

Impacto del uso de explosivos energéticos en los procesos de mina y planta en Compañía Minera Antapaccay.

Ronald Rojas García¹, Andrés Miranda Espinoza²

¹ Superintendente de P&V, Campamento Tintaya, Espinar, Cusco, Perú (ronald.rojas@glencore.com.pe)

² Gerente de mina, Campamento Tintaya, Espinar, Cusco, Perú (andres.miranda@glencore.com.pe)

RESUMEN

El presente estudio surge del desafío de Compañía minera Antapaccay por procesar 40M t de mineral el año 2021, el 62% del material tendría como origen a minerales del Tajo Norte con valores de Axb de 25-35.

En los años 2018 y 2019 los minerales del Tajo Norte tuvieron impacto en el tonelaje procesado debido a su bajo Axb que afectó los resultados de fragmentación en la voladura con 35.8% finos < 1 pulg.

| | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| Molido (t) | 36.9M | 38.9M | 39.2M |
| % alimentación Tajo Norte | 70% | 40% | 11% |

Se identificó que, para lograr el objetivo deseado, era necesario invertir en voladura, a fin de obtener mejoras en la fragmentación que conllevaría a incrementar el tratamiento de mineral en la planta y los rendimientos de los equipos de carguío.

Para ello, en el periodo correspondiente entre los meses de Abril y Diciembre 2021 se inicia el uso de un explosivo con mejor nivel de energía y la metodología Mine to Mill que impactaron significativamente en la eficiencia de la molienda y demás procesos aguas abajo (carguío y acarreo) que nos permitieron alcanzar el objetivo.

Para este estudio se procesó la información de cada área (Mina, Planeamiento mina, Geología, Geotécnica y Planta concentradora), considerando las variables que van desde la etapa de perforación hasta el circuito de molienda. Un aspecto importante en el presente estudio fue validar la influencia de variables de dominio litológico y competencias de la roca, que da lugar a diferentes distribuciones de mineral desde duro hasta blando.

La inversión adicional en un explosivo más energético permitió incrementar el porcentaje de finos dentro de

la fragmentación de mineral (48% menor a 1”) y alcanzar el objetivo de los 40M t procesadas.

Entre los meses de Abril a Diciembre, el promedio de procesamiento diario (TPD) pasó de 93,100 t/d a 95,643 t/d por efecto de una mejor fragmentación y con esto logramos procesar 330,159 t por encima de lo logrado el año 2020, este tonelaje generó un beneficio de 4.8 M US\$.

1. Introducción

El objetivo de cualquier negocio es buscar la máxima rentabilidad de la organización mediante la optimización del uso de los recursos, los procesos y la aplicación de nuevas tecnologías. La metodología Mine to Mill contempla que con inversión en la voladura para mejorar la fragmentación se logra incrementar el tonelaje procesado en planta y con ello se genera un mayor beneficio para la empresa (Morote, Vega, Pareja, 2017).

Para lograr los objetivos específicos se conformó un equipo multidisciplinario con las áreas de Mina, Planta, Geología, Planeamiento mina y Administración Dispatch, de tal manera que permitiera realizar un seguimiento en tiempo real al performance de la molienda y relacionarlo con las características del mineral que se enviaba desde mina hacia el proceso de planta.

Se generó un reporte que integraba información de Dispatch, Planta y Modelos Geológicos, esto nos permitió tener visibilidad de todas las variables que influenciaban en el performance de la molienda (Axb, origen del mineral, gestión de ruma, nivel de fragmentación); el seguimiento de estas variables nos permitió entender su influencia en el comportamiento de la molienda y poder implementar planes de acción que permitan controlar su variabilidad y establecer estándares dentro de nuestras practicas operativas.

