfragmentado, mínima proyección de material, bajo nivel de vibraciones, mínimo daño y control de la gradiente (piso del banco). (Bernaloa & Castilla, 2013)



Variables de diseño de voladuras

Altura de banco: La altura de banco es establecida especialmente por las propiedades del macizo rocoso, el tipo y tamaño del equipo de excavación, necesidad de minimizar costos de perforación. Así mismo cabe indicar que existe una relación entre el diámetro de perforación y la altura de banco. La altura de banco está en promedio entre 3 – 18m. (Servicios Técnicos Orica, 2008)

Diámetro de taladro: El diámetro óptimo de un pozo es mayor para bancos más altos y para excavaciones más grandes, para transporte y equipo de chancado. Los pozos de diámetro grande reducen costos por perforación, cebos e iniciadores, y por mano de obra. Los taladros más chicos dan mejor distribución de energía en el macizo rocoso.

Diámetro grande: menor costo de perforación, menor control sobre la fragmentación, menor control sobre el impacto ambiental, mayores FC para mejorar la distribución de energía, menor grado de desviación en perforaciones largas.

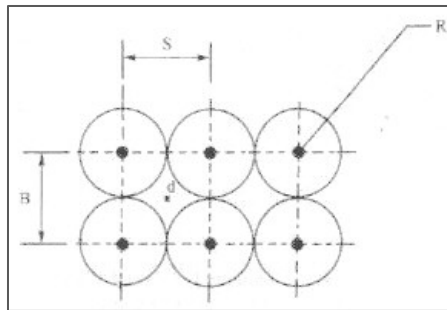


Diametro pequeño: mejor fragmentación, menor vibración, uso de perforadoras más livianas y movibles, mayor costo de perforación, mayor grado de desviación en perforaciones largas.

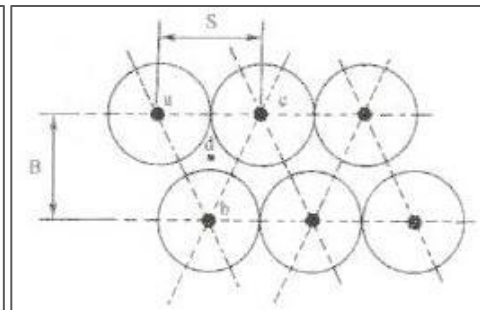
Distribución de la Carga : La distribución de las cargas explosivas en el macizo rocoso es algo importante a considerar cuando hay que resolver la geometría de una voladura. La energía de la explosión debería ser asignada de acuerdo al trabajo a hacer. Usualmente se requiere de una mayor concentración de energía hacia el fondo del pozo. Una voladura rentable para rocas masivas y abruptamente inclinadas a veces requiere de dos distintos explosivos para el mismo pozo. Podría ser necesaria energía de alta densidad y de poder destructivo en el fondo para cortar la roca a nivel de piso del banco, y se podría requerir de menor densidad con esponjamiento más arriba en el pozo.

Malla de Voladuras: Las mallas de voladuras dependen del diámetro del pozo, propiedades de la roca, propiedades del explosivo, altura del banco, y los resultados necesitados.

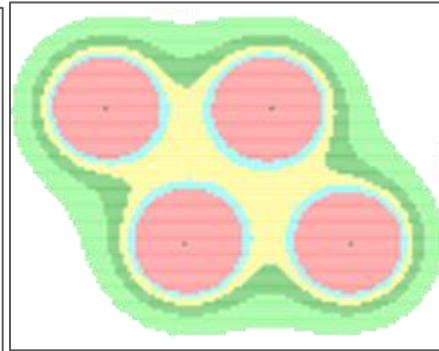
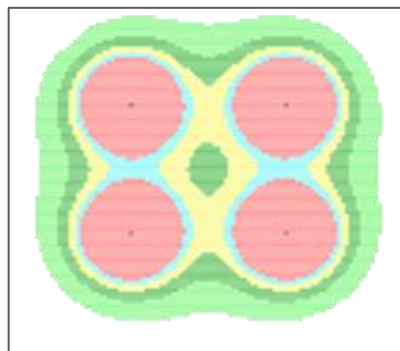
Tipo de Malla de Voladuras: La experiencia operativa y los resultados de modelos de voladuras han demostrado que en rocas masivas se obtiene mejor fragmentación y productividad con mallas triangulares que con mallas cuadradas o rectangulares. Las mallas triangulares equiláteras suministran una óptima distribución de la energía de la explosión en la roca. Mientras que las mallas triangulares dan el mejor rendimiento teórico, la secuencia de iniciación puede modificar la geometría y los resultados de las voladuras en mallas cuadradas o rectangulares.



Malla cuadrada E igual B



Malla triangular E igual 1,15 B



Distribución de energía: malla cuadrada y malla triangular

Razón Espaciamiento a Burden (S:B): El burden y el espaciamiento están relacionados con el diámetro del pozo, profundidad, tipo de roca y longitud de la carga. Una razón S:B demasiado grande, permite que la frente a mitad de camino entre los pozos de la fila de atrás permanezca intacta, sobre todo cerca del nivel del piso del banco. Esto resulta en una estrecha excavación y posiblemente en una pata irrompible. Los espaciamientos de pozos considerablemente más pequeños que el burden tienden a causar fraccionamiento prematuro entre pozos y soltura temprana del taco. Estos causan liberaciones prematuras de gases de explosión a la atmósfera, y considerable sobrequebre.

Cambio en Burden y en Espaciamiento: Los cambios en el burden generalmente afectan la fragmentación, la soltura de la pila y a la pata mucho más rápidamente que los cambios en el espaciamiento. Si se agranda una malla de voladura por ahorro, es más común

incrementar el espaciamiento del pozo por etapas antes de alterar el burden. Las voladuras obstruidas y los cortes iniciales de piso para obtener fragmentación y soltura necesitan de un factor de energía más alto, comparando con las voladuras con una cara libre. Este incremento en la energía se logra usualmente reduciendo los burdens y espaciamientos.

Longitud del taco: El taco aumenta la fragmentación y el desplazamiento de la roca reduciendo la descarga prematura hacia la atmósfera de gases de explosión a alta presión. La longitud óptima de un taco depende principalmente del diámetro del pozo, material del taco, y de las propiedades de las rocas cercanas. Un taco inadecuado incrementa la rotura de la roca del collar, pero disminuye la fragmentación global y el desplazamiento debido a que los gases de la explosión se descargan hacia la atmósfera más fácil y rápidamente. También crea más flyrocks, sobrequebre de superficie, ruido y airblast. Un taco largo asegura un buen confinamiento de los gases de la explosión pero la fragmentación de la roca del collar se vuelve más gruesa.



Figura 1 Efectos del taco corto y largo

Fuente (Servicios Técnicos Orica, 2008)

Tamaño y Forma de Voladuras: La mayoría de las rocas con sobretamaño vienen desde atrás, lados y parte superior de las voladuras. Los bolones se crean por fracturas abiertas en la cara libre, y por sobrequebre alrededor del perímetro. El daño por voladuras previas abre

fracturas alrededor del perímetro las que definen las rocas aisladas del macizo rocoso. Estas rocas no son fragmentadas por tensiones generadas por explosión y grietas, sino que simplemente son empujadas hacia adelante en la pila.

Asignación de Retardos: La secuencia en que los pozos son iniciados y el intervalo de tiempo entre detonaciones sucesivas tiene una importante influencia en el rendimiento global de una voladura. El rendimiento de las voladuras de producción sólo se puede optimizar cuando las cargas detonan en una secuencia controlada a intervalos de tiempo discretos, adecuados pero estrechamente espaciados.

La asignación de un retardo óptimo para una voladura depende de muchos factores incluyendo:

Propiedades del macizo rocoso (resistencia, módulo de Young, densidad, porosidad, estructura, etc).

Geometría de la voladura (burden, espaciamiento, altura del banco, cara libre, etc.).

Diámetro, inclinación y longitud del pozo.

Características del explosivo, grado de acoplamiento, taco intermedio, etc.

Sistema de iniciación (retardos de superficie o en el pozo, tipo de línea, etc).

Tipo y ubicación de cebo.

Detonadores no electricos: Los sistemas de iniciación no eléctricos de tubo nonel (tubo de choque) son particularmente seguros, versátiles y “amigables con el usuario” y se han transformado en el sistema de iniciación preferido para voladuras en minas de metal de superficie. El uso de retardos no eléctricos en el pozo con un sistema de superficie no eléctrico es la combinación más común en toda Australia.

Detonadores Eléctricos: Los detonadores eléctricos son quemados por corriente eléctrica que pasa a través de los cables de disparo a la cabeza del fulminante. La cabeza del fulminante es un cable fino de puente soldado entre los cables de disparo, y está cubierta en un compuesto que detona. La corriente que pasa a través del cable de puente hace que se caliente y que inicie a la composición.

Molienda SAG: Los molinos semiautomáticos SAG dependen mucho del tamaño de alimentación porque utilizan la roca como medio de molienda, la carga de la alimentación de la roca en el molino tiene un efecto significativo, el molino SAG requiere una cantidad suficiente de material grueso. El tamaño crítico del molino SAG es de 2 a 4 pulgadas (50,8 a 101,6 mm), donde la trituration no es buena y tiende a acumularse en el volumen interno del molino, lo que aumenta la presión de descarga del molino SAG. Las ventajas de operar un circuito de molienda con una alimentación más fina y homogénea se pueden ver en el incremento en el procesamiento.

Nivel de capacidad viva Stock pile. La mínima capacidad viva es de un 40%. Si este nivel no se da, se genera el efecto de “segregación”, lo cual afecta directamente al procesamiento del molino SAG (ver Figura 2).

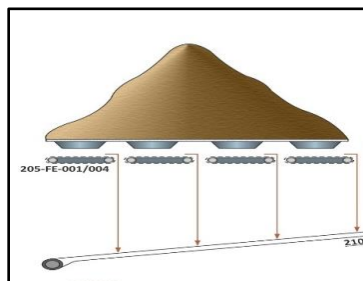


Figura 2 Stock pile del circuito de molienda SAG con cuatro alimentadores

Fuente: Flow Shet mina Golden SAC

1.8. Definición y Términos:

Burden: Distancia entre las líneas de pozos y la cara libre o bien, distancia entre filas de tiros.

