



PRUEBAS PILOTO DE MOLIENDA SAG

P. Tapia

Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.
patricia.tapia@uda.cl

RESUMEN

El presente trabajo corresponde a un programa experimental a nivel piloto destinado a obtener las variables relevantes para el diseño de un circuito de molienda SAG para el yacimiento de Mina Ministro Hales (MMH), ubicado a 6 km de la ciudad de Calama. El programa experimental contempló la evaluación de tres muestras litológicas provenientes del pique de exploración de MMH. Considerando que el yacimiento de MMH será mineral de sustitución del actual rajo de Chuquicamata, el programa experimental contempló la utilización de parámetros similares a los de operación de Chuquicamata, en particular la granulometría de alimentación fresca. Se desarrollaron un total de 22 ensayos de molienda SAG y 7 en circuito de molienda de bolas. El circuito que maximiza la capacidad de tratamiento del mineral de MMH corresponde al SAC-B, es decir el molino SAG operando en circuito abierto con extracción y chancado de pebbles para ser enviados a la etapa de molienda de bolas. Las condiciones operacionales que generan eficiencia en la molienda SAG para los minerales de MMH son: circuito SAC-B, alimentación fresca fina, 8% de nivel de llenado y 5" como tamaño máximo, 8 rock ports abiertos y 79% de velocidad crítica.

Palabras claves: Mina Ministro Hales, molienda SAG, evaluación, pruebas piloto.

ABSTRACT

This work corresponds to an experimental program aimed at collecting pilot level variables relevant to the design of a SAG mill circuit for Mina Ministro Hales deposit (MMH), located 6 km from the city of Calama. The experimental program on the evaluation of three samples from the peak lithological exploration MMH. Whereas MMH deposit will replace the existing ore Chuquicamata pit, watched the pilot program using parameters similar to those operating at Chuquicamata, particularly the fresh feed grain. They developed a total of 22 trials and SAG mill grinding circuit 7 in bearings. The circuit maximizes the capacity of MMH ore treatment corresponds to SAC-B, ie the SAG mill operating in open circuit crushing and extraction pebbles to be sent to the ball milling step. The conditions that generate operational efficiencies for SAG milling ores are MMH: SAC-B circuit, fine fresh food, 8% filling level and 5 "maximum size, 8 rock open ports and 79% of critical speed.

Keywords: Mina Ministro Hales, SAG milling, evaluation, pilot.

1. INTRODUCCIÓN

La molienda semiautógena es una variación del proceso de molienda autógena, es la más frecuente en la práctica y en ella se adicionan medios de molienda metálicos al molino. El nivel volumétrico de llenado de bolas varía normalmente de 4 a 14 % con respecto al volumen interno del molino.

Otros aspectos generales que han favorecido la alternativa tecnológica que representa los molinos semiautógenos son la necesidad creciente de procesar mayores cantidades de material, por causa de la baja en las leyes, además, estos molinos tienen la capacidad de procesar el material producto de un chancador primario, simplificando significativamente los requerimientos en la etapa de chancado [1]. La reducción de tamaño en un molino semiautógeno se debe a la acción de tres tipos de mecanismos que pueden actuar simultáneamente, impacto, compresión y abrasión [2].

Existe consenso en el sentido de que los molinos semi-autógenos (SAG) seguidos de un molino de bolas, ofrecen ventajas comparativas sobre el esquema convencional. El desarrollo de proyectos, particularmente en Chile, de plantas de molienda indica que la incorporación de una línea SAG requerirá de un menor costo de capital que la línea tradicional antes mencionada. El consumo de energía global en kWh/ton tiende a ser un mayor para sistemas SAG, pero el costo de operación es menor que el sistema convencional debido principalmente a los menores costos de mantención al contar con menos equipos, como también una menor dotación asociada [3].