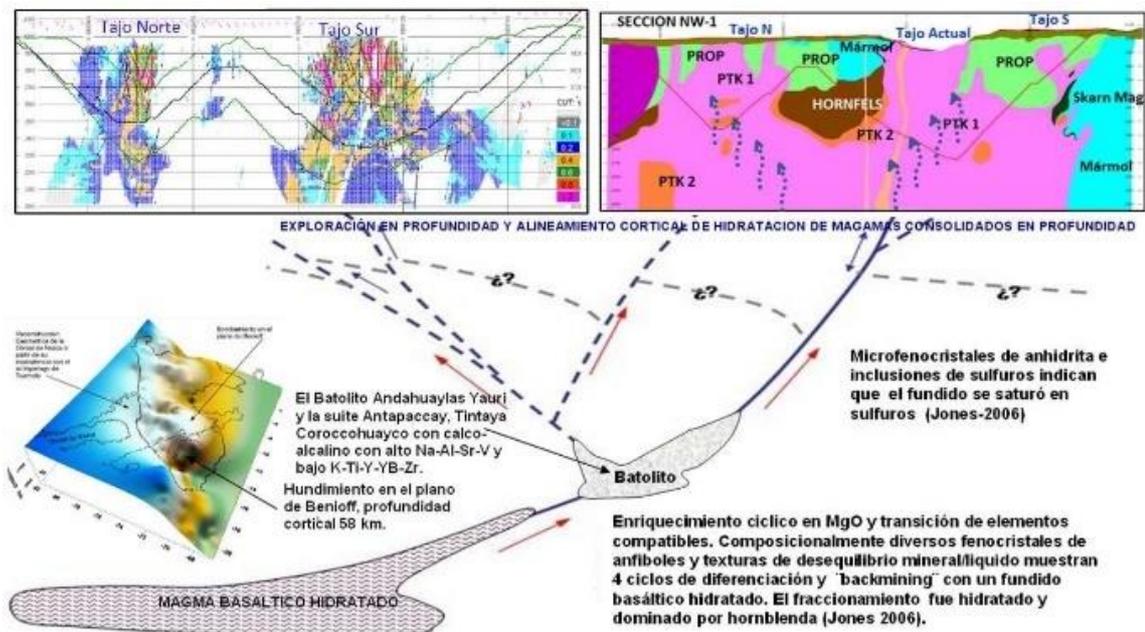
1.1. Descripción General

Antapaccay corresponde a un depósito tipo pórfido de Cu, con valores marginales de Ag y Au, la mineralización de cobre se encuentra diseminada y en venillas hospedada en monzonitas y diorita; al contacto con las rocas sedimentarias cretácicas calcáreas formaron cuerpos irregulares de skarn, y stockwork en hornfels y cuarcitas conteniendo valores de cobre, pero estos representan un componente menor de todos los recursos.

Se han diferenciado dos sectores denominados:

- 1) Antapaccay Norte (Tajo Norte) con 300 x400 m. ligeramente elongado en dirección NW-SE.
- 2) Antapaccay Sur (Tajo Sur) siendo el más extenso con 1,300 x 250 a 430 m en dirección NW- SE.

[Figura 1. Origen y tipo yacimiento – Distrito minero de Tintaya – Génesis de Antapaccay]



2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Incrementar la tasa de procesamiento para alcanzar 40 M t en el año 2021.

2.2. Objetivos específicos

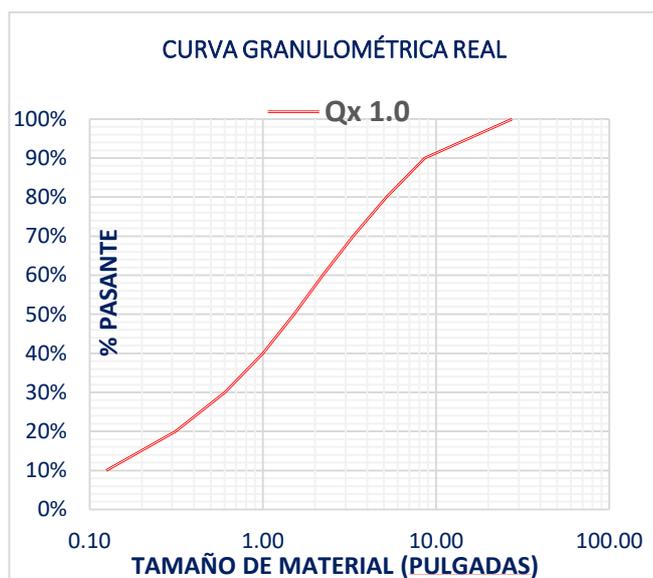
2.2.1. Mejorar la fragmentación en las zonas de mineral hasta niveles de finos de 50% < 1 pulg.

La medición de la fragmentación de la roca se realizó en los frentes de minado de mineral volado a través del PORTAMETRIC y dentro del proceso de Planta a través del sistema SPLIT online en los siguientes puntos:

- ✓ Split 1: Descarga camiones CHP.
- ✓ Split 2: Faja N° 1 (salida de CHP)
- ✓ Split 3: Apron Feeder 005
- ✓ Split 4: Apron Feeder 006
- ✓ Split 5: Apron Feeder 007
- ✓ Split 6: Apron Feeder 008
- ✓ Split 7: Faja N°5 (antes molinos)

Al inicio del estudio, el promedio de finos en la faja 5 fue 35.8% < 1 pulg.

[Gráfico 1. Curva granulométrica línea base]



2.2.2. Incrementar el procesamiento en molino SAG

Al inicio del estudio, el promedio diario de procesamiento del molino SAG era de 93,100 t.

El logro de este objetivo iba a estar directamente relacionado a la mejora de fragmentación.

2.2.3. Incrementar el dig rate de los equipos carguío

El dig rate es la velocidad de excavación de los equipos de carguío que se obtiene a partir de información del sistema Dispatch y que considera las variables: tonelaje total cargado y tiempo efectivo de carguío.

Este KPI está relacionado directamente con la eficiencia de la pala para cargar un material quebrado por lo que una mejor fragmentación incrementa la velocidad del carguío.

$$\text{DIGRate} = \text{NOMINAL DE CAMIÓN} / \text{T DE CARGA}$$

Al inicio del estudio, el dig rate en zonas de mineral de las palas CAT 7495 era 9,000 t/hr y palas P&H 2800: 6,247 t/hr.

3. Etapas del estudio

3.1. Análisis de la situación actual – Línea base

El objetivo de esta etapa fue (1) establecer una línea base con los parámetros de voladura que se venían

empleando y (2) establecer una línea base del procedimiento y parámetros de operación del circuito de chancado y molienda en la planta de procesos.