Espaciamiento: Distancia entre pozos de la misma fila paralelo a la cara libre

Taco: Material inerte ubicado en la parte cercana al inicio de la perforación, con el fin de confinar la energía explosiva

Factor de Carga: Cantidad de explosivo por volumen de roca a remover (kg/m^3 o gr/tn)

Velocidad de la Onda de detonación: Velocidad a la que viaja la onda a lo largo de la columna explosiva, sea al aire libre o en confinamiento dentro de un taladro de voladura.

Rendimiento efectivo o digrate de las palas: Tiempo efectivo de carguío sin ninguna demora operativa o tiempos muertos. Está representado por toneladas cargadas por hora. Golden SAC cuenta con tres palas eléctricas y el análisis estará dirigido a estos equipos.

Fragmentación (plg) : Otro indicador a evaluar será la fragmentación de la roca producto de la voladura, para el análisis esta expresada en P-80 y % menor a 1”. El concepto de P-80 hace referencia a la apertura de la malla que deja pasar el 80% del producto.

Índice de perforación (ton/m): Este indicador está expresado en ton/m. perforados, este viene a ser las toneladas movidas por cada metro perforado y va en aumento cada vez que se incrementa el barren y espaciamiento y disminuye cada vez que el barren y espaciamiento es menor.

Factor de potencia (kg/ton): Son los kilogramos de explosivo necesarios para fragmentar una tonelada de roca in situ. Para calcular dicho valor es necesario conocer la densidad del explosivo, diámetro del taladro y longitud de carga del taladro.



Costos unitarios de mina (US\$/ton): El análisis de costos en mina se ha tomado en cuenta tanto para perforación como para voladura.

Procesamiento del molino SAG. Son las toneladas secas por hora tratadas en el molino SAG.

Potencia del molino SAG. La potencia es la energía consumida por el molino SAG en su operación.

Consumo de Energía Específico. El consumo de energía específico (CEE) es la energía utilizada por cada tonelada procesada sus unidades están kWh/ton.

Nivel de capacidad viva. La mínima capacidad viva es de un 40%. Si este nivel no se da, se genera el efecto de “segregación”, lo cual afecta directamente al procesamiento del molino SAG.

Velocidad del molino SAG: Es la velocidad de rotación del molino SAG expresado en RPM.

Presión del molino SAG: Es la presión en los PAD's dentro del molino SAG.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Diseño de investigación

Para llevar a cabo el proyecto y tener un análisis adecuado, es fundamental contar con información validada en cantidad y calidad.

El estudio corresponde a una investigación experimental de campo con un nivel de investigación cuantitativa y un alcance correlacional puesto que en este estudio se busca conocer la relación o asociación entre dos o mas variables a traves de la recolección y análisis de datos.

La finalidad de esta investigación es que a traves de pruebas de campo realizadas en la empresa minera GOLDEN SAC.se pueda determinar de manera cuantitativa su impacto en las demas variables.Este diseño presenta el siguiente esquema:

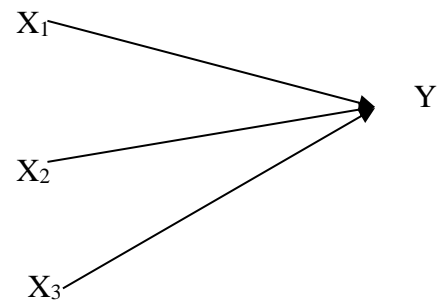
Donde:

X₁: Modificación de la malla

X₂: Incremento del factor de potencia

X₃: Uso de detonadores electrónicos

Y: Optimización de los procesos downstream



2.2. Tipo de investigación

2.2.1. Nivel de investigación

La investigación presenta un nivel cuantitativo, puesto que se utiliza el análisis y recolección de datos de parametros de diseño de P&V y su impacto en la productividad de las palas y procesamiento en molienda en la empresa GOLDEN SAC.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

En esta investigación la población esta determinada por la geología general del yacimiento de la empresa minera. Un deposito de Cu-Mo que presenta rocas con litología como Diorita, Granodiorita, Skarn, Hornfels para alteraciones en Potasica, Phyllica, Trem, Serpentita-Magnetita, Serpentita-Talco y Hornfels.

2.3.2. Muestra

Se ha determinado que como muestra representativa de la población, la investigación esta centrada en determinar un diseño optimo de perforación y voladura para la roca Granodiorita y alteración Potasica con dureza 4. El método de muestreo utilizado viene a ser Método probabilistico muestra estratificada puesto que el tipo de roca granodiorita se encuentra zonificada en el yacimiento total de mina.

2.4. Ubicación y Acceso de la Investigación

Unidad geológica base, la roca presente en este yacimiento son de litología Diotita, Granodiorita, Skarn, Hornfels para alteraciones Potásica, Fílica, Act-trem, Serp – Mag, Serp-Talc, Hornfels. El modelo usado para clasificar por dureza a la roca se ha realizado en base a la velocidad de perforación en un rango donde 4 es muy duro y 1 es suave. La Tabla 1 muestra la relación entre litología, alteración y dureza.

Tabla 1 Caracterización de la roca

Litología	Alteración	Dureza	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
Skarn	Act-Trem Serp-Mag Serp-Talco	2.5	26,7	3.6
Hornfels	Hornfels	3	51,6	6
Diorita	Diorita	3	73,4	7,9

Granodiorita	Potásico Fílico	4	141,6	15,1
--------------	--------------------	---	-------	------

2.5.Operacionalización de variables

Tabla 2
Matriz de consistencia

Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Metodología
	Hipótesis general	Objetivo general	Variable independiente	Tipo de investigación
<p>Problema general</p> <p>¿ De qué manera modificación de la malla, el incremento del factor de potencia y el uso de detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC?</p>	<p>La modificación de la malla, el incremento del factor de potencia y el uso de detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC</p>	<p>Modificar la malla, incrementar el factor de potencia y utilizar detonadores electrónicos para optimizar los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC</p>	<p>X₁: Modificación de la malla</p> <p>X₂: Incremento del factor de potencia</p> <p>X₃: Uso de detonadores electrónicos</p>	<p>Cuantitativa</p> <p>Aplicado</p>
	Hipotesis específica	Objetivo específico	Variable dependiente	Población
<ul style="list-style-type: none"> ¿ De qué manera la modificación de la malla optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC? ¿ De qué manera el incremento del factor de potencia optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC? De qué manera la utilización de los detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC? 	<ul style="list-style-type: none"> Existe influencia significativa en la modificación de la malla para optimizar los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC El incremento del factor de potencia optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC El uso de detonadores electrónicos optimiza los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC 	<ul style="list-style-type: none"> Modificar la malla para optimizar los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC Incrementar el factor de potencia para optimizar los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC Utilizar detonadores electrónicos para optimizar los procesos downstream en la mina GOLDEN SAC 	<p>Y: Optimización de los procesos downstream</p>	<p>Geología general de la mina GOLDEN SAC</p> <p>Muestra</p> <p>Tipo de roca Granodiorita, Alteración Potásica</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
X ₁ : Modificación de la malla	Burden y espaciamiento	Reducción de parámetros de voladura
X ₂ : Incremento del factor de potencia	Factor de potencia (Kg / Tn)	Kilos de explosivo
X ₃ : Uso de detonadores electrónicos	Detonadores electrónicos	Cantidad de detonadores electrónicos utilizados al mes
Y: Optimización de los procesos downstream	Carguío	Velocidad de llenado de las palas DigRate (Tn/hr)
	Molienda	Procesamiento del molino SAG Throughput (TPH)
		Consumo específico de energía CCE (kWh / Tn)

Fuente: Elaboración propia

2.6. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

El estudio consistió en realizar la trazabilidad del mineral disparado en mina hasta su disposición final en planta, tomando en cuenta las variables principales como la fragmentación y su impacto en los procesos aguas abajo como el carguío, acarreo, chancado y molienda. Es por esta razón que la recolección de la información del presente estudio se realizó a través del trabajo de campo y recolección de bases de datos de carguío y molienda de la empresa Minera GOLDEN SAC. El proceso de evaluación en mina comprende el análisis de la información de operaciones mina, que involucra las áreas de geología, perforación, voladura, carguío, acarreo, chancado y molienda.

Las pruebas de campo realizadas para la modificación de la malla de perforación el incremento de factor de potencia y el uso de detonadores de campo fueron tomadas para cada malla de voladura durante cuatro meses. Además de la recolección de la base de datos de carguío, y molienda. Toda esta información fue proporcionada de primera mano por el empresa minera GOLDEN Sac.

2.6.1. Técnicas:

Observación directa: Esta técnica permite obtener información directa y confiable, siempre y cuando se haga mediante un procedimiento sistematizado y muy controlado, para lo cual hoy están utilizándose medios audiovisuales muy completos, especialmente en estudios del comportamiento de las personas en sus sitios de trabajo”. (Torres, 2006)

Análisis de documentos: Es una técnica basada en fichas bibliográficas que tienen como propósito analizar material impreso. Se usa en la elaboración del marco teórico del estudio. Para una investigación de calidad, se sugiere utilizar simultáneamente dos o más

técnicas de recolección de información, con el propósito de contrastar y complementar los datos. (Torres, 2006) . Para este estudio se analizó estudios previos como paper, libros o reportes que permitieron sustentar las pruebas. También un análisis a la información de perforación y voladura como son: reportes de carguío de voladuras, videos de disparo, reportes de disparo, planos de ubicación del proyecto de voladura, plano geológico del proyecto, resumen de voladuras, reportes de fragmentación, reporte de perforación.

Análisis estadísticos: la información correspondiente a las bases de datos de carguío y molienda han tenido que pasar por un análisis estadístico para la seleccionar la data representativa y con un grado de confiabilidad.

2.7. Instrumentos, materiales y equipos

Pruebas de campo: Wincha, planos, reportes, cajas de disparo, cámara filmadora, escalas de fragmentación.