El método de Bond no da buenos resultados para diseñar molinos SAG, es por esto que se han buscado diversos métodos para conseguir este objetivo. El método que se utiliza actualmente para diseñar estos molinos requiere un número extenso de experiencias en un molino piloto de geometría similar a la del molino requerido [4]. Existe una ventaja si se pudieran utilizar métodos de diseño y escalamiento basados en ensayos de laboratorio (como es el caso del SAG Power Index, desarrollado por

Minnovex), ya que se reduciría el tiempo involucrado y el costo de experimentar la molienda SAG en planta piloto para un mineral determinado [5].

El molino piloto típico utilizado en ensayos de molienda SAG tiene un diámetro de 1,89 m por 1 m de largo, con un volumen activo de 2 m³. Los molinos de prueba son sensibles al tamaño de las partículas en la alimentación, de modo que se debe tener cuidado de asegurar una distribución granulométrica uniforme en ésta. Normalmente estos molinos demoran mucho tiempo en llegar al estado estacionario, lo que implica que los ensayos requieren de ocho a diez horas para llegar a este estado, una hora para tomar las muestras y otra hora adicional para asegurar que el muestreo se realizó en condiciones constantes. La potencia utilizada por el molino debe permanecer constante durante y después del período de prueba.

Durante el intervalo de tiempo que dura el ensayo se toman muestras de alimentación, producto y recirculación del molino y flujos del clasificador, si es que éste existe. Al final del ensayo se detiene el molino, se mide el nivel de carga y se vacía ésta, determinando su contenido de sólido y su granulometría. El peso total de la carga se usa para determinar el consumo de potencia en vacío y calcular el consumo neto de potencia. Durante el ensayo se mide el flujo de alimentación al molino, por lo que se puede calcular el consumo neto de energía.

Por otra parte, no es frecuente utilizar tamaños de bolas mayores a 100 milímetros (4 pulgadas) en los molinos de ensayo, mientras que hay disponibles bolas de 125 ó 150 milímetros (5 ó 6 pulgadas) para los molinos industriales. Sin embargo, en un molino industrial el proceso de desgaste de los cuerpos moledores da origen a una distribución completa de tamaños de bolas luego que la carga ha llegado al estado estacionario.

El desgaste de las bolas sigue la ley de Bond, lo que significa que la mayor cantidad de bolas se encontrará en el rango de 1 a 0.6 veces el tamaño máximo [4]. Por lo tanto, una carga para el molino de ensayo que contenga un 50% de bolas de 100 milímetros

(4 pulgadas) y otro 50% de bolas de 75 milímetros (3 pulgadas) constituye una buena aproximación a la distribución resultante de una recarga de bolas de tamaño único de 125 milímetros (5 pulgadas). Se realiza una serie de ensayos variando los flujos de alimentación, lo que da como resultado diferentes cantidades de material retenido en el molino y diferentes distribuciones granulométricas del producto.

La División Codelco Norte dentro del contexto de su Plan de Negocios contempla la utilización de todos los recursos sulfurados y lixiviables disponibles en el distrito, y uno de los yacimientos estratégicos que sustentan la continuidad del rajo de Chuquicamata es el yacimiento Mina Ministro Hales (MMH). En MMH se está proyectando para los primeros 11 años una explotación a rajo abierto a un ritmo de 50 ktpd de mineral. La apertura del rajo MMH implica una preproducción del orden de los 170 millones de toneladas de material. La ley media de cobre asciende a 1,06% y se espera un contenido de plata en el mineral en torno a los 26 gr/ton constituyendo este subproducto una parte significativa del valor económico del proyecto. Es por esto que se requiere información precisa que permita determinar el efecto de las variables de operación de la

Molienda SAG sobre el consumo específico de energía, así como su efecto en el tamaño del producto de la molienda

2. EXPERIMENTAL

A continuación se presenta una descripción detallada de las condiciones operacionales y experimentales utilizadas en el desarrollo experimental de Pruebas de Molienda SAG y Secundaria a nivel piloto efectuadas mineral del yacimiento Mina Ministro Hales.