Para esto, se solicitó a las áreas de interés determinar las condiciones en las que se venía operando, se hizo la recolección de información proveniente de distintas áreas y con ello tener la claridad del estatus de los distintos KPI's de este estudio.

Mina:

- ✓ % finos < 1 pulg. (fragmentación)
- ✓ Mallas de perforación.
- ✓ Diseño de voladura.
- ✓ Mezcla explosiva.

La línea base de los diseños de voladura y sus resultados provenían de los que se venían aplicando en el Tajo Sur, donde la roca presenta valores de Axb mayores a 40.

Geología:

- ✓ Modelo Axb.
- ✓ Modelo litológico.

La información requerida al área de Geología nos serviría para zonificar la zona mineralizada considerando el parámetro Axb.

Planeamiento/Administración Dispatch:

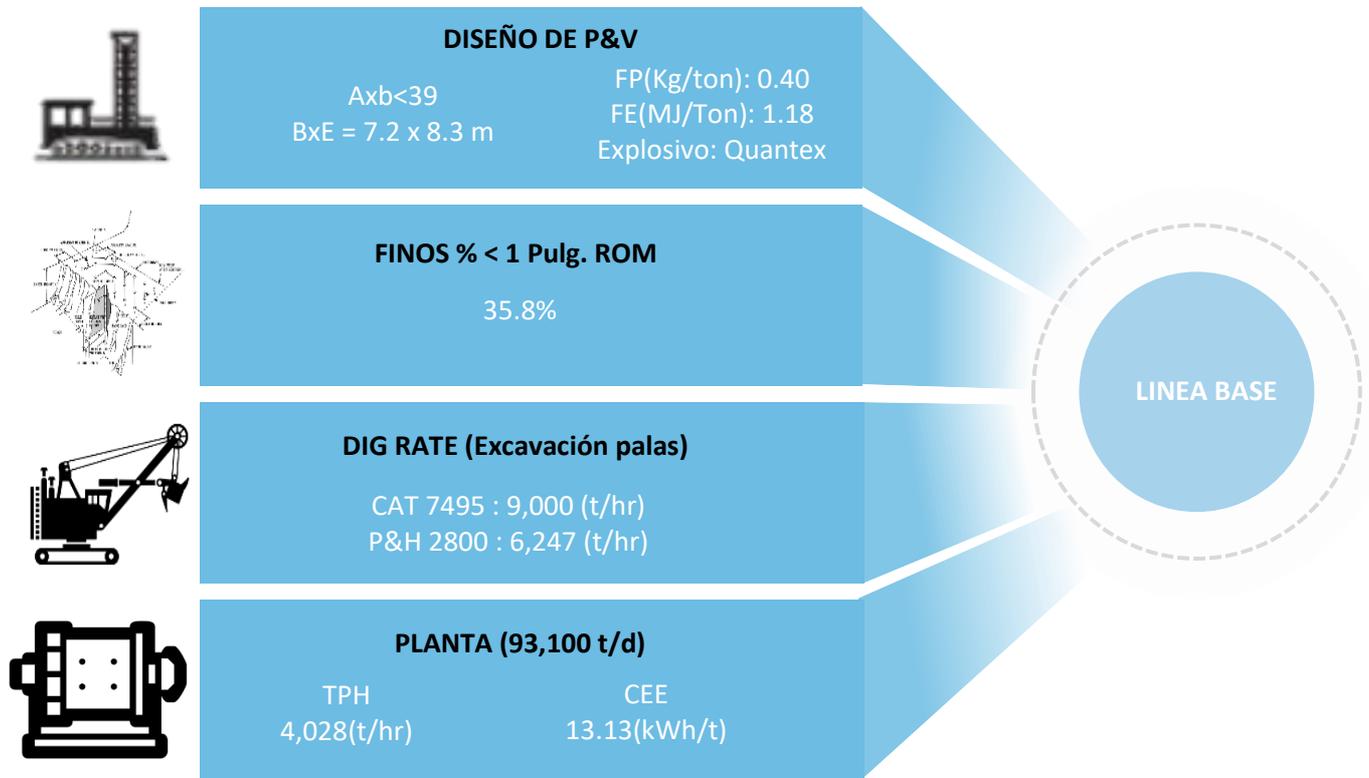
- ✓ Tonelaje por origen de material enviado a planta.

Conocer los orígenes históricos de los minerales que se abastecieron en el proceso nos sirvió para relacionar el TPH de molienda con el tipo de mineral enviado.

Planta:

- ✓ Fragmentación en faja 1 y faja 5.
- ✓ Throughput del molino TPH
- ✓ Consumo de Energía Específico CEE.

[Gráfico 2. Línea base]



3.2. Implementación de Mejoras y Pruebas

3.2.1. Uso de Explosivo energético

Para este estudio, se usó una emulsión a granel de alta energía (Slurrex G plus) especialmente diseñada para ser usada con Nitrato de amonio de alta densidad (Quantex).