Análisis de la información: computadoras se utilizará para el procesamiento y análisis de datos con los softwares de voladura y estadísticos.

2.8. Procedimiento

El estudio consistió en realizar la trazabilidad del mineral disparado en mina hasta su disposición final en planta, tomando en cuenta las variables principales como la fragmentación y su impacto en los procesos aguas abajo como el carguío, acarreo, chancado y molienda.

La investigación se dividirá en tres etapas esenciales, línea base, implementación y optimización. Para el análisis de la información en los tres periodos, se solicitó información a las distintas áreas de minas, tales como: planeamiento, geología, perforación, voladura y

sistemas *dispatch*. Asimismo, para el análisis del *digrate* de las palas, fue necesario realizar una asociación de los polígonos minados con los proyectos de voladura para determinar las características y parámetros de diseño con los que fueron disparados.

2.8.1.1. Etapa recolección de Línea Base

En esta primera etapa se recolectará toda la información relacionada con las variables en estudio. Se recolectará una data histórica de un periodo de 3 meses previos a los cambios.

2.8.1.2. Etapa de implementación de cambios en perforación y voladura

Etapa se recolectará toda la información correspondiente a las pruebas de campo realizadas con los cambios en en perforación y voladura. Se recolectó información de 4 meses de pruebas.

2.8.1.3. Etapa de análisis de los resultados obtenidos

Finalmente en la última etapa corresponde al análisis de toda la información recolectada.

Filtro de datos

Se hizo un filtro de datos para un análisis más representativo, el cual se realizó tomando en cuenta lo siguiente:

Solo se tomó en cuenta los proyectos de voladura con mineral que será enviado a planta.

Se consideró dentro del análisis voladuras mallas de producción.

Valores en productividad de minado mayores a 1500 tn.

Parámetros estándar de funcionamiento del molino SAG.

Distribución de frecuencias y representaciones gráficas: según Mason y Lind,

“la distribución de frecuencias es el agrupamiento de datos en categorías que muestran el número de observaciones de cada categoría”. En otras palabras, una distribución de frecuencias indica el número de veces que ocurre cada valor o dato en una tabla de resultados de un trabajo de campo.

- *Histogramas: son medios gráficos para representación de la distribución de frecuencias.*
- *Polígonos de frecuencia: al igual que el histograma, son gráficas que permiten obtener una imagen rápida de las principales características de los datos de una distribución de frecuencias.*
- *Gráficas de barras o pay: son formas distintas de re- presentar los datos de una investigación. (Torres, 2006)*

Medidas de tendencia central

- *La media:* es la sumatoria de un conjunto de puntajes dividida por el número total de éstos.
- *La moda:* es el puntaje que ocurre con mayor frecuencia en una distribución de datos.
- *La mediana:* es el valor que divide a una distribución de frecuencias por la mitad, una vez ordenados los datos de manera ascendente o descendente.

Medidas de dispersión

Varianza: es la suma de las desviaciones de la media elevadas al cuadrado, dividida entre el número de observaciones menos uno.

Desviaciones estándares: es la cantidad promedio en que cada uno de los puntajes individuales varía respecto de la media del conjunto de puntajes.

2.9. Instrumentos de recolección de datos

Reporte de carguío: El reporte de carguío contiene el detalle de la cantidad de taladros cargados en la malla de voladura, la cantidad de kilos por taladro, altura de carga, accesorios utilizados, altura de taladros, este reporte es llenado de forma manual por los técnicos en voladura.

Reporte de perforación: El reporte de perforación contiene el tonelaje roto por cada disparo, cantidad de accesorios, explosivo, burden, espaciamento, sobreperforación, costos unitarios por voladura.

Reporte de Voladura: El reporte de voladura contiene la secuencia de disparo, tiempos entre taladros, numero de taladros disparados, tipo de iniciación, ubicación del proyecto, tipo de roca, fotografías pre y post voladura.

Reportes de Fragmentación: El reporte de fragmentación contiene características del proyecto de voladura, malla, factor de portencia, tipo de roca, equipo de carguío, curva granulométrica de fragmentación, fotografías del frente de minado.

Plano geológico del próyecto de voladura: El plano geológico contiene la dureza de la roca por proyecto de voladura, la alteración geológica de los proyectos de voladura, la ubicación de los proyectos de voladura.

Base de datos de digrate de palas: Equipo de minado, polígono de minado, dureza del polígono, productividad de la pala, tipo de roca, destino del material.

Reportes Metalúrgicos del Molino SAG: la data de la producción por hora de la planta concentradora, con ello se analizan los parámetros de trabajo del chancado y los

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

TPH del molino SAG. Se muestran los parámetros de operación que afectan al molino SAG, como el porcentaje menor a 1 pulg, el tph del molino SAG, porcentaje de 2 a 4 pulg, la potencia del molino SAG y molinos de bolas y las presiones del molino SAG y molinos de bolas. Los parámetros fueron medidos cada media hora.

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1. Etapa recolección línea base

Parámetros de diseño de voladuras: Los diseños de voladura establecidos para la mina tienen las siguientes variables: altura del banco 15 m (49,21 pies), diámetro de perforación 12 ¼” (311,2 mm) y sobre-perforación 2 m (6,56 pies). La roca más competente en este caso es la roca de alteración potásica y para esta roca, el factor de carga (PF) utilizado fue de 0,31 kg / t (0,62 lb / t). Además, el tipo de iniciación de taladros de voladura en esta etapa, fue 100% pirotécnica.

Tabla 4 Parámetros de diseño de voladura de la mina

B x E (metro)	Diámetro	Tipo de Roca	Factor de Potencia (kg / t)	Longitud de carga (metro)	Taco (metro)
10,4 x 12		Serpentina			
		Hornfels	0,17	8.0	9.0
		Magnetita			
9,5 x 11	12 ¼” (311,2 mm)	Tremolita	0,20	8.5	8.5
		Fílico			
8,7 x 10		Serpentina	0,23	8.5	8.5
		Magnetita			
6,9 x 8		Potásico	0,31	9.0	8.0

3.2. Etapa de implementación de cambios en perforación y voladura

Una vez finalizada la etapa de línea base (diseños tradicionales de perforación y voladura), se han realizado nuevos cambios en los diseños de voladuras como reducción del diseño de la malla de perforación Burden x Espaciamiento (B x E). En esta etapa se usó el 100% de detonadores electrónicos en la roca potásica. Los nuevos parámetros de diseño se muestran a continuación:

Tabla 5 Nuevos parámetros de diseño de voladuras

B x E (metro)	Diámetro	Tipo de Roca	Factor de Potencia (kg / t)	Longitud de carga (metro)	Taco(m)
9,5 x 11	12 ¼” (311,2 mm)	Serpentina	0,22	9	8
		Hornfels			
		Magnetita			
9,5 x 11	12 ¼” (311,2 mm)	Tremolita	0,22	9	8
		Phylic			
6,1 x 7		Serpentina	0,54	9	8
		Magnetita			
5,2 x 6		Potasicc	0,70	10	7

Tomado de la Base de datos mina Golden SAC.

3.3.Etapa de Análisis de resultados:

Los resultados obtenidos en fragmentación se muestran en el siguiente cuadro:

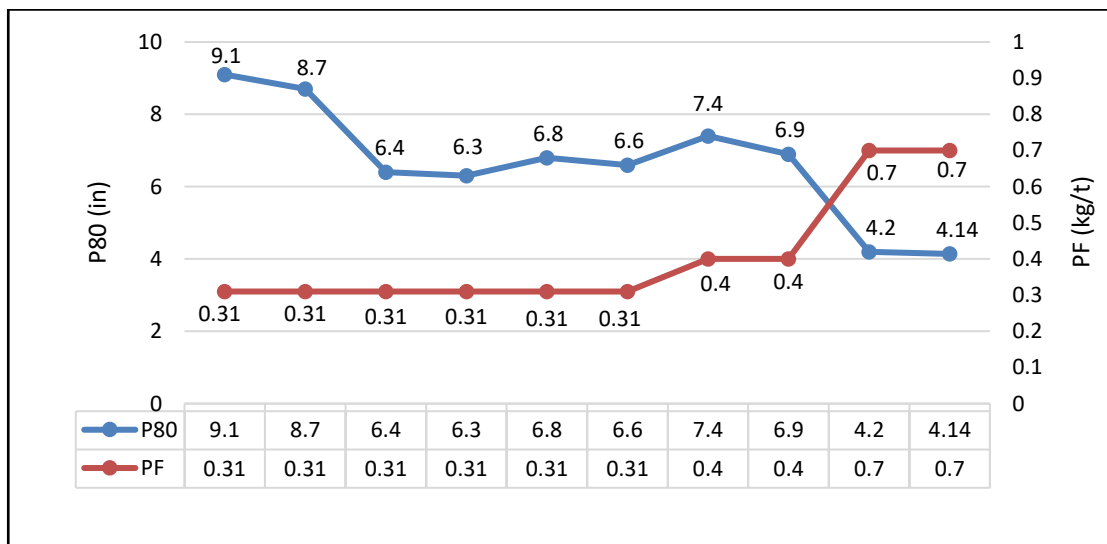


Figura 3 Fragmentación (P80) vs Factor de Potencia (PF siglas en ingles), asociado a los parámetros de Voldura usados para alteración potásica cada recuadro representa un mes de noviembre del 2016 a agosto del 2017.