Selección, Caracterización y Preparación de Muestras

Las muestras empleadas provienen de marinas extraídas del pique de exploración del yacimiento MMH con una granulometría Run of Mine (ROM). A cada una de las muestras se les extrajo la totalidad de la fracción +8" presente en ellas, debido a que el tamaño máximo de colpa que acepta el molino piloto de cascada es 8". El sobre tamaño +8" fue reducido e incorporado a la muestra original. La Tabla 1 muestra la distribución granulométrica de alimentación fresca a la Molienda primaria utilizada en los ensayos.

Tabla 1 Granulometría de alimentación fresca a Molino SAG.

| Fracción de tamaños | Retenido parcial (%) | | |
|---------------------|----------------------|--------|------|
| | Estándar | Gruesa | Fina |
| -8" / +6" | 13,0 | 20,0 | 6,0 |
| -6" / +3" | 21,0 | 19,0 | 16,0 |
| -3" / +1" | 22,0 | 21,0 | 24,5 |
| -1" / +1/2" | 7,0 | 6,3 | 8,5 |
| -1/2" | 37,0 | 33,7 | 45,0 |

Luego, el total de la muestra fue clasificado en un harnero para obtener las fracciones de tamaño -8"/+6", -6"/+3", -3"/+1", -1"/+1/2" y -1/2", controlándose al término de esta operación el peso de cada una de ellas.

Ensayos de Molienda

El programa de ensayos se realizó en base a cuatro circuitos pilotos de molienda primaria

y una de molienda secundaria, cuya descripción se detalla a continuación:

SAC-A: Circuito de molienda semiautógena, con extracción, chancado y recirculación de pebbles al molino semiautógeno, y clasificación del bajo tamaño trommel para obtener un producto final y un producto grueso para el circuito de molienda secundaria.

SAC-B: Circuito de molienda semiautógena, con extracción, chancado y recirculación de pebbles al molino secundario, y clasificación del bajo tamaño trommel para obtener un producto final y un producto grueso para el circuito de molienda secundaria.

SAC-A/B: Circuito de molienda semiautógena, con extracción, chancado y recirculación de pebbles 50% al molino secundario y 50% al molino semiautógeno, incluyendo clasificación del bajo tamaño trommel para obtener un producto final y un producto grueso para el circuito de molienda secundaria.

SAC-A/C: Circuito de molienda semiautógena en una etapa, cerrado en el clasificador, con extracción, chancado y recirculación de pebbles al molino secundario, y clasificación del bajo tamaño trommel para obtener un

producto que recircula al molino SAG y otro al final.

MB-1: Circuito de molienda secundaria en molino de bolas, operando en circuito cerrado directo con clasificador de espiral de 12", alimentado con las arenas del clasificador de espiral de la etapa de molienda SAG.

Condiciones Generales de Operación

Los ensayos de molienda fueron realizados de acuerdo a los siguientes parámetros:

- a) El molino de cascada operó con velocidad de rotación de 24 rpm (72% de la velocidad crítica), en tanto el molino secundario lo hizo a 31 rpm (69% de la velocidad crítica).
- b) La distribución de la carga de bolas de cada unidad de molienda se muestra en la Tabla 2

Tabla 2 Carga de bolas, Fracción retenida parcial (%).

| Diámetro Bolas (pulg) | Molino SAG | | Molino Bolas C |
|-----------------------|------------|------|----------------|
| | A | B | |
| 5,0 | | 19,0 | |
| 4,5 | | 34,0 | |
| 4,0 | 29,0 | 17,0 | |
| 3,5 | 44,0 | 16,0 | |
| 3,0 | 27,0 | 14,0 | 31,0 |
| 2,5 | | | 39,0 |
| 2,0 | | | 19,0 |
| 1,5 | | | 8,0 |
| 1,0 | | | 3,0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Condiciones Experimentales Evaluadas en Molienda SAG

El programa de pruebas se diseñó en base a tres muestras que representan las principales unidades del yacimiento mina Ministro Hales, más una muestra compósito que se formó con las muestras señaladas diluidas con estéril, que será representativa de los primeros cinco años de explotación. Las muestras ensayadas son las siguientes:

- a) Stock work
- b) Brecha central
- c) Mixto

- d) Compósito (55% Stockwork+20% Brecha Central+10% Mixto+15% Estéril)

Con el propósito de explorar diversas alternativas de circuitos de molienda y condiciones operacionales se evaluaron las siguientes variables:

- a) Configuración del circuito, incorporando extracción y chancado de pebbles
- b) Area de extracción de pebbles (número de rock ports abiertos)
- c) Granulometría de alimentación fresca
- d) Nivel de llenado de la carga de bolas

- e) Tamaño máximo y distribución de carga de bolas
- f) Velocidad de rotación del molino

La muestra más abundante del yacimiento mina Ministro Hales es la unidad Stock work, es por esto que con ésta se realizó un completo barrido de ensayos. En las muestras restantes se evaluaron sólo las variables más relevantes, determinadas en base a los resultados obtenidos con la unidad Stock work.

Condiciones Experimentales Evaluadas en Molienda Secundaria

El Programa de pruebas se desarrolló en circuito cerrado directo con clasificador de espiral. El circuito fue alimentado con un compósito de la descarga del clasificador de la etapa de Molienda SAG generado en los ensayos SAC-A y SAC-B, debido a que el perfil granulométrico de las arenas en estas pruebas fue similar. En otros ensayos programados se agregó además una fracción de pebbles chancados. En todos los ensayos se utilizó un set point de granulometría del producto de molienda secundaria de 212 µm.

3. RESULTADOS

Las correlaciones utilizadas para corregir la potencia bruta con la potencia neta demandada en ambos molinos, fueron determinadas mediante ensayos de calibración de Freno Prony, son las que se indican a continuación (valores expresados en Kw, para un rango estudiado entre 2 a 15 Kw):

- Molino de Cascada de 6´x 2´ : P
Neta = 0,9147*P Bruta-1,9707
- Molino de Bolas de 3´x 4´ : P
Neta = 0,9061*P Bruta – 1,1478

Ensayos de Molienda SAG

La actual operación de molienda SAG de la División Codelco Norte consiste en un circuito SAC-A, con pebbles chancado recirculados al molino SAG por lo tanto se tuvo como referencia esta configuración debido a la experiencia que se tiene en el comportamiento de este circuito.

Los diversos efectos de los ensayos de molienda SAG se verificarán sobre las variables de diseño de los circuitos de molienda, tales como el consumo específico de energía (CEE) y bajo tamaño del trommel (D_{80}).

- Efecto de la configuración del circuito

Para el caso de la muestras Stock work y Brecha Central se analizaron los circuitos en donde se recircula el 100 y 50% de los pebbles chancados a la molienda de bolas (circuitos SAC-B y SAC-A/B respectivamente). En las muestras Mixtos y Compósito se estudió el efecto del 100% de la recirculación de los pebbles chancado al molino de bolas (circuito SAC-B).

En cada una de las evaluaciones de las modificaciones de configuración de circuito se utilizaron las mismas condiciones experimentales; esto es, alimentación fresca estándar, 4 rock ports abiertos de dimensiones de 2.5" de lado, 72% de velocidad crítica, 10% de nivel de llenado de bolas y tamaño máximo de 4", entre otras.

En las figuras 1 y 2 se ilustra el efecto sobre el consumo específico de energía (CEE), y sobre el D_{80} del bajo tamaño trommel, producto que alimenta al circuito de molienda secundaria.