Esta emulsión gasificable es sensibilizada con un gasificante en el momento justo del bombeo al pozo, tiene dentro de su composición elementos que al contacto con el gasificante generan microburbujas finas de hot spot que permiten sensibilizar la columna explosiva, incrementar la velocidad de detonación e incrementar el poder rompedor.

| | | |
|--|-------|-------------|
| Velocidad de detonación | m/s | 5000 – 6500 |
| Categoría de humos | --- | Primera |
| Diámetro crítico | Pulg. | 4 |
| Potencia relativa efectiva peso (RWS) | % | 113 |
| Potencia relativa efectiva volumen (RWS) | % | 170 |
| Resistencia al agua | --- | Excelente |

- ✓ Tiempo de gasificación: Dejar por lo menos 20 minutos antes de agregar el detritus.

[Tabla 1 . Especificaciones explosivo energético]

| Especificaciones técnicas | Unidades | Quantex 2.0 |
|---------------------------|----------|-------------|
| Densidad | g/cm3 | 1.0 – 1.2 |

[Tabla 2. Comparativo Explosivo estándar y energético]

| FICHAS TÉCNICAS | |
|-----------------------------|--|
| Explosivo Estandar | Explosivo Energético |
| Quantex (73) | Quantex 2.0 (73) |
| Energía (MJ/Kg) 2.41 | +8.3% → Energía (MJ/Kg) 2,61 |
| VOD (km/s) 5.50 | +12.7PD% → VOD (km/s) 5.84 |
| Diámetro Crítico 4 Pulg. | Diámetro Crítico 4 Pulg. |

3.2.1. Diseños de P&V [rango 3]

Esta etapa requirió de mucha coordinación y seguimiento entre todas las áreas involucradas para validar el impacto de los resultados de fragmentación en la molienda, para ello se conformó un equipo multidisciplinario (Mina, Planta, Geología, Planeamiento) para el seguimiento horario del performance de molienda SAG y reuniones diarias de evaluación de resultados, ambos espacios de coordinación generaban el feedback necesario sobre la fragmentación y los parámetros operacionales de planta; finalmente se evaluaban las nuevas alternativas de diseños de voladura.

La metodología empleada para la optimización de los diseños fue el Ciclo de Deming, este sistema nos ayudó a reevaluar nuestros diseños y sus resultados en busca de una mejora.

Esta metodología de trabajo buscaba tener bien identificado todas las características y parámetros del mineral que ingresaba al proceso:

- ✓ Polígono de minado.
- ✓ Reporte de voladura del polígono a minar
- ✓ Axb

- ✓ Litología
- ✓ UCS
- ✓ Curva granulométrica ROM (mina)
- ✓ Plan diario de alimentación mineral: origen, tonelaje y blending.
- ✓ Fragmentación en Faja 1 (chancadora primaria).
- ✓ Fragmentación en Faja 5 (molino SAG)

Se generaron Dominios de voladura en el Tajo Norte, considerando la litología y los valores de Axb de la roca, cada uno de estos 3 Dominios de voladura presentaban un diseño único que asegurara alcanzar la fragmentación deseada.

Al inicio del estudio se tenía una malla de perforación de 7.2 m x 8.3 m (B x E) y F.P: 0.40 kg/t aplicado a todo el mineral del tajo norte para todos los valores de Axb, este diseño generaba como fragmentación un promedio 35.8% finos < 1 pulg.

A partir de abril 2021, se realizaron pruebas con el objetivo de determinar los tiempos de retención de energía en los diseños que se venían usando y que permitan buscar alternativas que incrementen el tiempo de retención de la energía en el taladro.

[Tabla 3. Pruebas de retención energía]

| Material | Tiempo retención | % incremento |
|--|------------------|--------------|
| Detritus de perforación | 83 ms | |
| Detritus perforación + retenedor energía | 96 ms | +15.6% |
| Pebble | 128 ms | 53% |
| Pebble + retenedor energía | 151 ms | 81% |

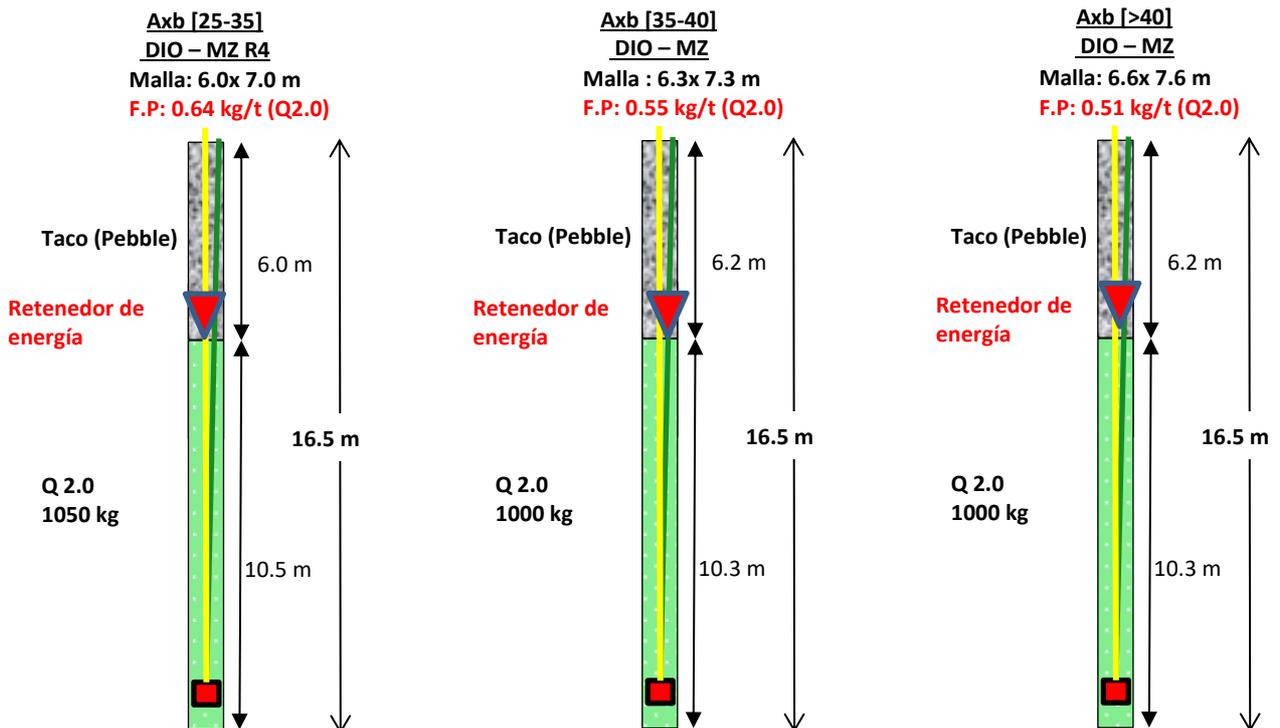
[Tabla 4. Calibración diseños de voladura por etapas]