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

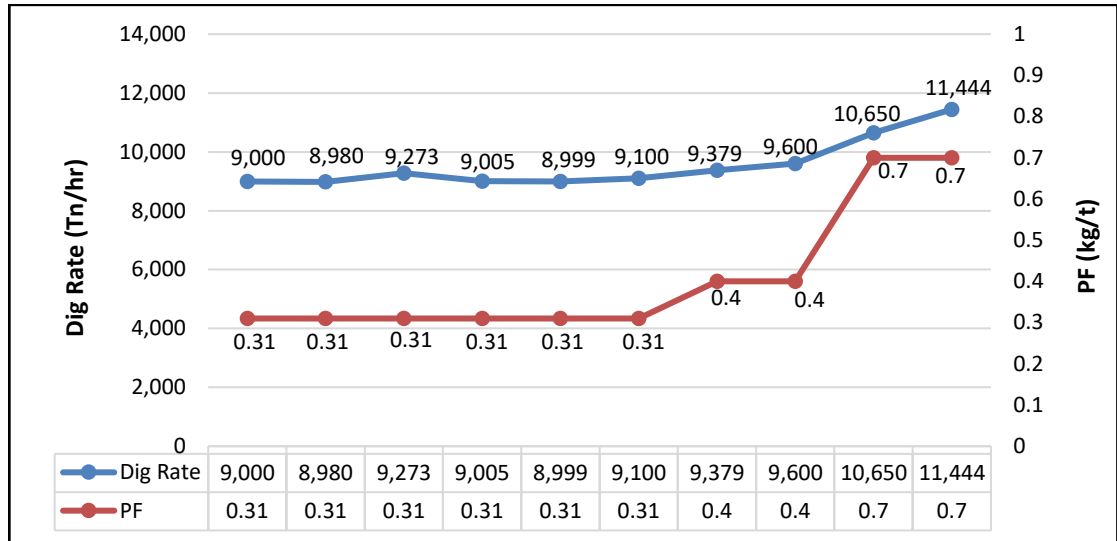


Figura 4 Tasa de excavación de la pala (digrate) vs Factor de Potencia (PF siglas en ingles), asociado a los parámetros de voladura utilizados en roca de alteración potásica. DigRate (tn / hr), P80 (in) y PF (kg / t) desde noviembre del 2016 a agosto del 2017.

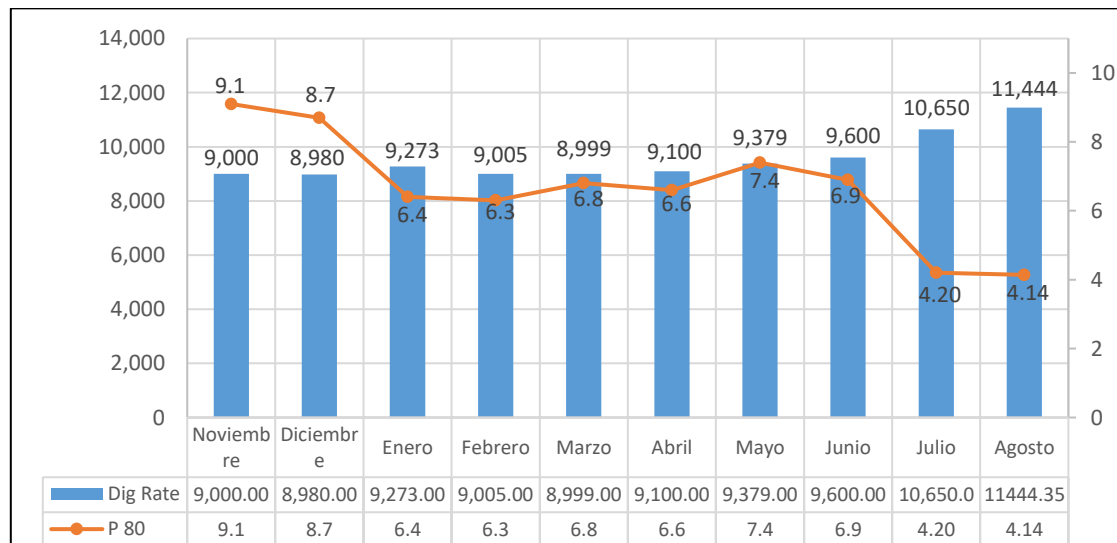


Figura 5 DigRate(tn/hr) vs Fragmentación(in) asociado a la malla de voladura en zonas de alteración Potásica y litología Granodiorita en dureza 4. Tomado de la Base de datos mina Golden SAC.

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA GOLDEN SAC”



	
<p>Malla 8.6m x 10m - Alteración potásica P-80 = 11.67plg / FP: 0,31kg/ton % < 1” = 6.8%</p>	<p>Malla 5.2m x 6m - Alteración potásica P-80 = 3plg / FP: 0.70kg/ton % < 1” = 39%</p>

Figura 6 Frentes de minado antes y despues de los cambios en los diseño de voladura para alteración potásica.

Impacto de los resultados en la planta procesadora de molinos Semiautogeno (SAG) como se puede apreciar en la Figura 7, se incrementó el porcentaje menor a una pulgada hasta un 34% y con ello, el tonelaje procesado se incrementó a 121,133 toneladas por día (TPD).

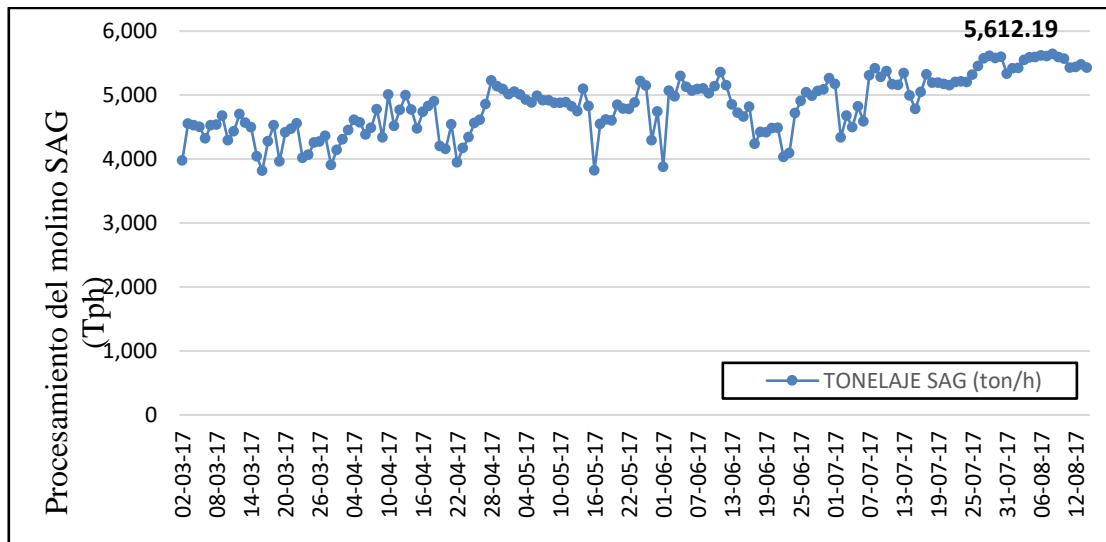


Figura 7 Procesamiento del molino SAG de Marzo a Agosto del 2017

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA GOLDEN SAC”

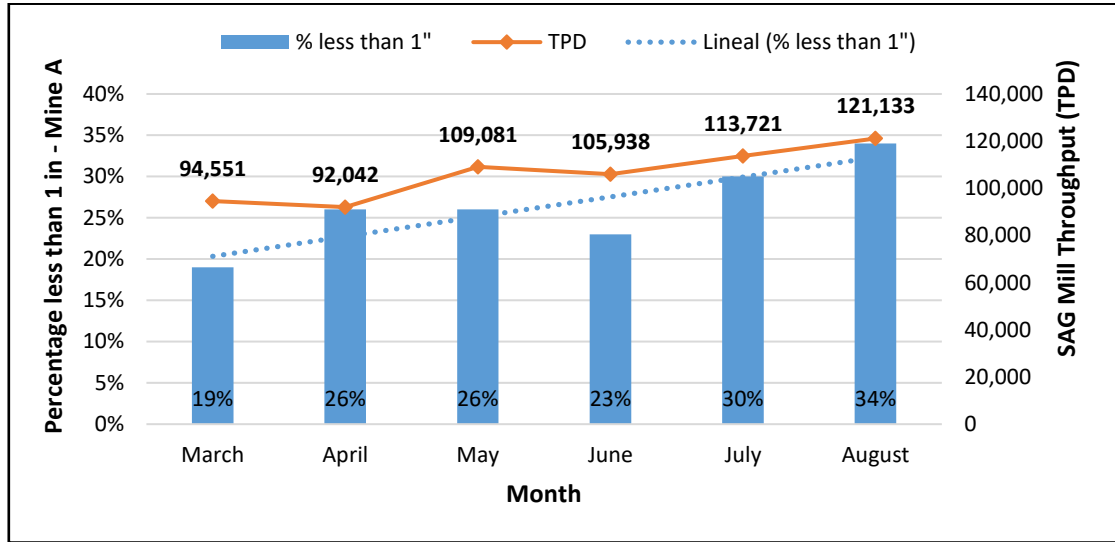


Figura 8 Gráfico de la tendencia de rendimiento del molino SAG asociado con el % menor a 1 pulgada en alteración potásica.

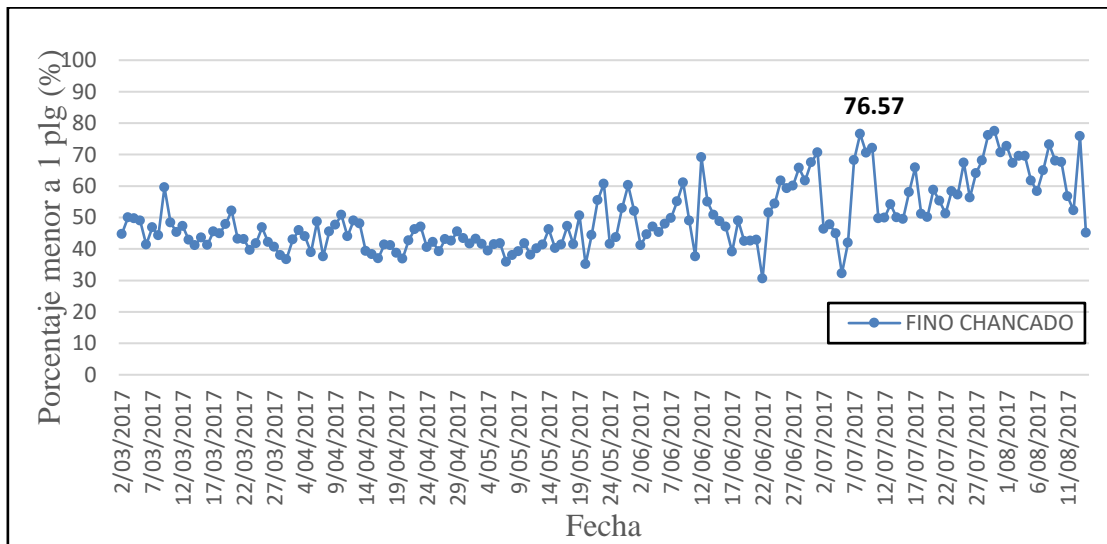


Figura 9 Fragmentación de la chancadora primaria de Marzo a Agosto

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

Otro efecto de la alimentación de finos al circuito de molienda es que se redujo el Consumo Específico de Energía (SEC). Con lo que se utilizó con mayor eficacia, el kilovatio utilizado por cada tonelada procesada se puede ver en la Figura 10 El consumo de energía en julio y agosto es menor.