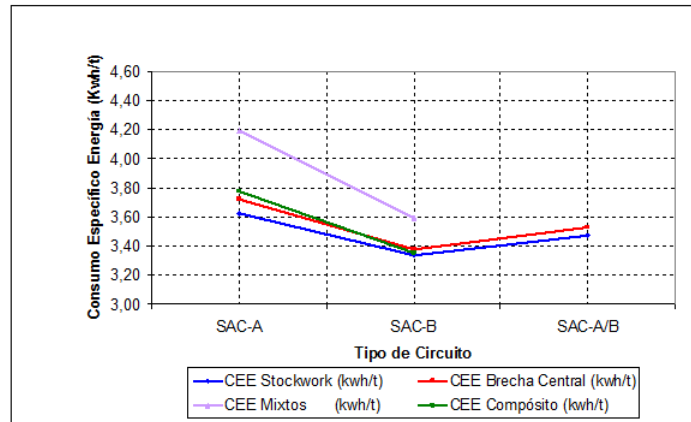


Figura 1. Efecto configuración circuito mollienda SAG sobre el consumo específico de energía.

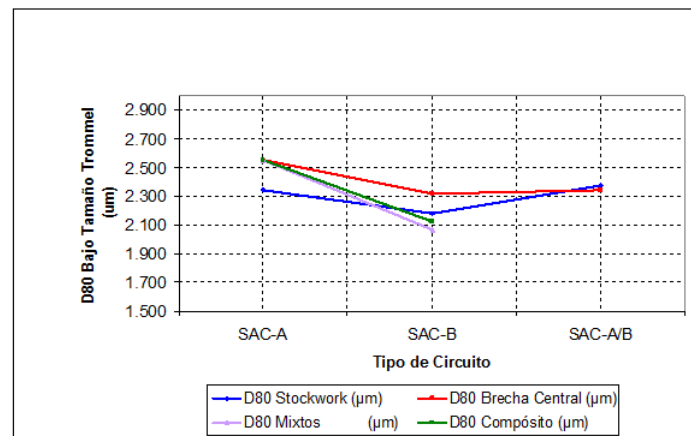


Figura 2. Efecto configuración circuito mollienda SAG sobre el D₈₀ bajo tamaño trommel.

Operar en un circuito de mollienda SAG del tipo SAC-A/B en vez de la modalidad SAC-A, es decir enviar directamente a Mollienda de Bolas el 50% del sobre tamaño de trommel ya chancado y recircular al molino primario la fracción restante, resultó en una disminución en el CEE de alrededor de 4% y 5% para las muestras Stock work y Brecha Central, respectivamente.

El efecto de abrir el circuito SAC-A, de forma de enviar directamente a Mollienda de Bolas el sobre tamaño de trommel, configuración de circuito SAC-B, provoca, para todas las muestras litológicas y el compuesto, una disminución en el CEE en valores cercanos a 8% para Stock work, 9% para Brecha Central, 14% para Mixto y 12% en el Compósito. Es también en esta configuración

de circuito en donde se logra una reducción en el bajo tamaño trommel.

- Efecto de la granulometría de alimentación fresca

Se evaluó el efecto del aumento (granulometría gruesa) y disminución (granulometría fina) de la alimentación fresca del circuito de mollienda SAG, respecto de la granulometría estándar, buscando con esto determinar la capacidad de tratamiento de la planta como resultado de eventuales cambios granulométricos.

La evaluación se efectuó con el molino de cascada en circuito cerrado SAC-A, con 4 rock ports abiertos de dimensiones de 2,5" de lado, 10% de nivel de llenado de bolas y tamaño máximo de 4" y 72% de la velocidad

crítica. En la figura 3 se muestra el efecto de modificar la granulometría de alimentación fresca sobre el CEE y en la figura 4 los

efectos sobre el D_{80} del bajo tamaño trommel.