| Etapa | Explosivo | B | E | FP | EF |
|----------------|------------------|------------|------------|--------------|------------------|
| Etapa 1 | Quantex 1 | 6.6 | 7.6 | 0.475 | 1.18 MJ/t |
| Etapa 2 | Quantex 2 | 6.6 | 7.6 | 0.475 | 1.24 MJ/t |
| Etapa 3 | Quantex 2 | 6.0 | 7.0 | 0.641 | 1.60 MJ/t |
| Etapa 4 | Quantex 2 | 6.3 | 7.3 | 0.519 | 1.36 MJ/t |
| Etapa 5 | Quantex 2 | 6.3 | 7.3 | 0.557 | 1.46 MJ/t |
| | | 6.3 | 7.3 | 0.519 | 1.36 MJ/t |

La etapa 3 es la que alcanzó los mejores resultados en fragmentación.

[Tabla 5. Parámetros optimizados P&V]

| Tajo | Axb | B m | E m | H m | Subdrilling m | F.P (kg/ton) |
|-------|---------|--------|--------|--------|------------------|-----------------|
| | [25-35] | 6.0 | 7.0 | 15 | 1.5 | 0.641 |
| Norte | [35-40] | 6.3 | 7.3 | 15 | 1.5 | 0.558 |
| | >40 | 6.6 | 7.6 | 15 | 1.5 | 0.511 |

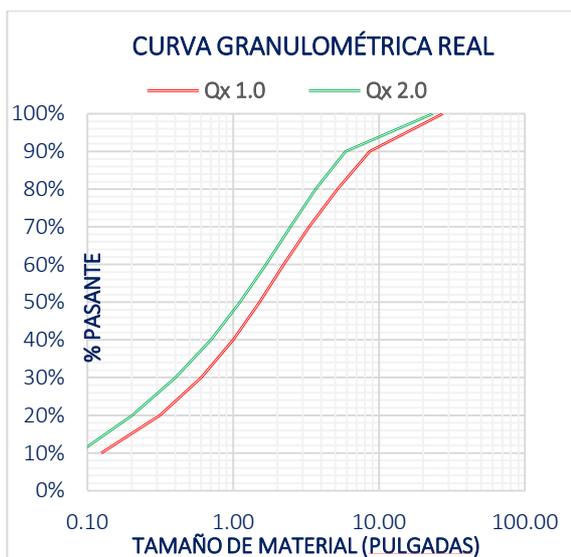


4. Resultados

4.1. Fragmentación, % finos < 1 pulg.

Los nuevos diseños de P&V generaron una mejora de la fragmentación, alcanzando un promedio de finos de 48% < 1 pulg para los distintos rangos de Axb presentes en el Tajo Norte, quedando establecidos estos nuevos diseños como parámetros definitivos para aplicar en el tajo norte de acuerdo con los rangos de Axb.

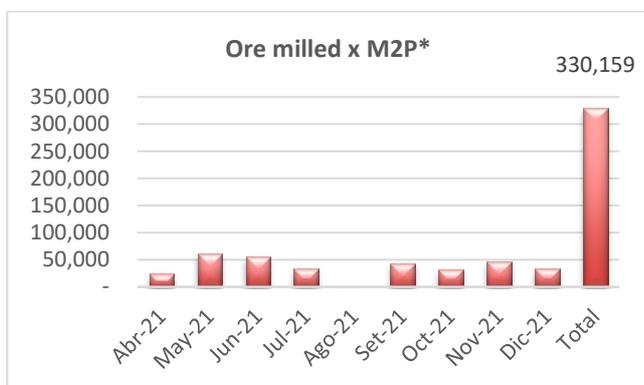
[Grafico 3. Evolución curva granulométrica]



4.2. Throughput molino SAG.

El estudio abarcó desde Abril a Diciembre 2021, en este periodo se logró moler adicionalmente 330,159 t de mineral, esto con respecto al año 2020.