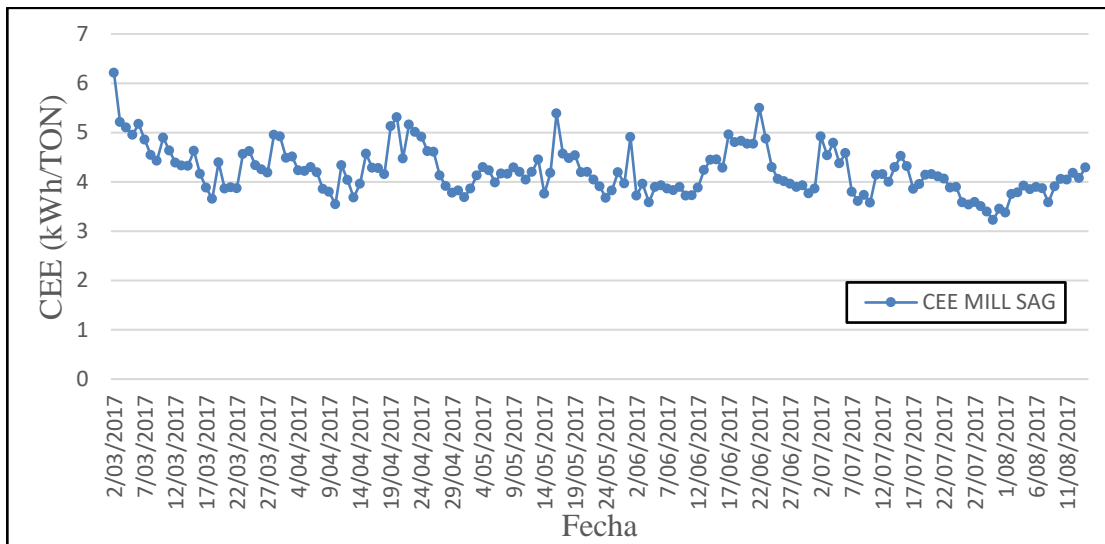


Figura 10 Consumo de energía específico del Molino SAG(CEE)

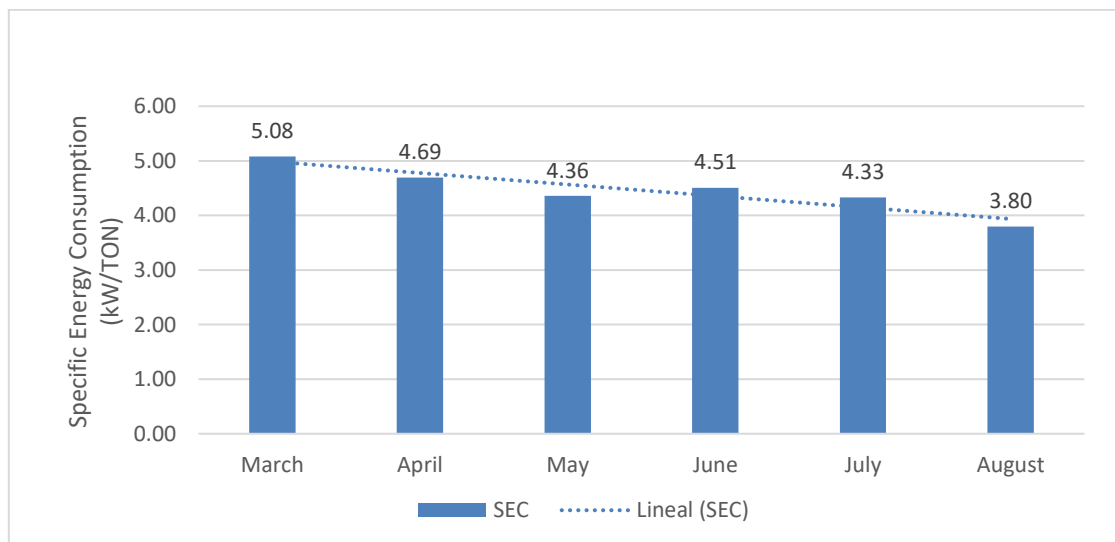


Figura 11 Gráfico de la tendencia de consumo de energía específico

Como resultado de los cambios realizados en el diseño de voladura, fue el aumento del factor de potencia (PF siglas en ingles) en la Figura 12, podemos observar en una línea de tiempo cómo el factor de potencia (PF siglas en ingles), afecta el rendimiento del SAG molino.

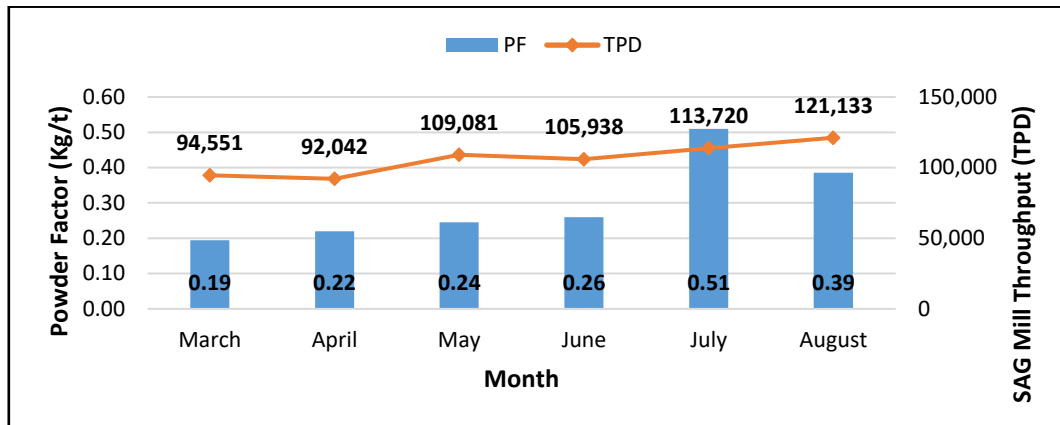


Figura 12 Gráfico del Factor de Potencia (PF siglas en ingles), frente al rendimiento del molino SAG

Un factor importante que se tomó en cuenta fue el porcentaje de alteración procesada en la planta SAG. ¿Cuál, por sus propiedades físicas, restringió el procesamiento del molino SAG, debido a la alta dureza procesada? El reto del incremento del procesamiento del material de alteración potásica ya que esta alteración es la que tiene mejor recuperación que las demás procesadas y de ahí la importancia de su proceso. En la Figura 13 podemos observar un aumento en el procesamiento del molino SAG de la alteración potásica, lo que aumenta la recuperación en ambos casos.

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

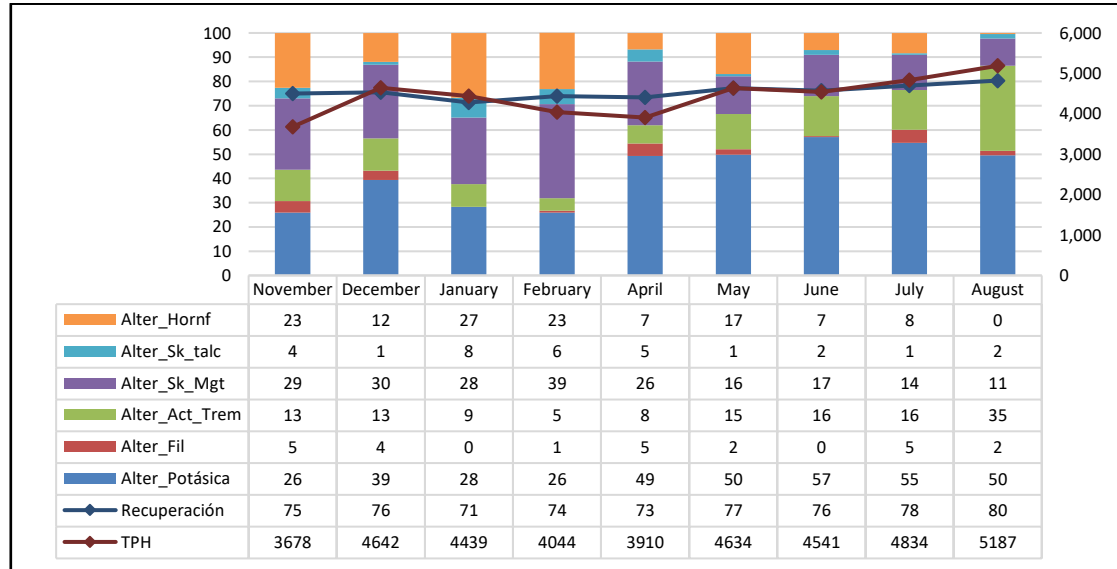


Figura 13 Gráfico de tendencia del rendimiento del molino SAG y la recuperación de Cu con respecto a la alteración procesada.

Los resultados de este estudio muestran que las voladuras de alta energía dieron como resultado una reducción del 13% en el consumo de energía específica y un aumento en el procesamiento del molino del 12%.