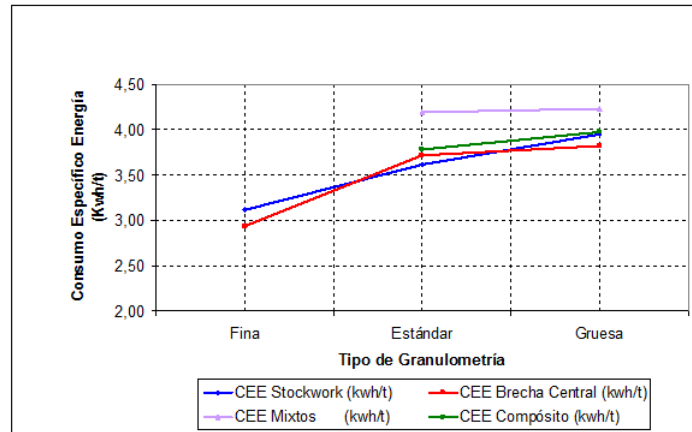


Figura 3. Efecto granulometría de alimentación fresca sobre el consumo específico de energía.

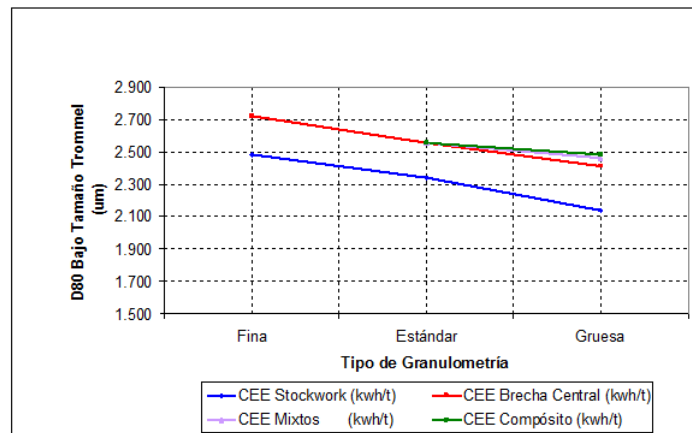


Figura 4. Efecto granulometría de alimentación fresca sobre el D_{80} bajo tamaño trommel.

Afinar la granulometría de alimentación fresca respecto de la estándar, produce un aumento de capacidad de 14% y 21% para la muestras Stock work y Brecha Central respectivamente. En forma contraria, para todas las muestras probadas el engrosamiento produjo una disminución en la capacidad de tratamiento de 9% para Stock work, 3% para la Brecha Central, 1% para la muestra Mixto y 5% para el Compósito, comparado con la situación de operar con granulometría estándar. Respecto del efecto de modificar la granulometría de alimentación sobre el D_{80} del bajo tamaño trommel, en la figura 4 se observa un

aumento importante de este parámetro cuando el molino SAG se alimenta con una granulometría más fina.

- Efecto de los rock ports abiertos

Se evaluó el efecto de modificar el área de Rock Ports abiertos sobre el Consumo Especifico de Energía (CEE) y sobre la granulometría del bajo tamaño trommel (D_{80}). En las figuras 5 y 6 se ilustran los efectos sobre el CEE y el D_{80} del bajo tamaño de trommel, respectivamente. La evaluación se efectuó con la muestra Stock work utilizando 4, 8 y 12 rock ports cada uno de 2.5" x 2.5" de tamaño, operando en circuito

cerrado SAC-A, con el resto de las condiciones experimentales iguales.

Al abrir 4 rock ports adicionales a los 4 del Test de referencia se produce una disminución de 6% en el CEE. Para el caso de operar con 12 rock ports abiertos, el CEE

disminuye en 1% en relación a la referencia. En la figura 6, se observa que el D_{80} del bajo tamaño trommel no sufre modificación significativa operando con 4 y 8 rock ports abiertos; sin embargo aumenta al incrementarse a 12 el número de rock ports abiertos en el molino de cascada.