[Grafico 4. Molienda adicional]

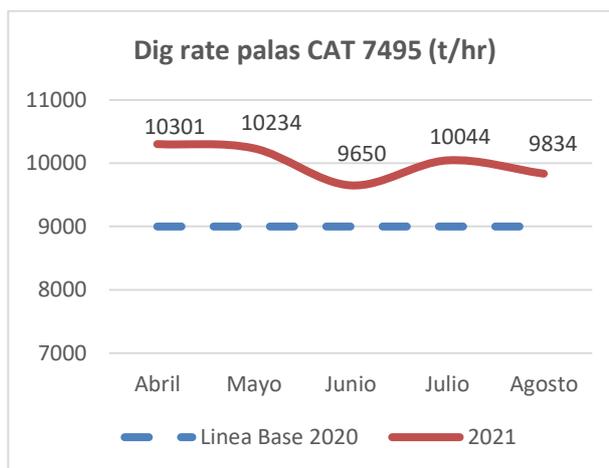


4.3. Dig rate.

Los nuevos diseños de P&V generaron una mejora de la fragmentación, alcanzando un promedio de finos de 48% < 1 pulg para los distintos rangos de Axb presentes en el Tajo Norte, quedando establecidos estos nuevos diseños como parámetros definitivos para aplicar en el tajo norte de acuerdo con los rangos de Axb.

En el gráfico 5, se observa una mejora de 11% en el dig rate (velocidad de excavación) de las palas CAT 7495 en zonas de mineral.

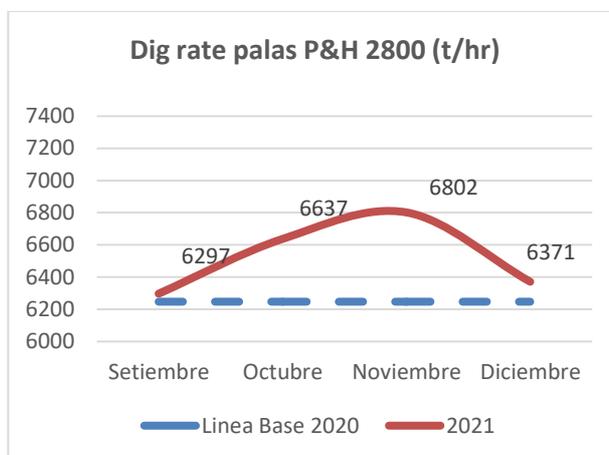
[Grafico 5. Dig rate palas CAT 7495]



En el gráfico 6, se observa una mejora de 4.5% en el dig rate (velocidad de excavación) de las palas P&H 2800 en zonas de mineral.

A partir del mes de septiembre, obedeciendo a una decisión táctica de minado, el abastecimiento de mineral al proceso se realizó con las palas P&H.

[Grafico 6. Dig rate palas P&H 2800]



4.4. Beneficio económico.

Para la estimación del beneficio económico se tomó el año 2020 como línea de referencia para los precios de materiales y precio del cobre. De esta manera se aíslan las variables exógenas en la evaluación de este proyecto.

Toda la variabilidad de los costos variables y ratios de consumo de este análisis resultan de la comparación con el año 2020.

El procesamiento adicional de 330,159 t, generó una venta de USD 9.8 M.

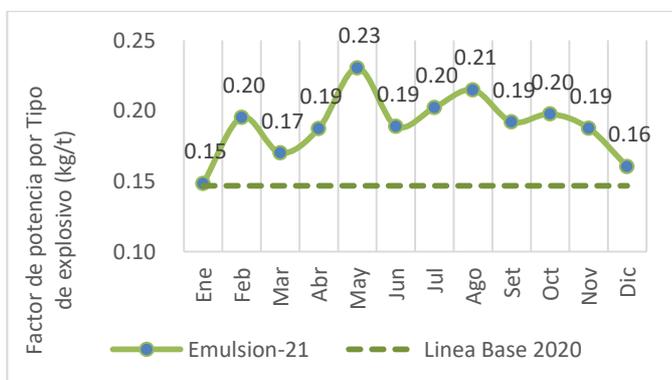
4.4.1. Costos Variables mina

Como se puede ver en los Gráficos 7 y 8, se tuvo un mayor consumo de los agentes de voladura (Nitrato amonio y Emulsión) debido al incremento del factor de potencia en las zonas de mineral del Tajo Norte.

[Gráfico 7. Consumo Nitrato Amonio]



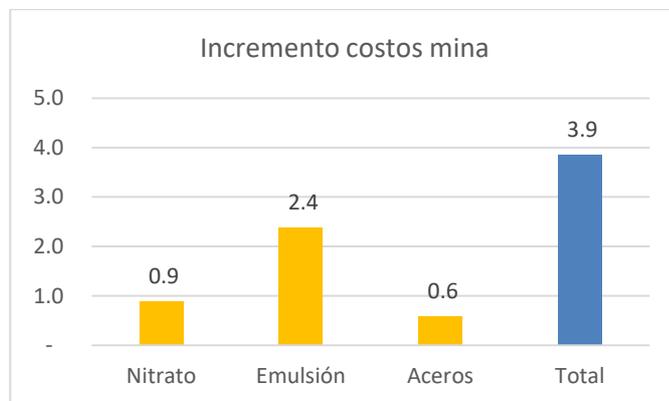
[Gráfico 8. Consumo Emulsión]



En el Gráfico 9, se observa el detalle de los ítems que un costo mayor en el año 2021 de USD\$ 3.9 M, esto

explicado por mayores factores de potencia en la voladura y por malla de perforación más reducidas (BxE) que implicó mayores metros perforados.