Tabla 6 Impacto de la Voladura en el procesamiento del molino SAG y el consumo específico de energía

	Voladura tradicional	Explosión de alta energía	
Voladura			
B x S (metros)	8,7 x 10	5,2 x 6	
Factor de Carga (kg /t)	0,23	0,45	
Molino SAG			
Rendimiento (TPH)	4.483,32	5,025	12%
Consumo energético específico (kWh / t)	4.66	4.07	13%

La optimización de una planta de procesamiento de minerales con una amplia gama de tamaños de alimento es considerablemente más complicada y desafiante en comparación

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA GOLDEN SAC”

con cuando se alimenta con un rango estrecho de material de alimentación, como se puede ver en la Figura 14, que para un P80 menor obtenemos el procesamiento máximo en toneladas por hora (TPH) y el consumo mínimo de energía específica en kilovatios por tonelada procesada.

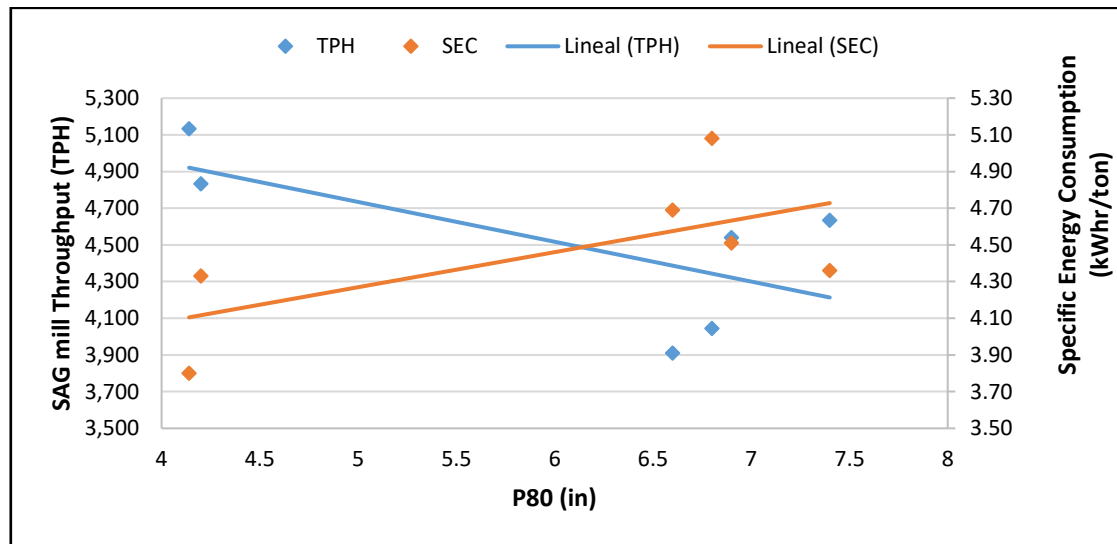


Figura 14 Tendencia de procesamiento del molino SAG y consumo de energía específica según el P80 enviado desde la mina.

Costos Incurridos en voladura: Voladura dispone de un presupuesto mensual de costo unitario de 0.11 US\$/ton, sin embargo, con la finalidad de optimizar la fragmentación en la roca más competente, la inversión realizada en voladura asciende a 0.19 US\$/ton para Julio y 0.17 US\$/ton para agosto .

Lo que se debió invertir: Considerando un presupuesto de 0.11US\$/ton, el monto asignado para julio y agosto del 2017 debió ser de 442,230 US\$ y 742,303 US\$. Sin embargo, el monto total empleado fue de 778,828 US\$ para julio y 1'138,315 US\$ para agosto del 2017. Por lo tanto, lo adicional invertido en perforación y voladura haciende a un monto de 732,611 US\$, teniendo como promedio mensual un monto de 366,305 US\$.

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

Tabla 7 Análisis de costos de voladura durante los meses que se efectuaron los cambios

CONCEPTO	JULIO	AGOSTO
<i>Lo que se invirtió</i>	\$778,828	\$1,138,315
<i>Lo que se debió invertir</i>	\$442,230	\$742,303
<i>Excedente</i>	\$336,598	\$396,013
Total	\$732,611	\$732,611
Prom/mes	\$366,305	\$366,305

Tabla 8 Análisis económico para el cálculo del beneficio total por mayor venta de concentrado.

Análisis económico	DISEÑO INICIAL	DISEÑO FINAL
Description		
TONELAJE POR HORA	4,483	5,025
Ore milled (t)	107,600	120,610
Productivity		
Cu (%)	0.550	0.550
Mo (%)		
Ag (g/t)		
As (%)		
Cu Recovery - TOTAL PLANTA	76.00	76.00
Ag Recovery		
Cu fines		
Copper Concentrate (t)	2,367	2,653
Cu (%)	19.00%	19.00%
Ag (g/t)	150.00	150.00
As (%)	0.65	0.65
Zn (%)	2.20	2.20
F (ppm)	1100.00	1100.00
MgO (%)	5.50	5.50
Cu US\$/MT	6,400.00	6,400.00
Ag US\$/Oz.	17.00	17.00
Total Sales US\$	2,080,882	2,332,496
		251,614
		7,548,424

CAPITULO IV

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

A partir de este estudio también es posible calcular el beneficio económico en el carguío, ya que un material mejor fragmentado permite que la capacidad de carga de los camiones sea mayor, esto reduce el número de viajes o incrementa la productividad de los equipos reduciendo finalmente los costos unitarios del equipo.

Es importante indicar que se puede ampliar el estudio al cálculo del beneficio por menor desgaste de los componentes de las palas (cables, uñas, gets) debido a que tener un frente de minado con una mejor granulometría (no frentes duros) reduce el esfuerzo de los cables de las palas, reduce además el tiempo de desgaste de las palas.

Este estudio puede aplicarse también a buscar un diseño de voladura óptimo para el tipo de roca Horflens ya que es una roca que presenta una fragmentación tipo de lámina, este tipo de fragmentos le resta productividad al del molino SAG.

El estudio puede ser aplicado por un mayor periodo de tiempo para analizar el beneficio en planta cuando el blending del material de enviado a planta sea distinto.

Para estudios adicionales se puede determinar inclusive el porcentaje máximo de roca potásica que debe ser alimentado a planta para no afectar el rendimiento del molino SAG.

4.2. Conclusiones

Observando las figuras 3 y 4 podemos apreciar como modificar la malla, es decir reducir el burden y espaciamiento, permite que la energía que fragmenta la roca entre taladro y taladro sea mayor obteniendo como resultado partículas más finas. El P80 se redujo en un 18% de 9.1in a 7.4 in. Además, producto de tener un frente de minado más suelto y mejor fragmentado la productividad de las palas se incrementó en 4%.

Observando las figuras 3 y 4 podemos apreciar como incremento del factor de potencia de 0.4 a 0.7 kg/tn lo cual permitió tener una fragmentación homogénea a lo largo de toda la columna del taladro eliminando el material grueso en la zona del taco. El p80 se redujo en 4.3% (de 7.4 pulg a 4.2 pulg), además incrementar la productividad de las palas en 13% (de 9379 tn/hr a 10650tn/hr).

En la figura 3 y 4 figuras 3 y 4 podemos apreciar utilizar detonadores electrónicos permite eliminar la dispersión de tiempos reducir el tiempo entre taladros por lo que las ondas entre taladro y taladro se encuentran en menor tiempo favoreciendo la fragmentación de la roca. La productividad de las palas se incrementó en 7.4% de 10,650 a 11,444 tn/hr.

Finalmente podemos concluir que, modificando la malla, incrementando el factor de potencia y utilizando detonadores electrónicos se logró reducir el p80 en 42%, la productividad de las palas en 21% como se muestra en las figuras 3y 4, así mismo se obtiene un incremento del procesamiento del molino SAG de 12%, así mismo una reducción del CEE del 13%.

Luego de realizar una estimación de costo-beneficio en los procesos, se obtiene que a partir de una inversión promedio de US \$ 366,305 el cual ha sido empleado para realizar cambios en los diseños de perforación y voladura a fin de optimizar la fragmentación en la

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

zona más competente de la mina, litología granodiorita y alteración potásica. Estas mejoras en el procesamiento se traducen en mayor producción en toneladas de concentrado de Cobre, que finalmente se traduce en un beneficio económico por mayor venta de toneladas secas de concentrado de 7.5 millones de dólares (antes de impuestos) por mes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hernández, R., Fernández, C., & Batista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Ávila Indo, M. A. (2019). *Desarrollo de guía de mejores prácticas en estimación de recursos mineros para yacimientos tipo pórfido cuprífero en Chile*. Santiago de Chile, Chile.
- Torres, C. A. (2006). *Metodología de la investigación*. Mexico: Pearson Educacion.
- Servicios Técnicos Orica. (2008). *Libro Voladura Segura y Eficiente para Minería a Tajo Abierto*.
- Kojovich, N. P. (2001). Adjusting Blasting to Increase SAG Mill Throughput at the Red Dog Mine. *International Society of Explosives Engineers* , 1, 17.
- Rocha, M., Fernandez, F., Fuentealba, R., Rodriguez, C., & Bobo, T. a. (2014). Blast Desings to Achieve a Plant Tonnage Goal in a New Mine. *International Society of Explosives Engineers*.
- Rybinski, E., Gheri, J., Davila, F., Linares, J., Valery, W., Jancovic, A., & Valle, R. a. (2011). Otimisation and Continuous Improvement of Antamina Conminution Circuit.
- Jankovic, A., Diaz, R., Mamani, H., Valle, R., & Duffy, K. a. (2015). Diagnosis of Process Health, Its Treatment and Improvement to Maximise Plant Throughput at Gold Fields Cerro Corona. *SAG 2015 International Conference on Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology*. Vancouver.

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

Pacheco, D. (2013). *Voladuras de alta Intensidad y su Influencia en el Chancado y*

Molienda del Pórfido Cuprífero de Cerro Verde. Tesis, Universidad Nacional de
San Agustín de Arequipa, Arequipa.

Morote, A., Vega, R., & Pareja, M. (2019). *Beneficios y Desafíos de la Gestión Integrada
Mina Planta*. Tesis Maestría, Escuela de Postgrado Gerens, Lima.