[Gráfico 9. Incremento costos variables mina]

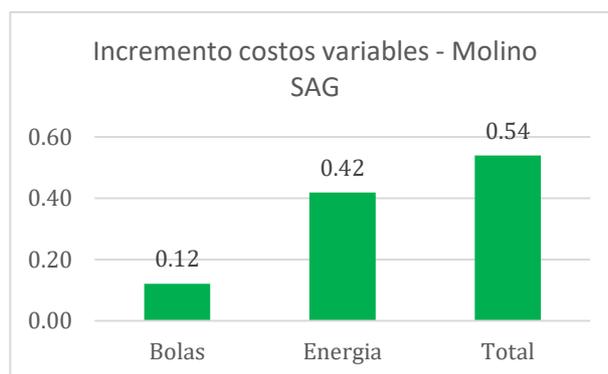


4.4.1. Costos Variables Planta concentradora

El Axb <40 del mineral del Tajo Norte representa una mayor dureza para la molienda SAG, esto se refleja en un incremento en el consumo de aceros (bolas) y energía eléctrica. Sin embargo, el incremento de los finos permite atenuar el impacto del Axb en la molienda SAG.

En el gráfico 10 se observa que en molienda SAG se dio un incremento de USD 0.54 M por mayor consumo de bolas y energía.

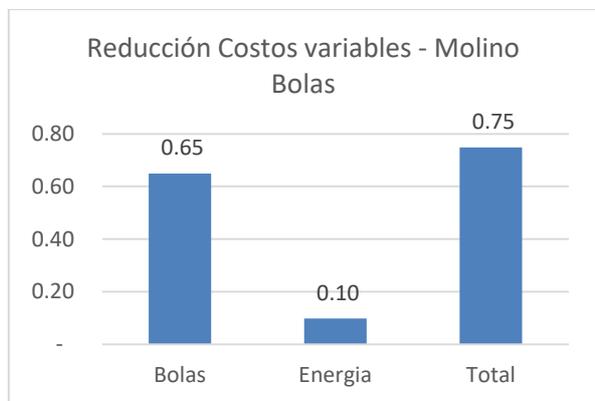
[Gráfico 10. Incremento costos variables Molino SAG]



En el gráfico 11, se observa una reducción en los costos variables de la molienda de bolas de USD 0.75M

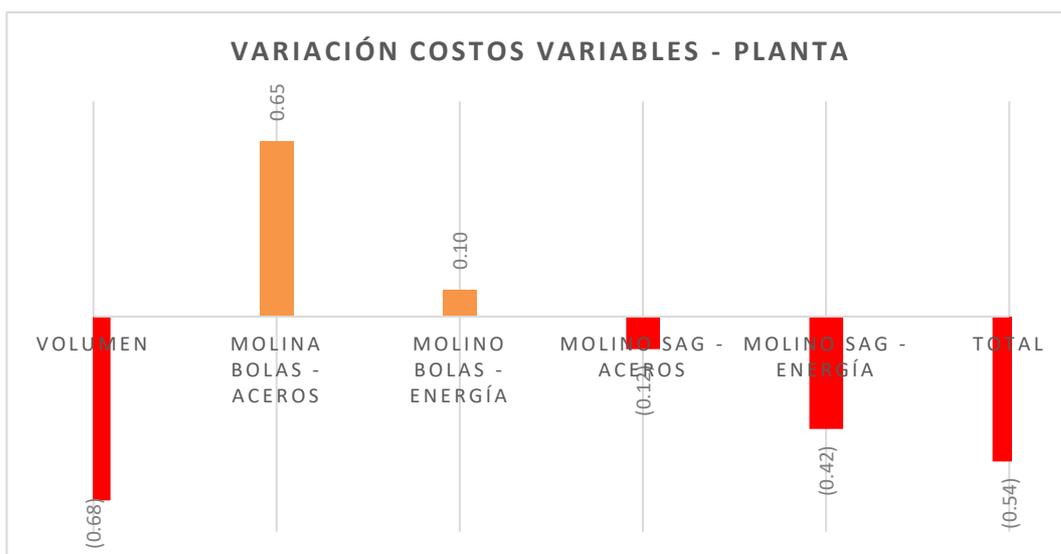
El procesamiento de las 330,159 t genera un costo adicional de USD 0.68 M.

[Gráfico 11. Reducción costos variables Molino de bolas]



En el grafico 12, se observa que en planta concentradora se produjo un incremento de costo de USD 0.5 M, condicionado principalmente por la dureza en molienda de los minerales con bajo Axb.

[Gráfico 12. Costos variables Planta]



[Tabla 6. Beneficios económicos]

| Physicals | | Abr-21 | May-21 | Jun-21 | Jul-21 | Ago-21 | Set-21 | Oct-21 | Nov-21 | Dic-21 | Total |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Ore milled x M2P* | tonnes | 23,976 | 61,206 | 55,457 | 33,646 | (190) | 43,134 | 32,556 | 46,348 | 34,027 | 330,159 |
| Cu produced x M2P | tonnes | 115.2 | 294.2 | 266.5 | 161.7 | (0.9) | 207.3 | 156.5 | 222.8 | 163.5 | 1,587 |
| Benefits | | Abr-21 | May-21 | Jun-21 | Jul-21 | Ago-21 | Set-21 | Oct-21 | Nov-21 | Dic-21 | Total |
| Revenues | USD m | 0.71 | 1.82 | 1.65 | 1.00 | 0.00 | 1.29 | 0.97 | 1.38 | 1.01 | 9.8 |
| Mining Cost | USD m | | | | | | | | | | |
| A) Variable Costs** | | -0.33 | -0.37 | -0.39 | -0.56 | -0.62 | -0.47 | -0.48 | -0.45 | -0.17 | -3.9 |
| Processing Cost | USD m | | | | | | | | | | |
| A) Variable Costs*** | | -0.08 | -0.06 | -0.07 | -0.19 | 0.05 | 0.01 | -0.03 | -0.06 | -0.05 | -0.5 |
| Concentrate Transport | USD m | -0.01 | -0.03 | -0.02 | -0.01 | 0.00 | -0.02 | -0.01 | -0.02 | -0.01 | -0.1 |
| Contributions | USD m | -0.03 | -0.14 | -0.12 | -0.03 | 0.00 | -0.08 | -0.05 | -0.09 | -0.08 | -0.6 |
| EBIT | USD m | 0.26 | 1.23 | 1.05 | 0.21 | -0.58 | 0.73 | 0.41 | 0.77 | 0.70 | 4.8 |

5. Aprendizajes

- a. El involucramiento y trabajo coordinado entre todas las áreas involucradas (mina, planta, geología y planeamiento) permitió tener una visión amplia del estudio y el impacto de los parámetros operacionales.
- b. La aplicación del Ciclo de Deming nos permitió tener una metodología que direcciona los esfuerzos de optimización de los diseños existentes y estandarizar los parámetros operacionales, este desafío nos hizo cuestionar todos los diseños de voladura que veníamos usando y probar el uso de nuevas tecnologías y accesorios que sumaron al logro de los objetivos.
- c. La generación de un único reporte que integró toda la información diaria de las áreas involucradas permitió que todos los integrantes del equipo accedieran a la misma información que permitió gestionar adecuadamente los procesos.
- c. El seguimiento constante del TPH de molienda e identificación de desviaciones en los parámetros operacionales de mina y planta nos permitió tomar acciones inmediatas que nos ayudaron a alcanzar el objetivo diario.
- d. El conocimiento adquirido sobre el impacto del Axb de la roca en los resultados de la fragmentación nos permitió generar hasta 3 dominios de Axb, cada uno de estos dominios tenía su propio diseño de voladura que permitiera alcanzar el objetivo de fragmentación.
- e. El contar con datos reportados automáticamente por nuestros procesos nos permitió integrar la información y generar visibilidad de las actividades y los indicadores claves en tiempo real para el seguimiento y toma de decisiones, tanto a nivel estratégico, táctico y operativo de nuestros procesos.

6. Conclusiones

- a. La inversión en un explosivo energético nos permitió alcanzar mejoras en la
- b. fragmentación lo cual se refleja en los procesos aguas abajo (carguío y acarreo, molienda); luego, el beneficio económico total, solo por mayor tonelaje de procesamiento fue de USD 4.8 M.

Agradecimientos

A los integrantes de las distintas áreas de Antapaccay: Operaciones Mina, Planta, Planeamiento, Geología y Administración Dispatch y la empresa de servicios de Voladura EXSA por su valioso apoyo para sacar adelante este proyecto, se conformó un gran equipo con un único objetivo que generará valor para la compañía.

Referencias

Informe del área de Finanzas del Proyecto Mine to Plant - Uso de explosivo energético - en Compañía Minera Antapaccay.

TDS (Technical Data Sheet) de los agentes de voladura de la mezcla Quantex 2.0 – EXSA

Morote, A.M., Vega, R., Pareja, S.M. 2017. Beneficios y Desafíos de la Gestión Integrada Mina-Planta. Escuela de Postgrado Gerens.

Perfil profesional

Ingeniero de minas con 20 años de experiencia.

Nombre del autor: Ronald Rojas García

Cargo: Superintendente de Perforación y Voladura

Empresa: Compañía Minera Antapaccay.

Correo electrónico: ronald.rojas@glencore.com.pe

Teléfono / Celular: +51 959391934

Dirección: Campamento Tintaya, Espinar, Cusco, Perú

Perfil profesional

Ingeniero de minas con 35 años de experiencia.

Nombre del coautor: Andres Miranda Espinoza

Cargo: Gerente de Mina

Empresa: Compañía Minera Antapaccay.

Correo electrónico: andres.miranda@glencore.com.pe

Teléfono / Celular: +51 959375665

Dirección: Campamento Tintaya, Espinar, Cusco, Perú