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA GOLDEN SAC”

ANEXO I

Tabla 9 Base de datos Molienda SAG

Table with columns: INICIO, FINAL, SPLIT ONLINE FAJA N° 1 MOLENDA (<1'', 2''-3'', 3''-4'', >4''), SAG TPH, PEBBLES TPH, POTENCIA (CHP kW, SAG MW), VELOCIDAD (SAG RPM), PRESION DE LOS PADS (SAG-A kPa, SAG-D kPa), and CHP TPH. Rows show various processing parameters over time from 04-abr-17 00:00:00 to 04-abr-17 14:00:00.

Nota. Tomado de la “Base de datos” proporcionado por el área de Planta de Golden SAC.

Tabla 10 Base de datos de Voladura

Table with columns: MES, FECHA DE ANALISIS, PALA, FECHA DE VOLADURA, UBICACIÓN, PROYECTO, DIAMETRO, B, E, ALTURA BANCO, SUBRUBILO, LONGITU O CARGA (M), LONGITU O TACD, TIPO, MEZCLA, TOTAL ALTAIR DS, FC, TONELAR E (TN), CARGA TOTAL (KG), NITRATO, EMULSION, DISEL, INDICACIÓN, SECUENCIA DE SALIDA, TIEMPO ENTRE PLAN, and TIEMPO ENTRE PALABROS. Rows include detailed data for months like DIC, ENE, FEB, MAR, ABR, and MAY, showing various blasting parameters and results.

Nota. Tomado de la “Base de datos” proporcionado por el área de Perforación y Voladura de Golden SAC..

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

Tabla 11 Caracterización geológica del polígono

POLYGON	Quartz	Pyrite	Chalcopyrite	Digenite	Sphalerite	Molybdenite	Talc	Diopside	Lizardite	Antigorite	Tremolite	Actinolite	Phlogopite	Biotite	Orthoclase	Muscovite
4620-01086	6.25%	3.17%	1.05%	2.30%	2.78%	0.06%	18.43%	5.37%	1.10%	8.06%	10.57%	2.71%	19.39%	5.35%		
4620-01085	0.80%	3.44%	1.19%	1.75%			7.45%	4.47%	1.15%	14.04%	2.28%	16.53%	12.88%	17.71%	19.75%	
4620-01084	9.03%	3.61%	1.21%	3.34%		0.07%	9.82%	1.80%		12.37%	10.10%	8.20%	11.94%	8.67%	12.77%	
4620-01075	29.63%	2.31%	0.48%	2.89%	0.55%		0.73%	1.25%			11.61%			13.07%		9.29%
4620-01072	12.14%	8.02%	0.94%	1.44%			4.39%	4.80%		8.64%	19.64%	5.44%	24.10%	3.97%		
4635-01117	3.66%	0.10%	1.27%		3.71%		15.73%	1.80%		6.85%	35.17%		0.02%	13.44%		
4635-01149	4.68%	4.37%					16.87%	2.02%	1.94%	18.71%	13.12%	14.10%	13.99%	1.28%		
4635-01148	6.15%	4.30%	4.24%				7.59%	0.71%	1.98%	15.29%	24.16%	2.12%	16.34%			6.80%
4635-01147	6.04%	5.05%					15.99%		1.51%	12.48%	7.40%	27.02%	17.95%	1.96%		
4635-01146	0.76%	6.21%	1.31%				17.28%		0.94%	20.55%	3.54%	19.57%	21.88%	4.08%		
4635-01145	17.01%	0.21%			3.93%		19.00%		3.23%	11.75%	9.30%	4.44%	20.30%	2.21%		
4635-01144	14.26%	3.17%					7.74%	2.18%	1.86%	10.83%	25.33%		22.14%			
4635-01143	5.27%	4.21%	1.01%				12.27%	6.19%	3.09%	8.87%	13.39%		17.19%			
4635-01140	14.28%	4.14%	1.49%				5.71%	2.12%		15.75%	2.79%	24.76%	13.59%			
4635-01139	37.50%	1.30%			0.96%		4.66%				4.10%	4.58%		15.76%	16.38%	13.54%
4635-01138	44.34%	1.47%	0.43%											17.15%	27.97%	8.64%
4635-01119	5.23%	3.30%					11.02%	4.57%	2.95%	10.81%		16.83%	20.90%	5.38%		5.74%
4635-01118	3.98%	4.00%	1.21%	2.29%	3.18%		13.99%	0.96%		20.98%	8.83%		2.27%	23.34%		
4635-01117	3.66%	0.10%	1.27%		3.71%		15.73%	1.80%		15.77%	12.59%		0.00%	13.44%		
4635-01116	13.70%	8.88%					17.05%	6.21%		13.77%	12.59%		14.91%			
4635-01115	31.62%	4.74%					6.74%					25.59%	17.04%	8.99%		
4635-01114	46.45%	4.18%			2.56%		1.54%	7.42%				12.01%	21.51%			
4635-01101	31.72%	4.53%					19.92%			10.02%		8.86%	20.49%	14.89%		1.84%
4635-01100	14.60%	4.97%					16.43%		9.15%		22.33%	29.40%	8.95%			
4635-01099	4.62%	6.10%					18.43%					19.27%	1.77%			
4635-01160	11.79%	4.68%	1.28%			0.03%	10.71%	6.90%		5.34%	10.09%	18.91%	10.77%	1.47%		
4635-01171	4.37%	5.48%	1.25%				13.14%	9.36%	1.52%	7.98%	2.21%	22.94%	10.02%	0.80%		
4635-01162	8.79%	4.16%	1.08%	1.73%	1.56%		13.46%	4.270%		16.65%	12.43%	5.58%	8.73%	1.25%		
4635-01163	4.93%	0.82%	1.10%		2.91%		10.38%	8.51%	0.43%	14.53%	23.06%	3.44%	7.37%	0.92%		
4650-01176	6.39%	2.50%					19.47%	6.23%	5.15%	16.23%	12.65%	4.49%	4.49%	2.47%		
4650-01184	7.97%	1.14%					12.67%	6.99%	1.60%	11.08%	13.25%	7.31%	13.28%			
4650-01182	1.32%				1.81%		18.39%	2.29%	2.20%	20.20%	13.65%	14.51%	18.56%	2.71%		
4650-01177	13.32%	2.60%					4.47%	1.20%	6.65%	21.21%			16.24%			
4650-01175	8.87%						18.43%		9.79%	19.60%	12.01%	2.50%				
4650-01176	3.61%	2.41%					9.17%	4.94%	1.05%	21.14%	13.38%	4.72%	10.33%			
4650-01174	9.47%	0.00%			3.43%		9.49%	1.73%	1.34%	16.36%	16.25%	15.53%	17.11%			
4650-01165	17.16%	1.32%			2.76%		11.82%	3.15%		17.94%	14.45%	13.42%	9.62%			
4650-01163	23.72%	4.61%	1.44%							7.17%	26.95%			28.06%		
4650-01162	7.15%	11.45%	1.29%	2.20%			8.16%			10.76%	28.70%			18.46%		
4650-01159	10.01%	3.51%	3.43%				13.69%	0.76%	7.07%	24.16%	10.78%		0.62%	19.81%		
4650-01181	45.16%	2.26%	0.93%				1.71%	2.19%		6.75%	19.57%			14.73%		
4650-01214	37.88%	7.96%	1.12%				2.00%	0.76%	3.69%		9.01%			9.07%	14.32%	14.20%
4650-01203	39.44%	10.71%	1.13%				2.33%	3.84%	6.70%		3.90%	14.65%	24.09%			21.30%
4650-01215	24.28%	13.94%	2.58%				6.19%	4.91%	5.02%		5.36%			18.81%	5.05%	
4650-01213	36.36%	8.93%	2.18%				7.68%	2.33%			1.57%	1.42%	13.59%	16.57%	17.28%	
4650-01217	24.62%	4.11%	1.09%	2.84%			1.69%	0.63%			5.60%	6.43%	19.53%	17.58%	9.77%	
4650-01218	21.05%	4.52%	2.27%	0.17%		0.17%	1.69%	0.63%			5.60%	6.43%	19.53%	17.58%	9.77%	
4650-01216	41.61%	4.01%	0.76%	3.66%		0.05%	1.66%						15.27%	21.35%	10.94%	
4650-01219	27.41%	6.11%	1.10%	2.94%			1.74%				3.39%	1.98%	15.60%	19.59%	16.20%	
4635-01181	4.8%	3.72%	0.82%	1.72%	1.37%	0.00%	3.59%	3.87%	1.04%	6.36%	3.20%	2.82%	1.69%	7.53%	7.78%	2.48%
4635-01180	3.08%	4.42%	1.89%	2.84%	3.18%	0.00%	15.86%		0.69%	10.27%	5.05%	8.72%	9.42%	13.72%		

Nota. Tomado de la “Base de datos” proporcionado por el área de Geología de Golden SAC.

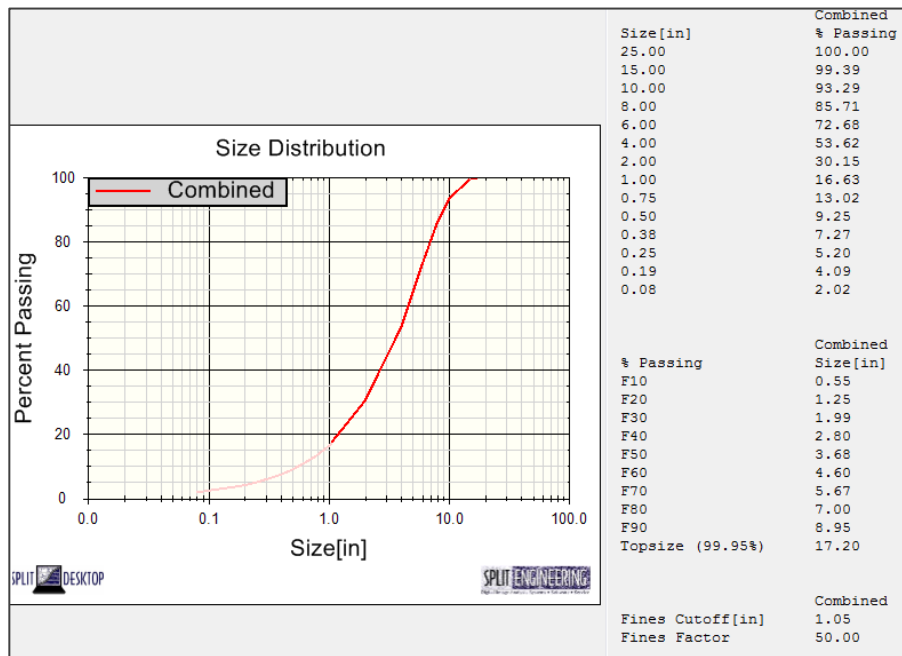


Figura 15 Reporte de fragmentación: Curva Granulométrica

Nota. Tomado de la “Reporte de fragmentación” proporcionado por el área de Voladura de Golden SAC.

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

Tabla 12 Reporte del total de velduras del mes

Project	Type	Date	#Holes	Tonnage	Nitrato8e8 Amonio8(Kg)	Emulsion8 Estandar8(Kg)	Emulsion8 Gasificada8 (Kg)	Diesel8(Kg)	Total	Powder	Blasting	Unit
	Project								Explosive8 (kg)	Factor8 (kg/Tn)	Cost8(USD\$)	Cost(USD\$/T n)
4635_01039	PRIMARIO	27/11/16	132	452,856.89	44,370.00	30,418.00		2,832.00	77,620.00	0.17	34,543.90	0.08
4650_01058	PRIMARIO	27/11/16	184	358,363.28	37,575.00	35,551.00		2,541.00	75,667.00	0.21	34,058.50	0.1
4650_01060	PRIMARIO	30/11/16	217	712,162.62	63,719.87	44,366.60		4,067.22	112,153.70	0.16	49,736.50	0.07
4620_01027	PRIMARIO	2/12/16	193	514,268.95	80,014.68	52,544.00		5,107.32	137,666.00	0.27	60,363.30	0.12
4620_01028	PRIMARIO	2/12/16	309	811,361.30	124,511.59	85,358.40		7,591.61	217,461.60	0.27	94,652.90	0.12
4635_01043	PRIMARIO	4/12/16	129	621,939.83	66,764.99	59,133.50		3,832.41	129,730.90	0.21	55,740.30	0.09
4620_01029	PRIMARIO	6/12/16	178	587,750.40	71,719.18	66,802.00		4,577.82	143,099.00	0.24	61,907.60	0.11
4635_01044	PRIMARIO	10/12/16	108	630,762.39	31,101.00	35,873.00		1,962.00	68,936.00	0.11	29,800.90	0.05
4635_01045	PRIMARIO	10/12/16	120	611,686.57	67,958.00	80,160.00		4,064.00	152,182.00	0.25	65,122.20	0.11
4635_01046	PRIMARIO	10/12/16	72	287,519.51	39,313.00	29,606.00		2,509.00	71,428.00	0.25	31,213.40	0.11
4635_01041	PRIMARIO	11/12/16	162	326,124.47	57,714.00	46,854.00		3,684.00	108,252.00	0.33	47,340.20	0.15
4650_01061	PRIMARIO	11/12/16	188	601,365.37	63,058.00	61,377.00		4,025.00	128,460.00	0.21	56,050.50	0.09
4620_01030	PRIMARIO	15/12/16	120	384,412.50	48,056.03	36,778.80		3,121.09	87,955.90	0.23	38,387.60	0.1
4650_01052	PRIMARIO	16/12/16	195	809,178.30	79,139.23	51,589.80		5,023.27	135,752.30	0.17	59,504.60	0.07
4620_01026	PRIMARIO	18/12/16	151	507,877.76	68,860.59	46,401.40		4,126.05	119,388.00	0.24	51,936.20	0.1
4635_01047	PRIMARIO	18/12/16	242	775,666.81	56,329.82	34,503.35		3,966.42	94,799.60	0.12	43,189.70	0.06
4620_01032	PRIMARIO	20/12/16	109	326,468.32	50,177.00	39,052.00		3,203.00	92,432.00	0.28	40,046.80	0.12
4620_01031	PRIMARIO	22/12/16	195	574,980.00	92,452.00	50,905.00		5,646.00	149,003.00	0.26	65,229.00	0.11
4635_01048	PRIMARIO	23/12/16	147	441,168.75	45,370.00	29,626.00		2,442.00	77,438.00	0.18	33,985.20	0.08
4620_01033	PRIMARIO	26/12/16	92	297,375.00	31,169.94	34,337.00		2,656.19	68,163.10	0.23	29,740.40	0.1
4620_01034	PRIMARIO	26/12/16	98	356,545.50	41,820.53	29,199.20		2,726.10	73,745.80	0.21	32,169.40	0.09
4650_01054	PRIMARIO	26/12/16	245	540,368.10	90,882.50	63,629.10		5,743.52	160,255.10	0.3	70,265.60	0.13
4620_01035	PRIMARIO	29/12/16	86	265,032.00	34,154.93	26,286.80		2,290.39	62,732.10	0.24	27,382.80	0.1
4650_01059	PRIMARIO	29/12/16	156	623,625.00	61,816.56	35,510.00		3,805.20	101,131.80	0.16	44,560.50	0.07
4650_01062	PRIMARIO	29/12/16	169	605,561.40	51,811.71	33,670.20		3,524.23	89,006.10	0.15	39,693.50	0.07

Análisis Estadístico base de datos planta

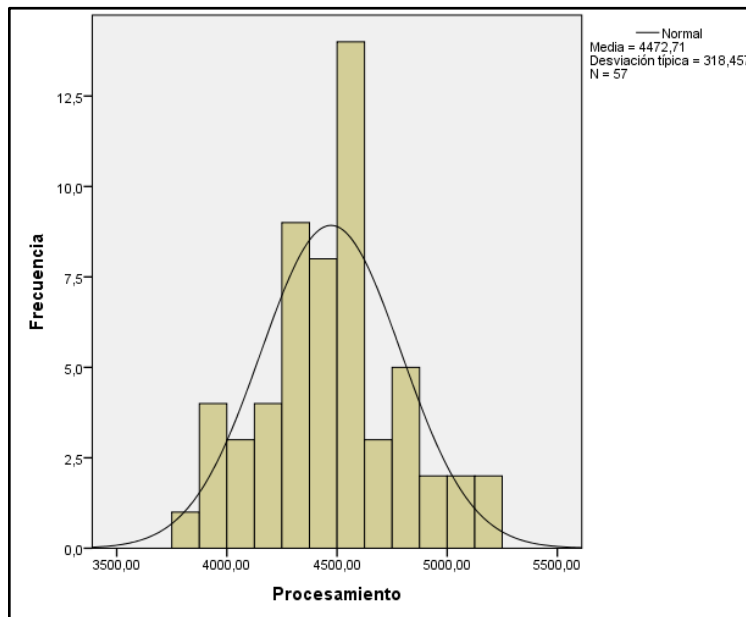


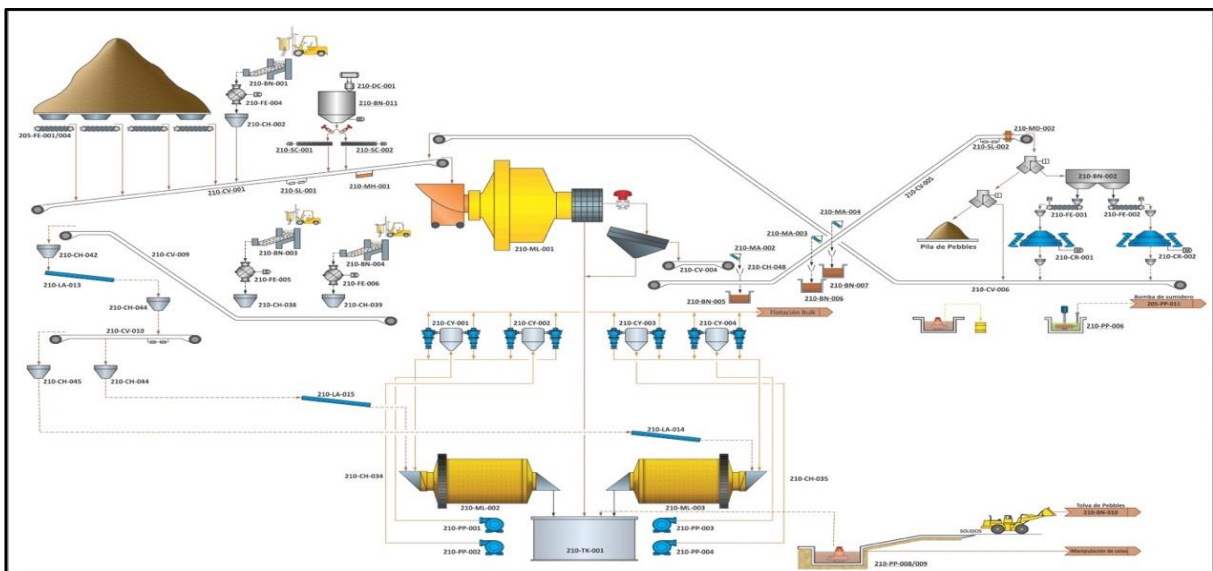
Figura 16 Histograma del tonelaje por hora del molino SAG, con una confiabilidad del 95%

Tabla 13 Desviaciones Estandar de los parámetros del periodo julio agosto

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DOWNSTREAM
MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA MALLA, EL
INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA Y EL USO DE
DETONADORES ELECTRÓNICOS EN LA EMPRESA MINERA
GOLDEN SAC”

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS			
	Media	Desviación típica	N° del análisis
Granodiorita	57,904,054	152,815,989	57
Skarn	27,855,104	187,993,762	57
Hornfels	10,132,953	81,735,207	57
Dureza	28,985	,32727	57
Potencia	207,319	114,491	57
Presión	74,530,915	6,820,070	57
Procesamiento	51,575,320	40,664,135	57
Porc. Menor a 1 pulg	621,901	660,345	57

Tabla 14 Diagrama de Flujo del circuito de molienda de la mina Golden SAC



Tomado de los archivos de Planta de procesos de Golden SAC.