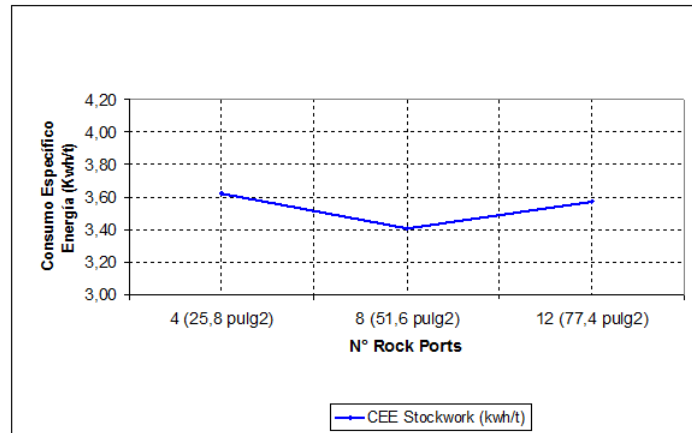


Figura 5. Efecto N° Rock Ports abiertos sobre el consumo específico de energía.

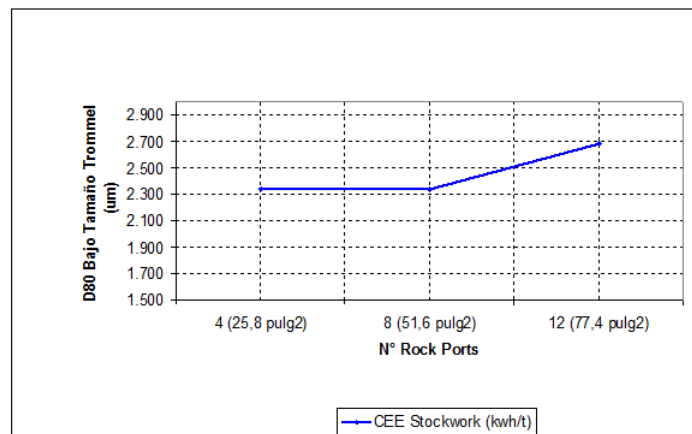


Figura 6. Efecto N° Rock Ports abiertos sobre el D_{80} bajo tamaño trommel

- Efecto del nivel de llenado y del tamaño máximo de bolas

Separadamente se evaluaron el efecto de modificar el nivel de llenado de bolas y el tamaño máximo de bolas en el molino SAG, sobre el CEE (figuras 7 y 9) y sobre el D_{80} del bajo tamaño de trommel (figuras 8 y 10). Ambas evaluaciones se efectuaron con la muestra Stock work, utilizando la modalidad

de circuito cerrado, manteniendo constantes las restantes condiciones experimentales.

En las figuras 7 y 9 se puede apreciar que el consumo específico de energía en la etapa de molienda primaria, en el rango de nivel de carga de bolas estudiado el CEE no sufre variación importante, con 10% y 8% de nivel de llenado bolas, y en el rango de tamaño máximo de bolas de 4" y 5", respectivamente.

Por otro lado, en la figura 8 se observa que para la operación en circuito cerrado, el D_{80} del bajo tamaño trommel no sufre cambios importantes al disminuir el nivel de llenado

de bolas en el molino SAG. En cambio, con el aumento del tamaño máximo de bolas de 4" a 5", el D_{80} del bajo tamaño trommel aumenta.

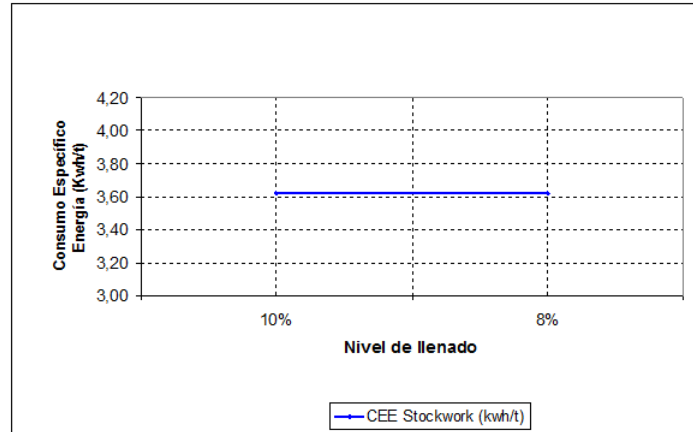


Figura 7. Efecto del nivel de llenado sobre el consumo específico de energía.

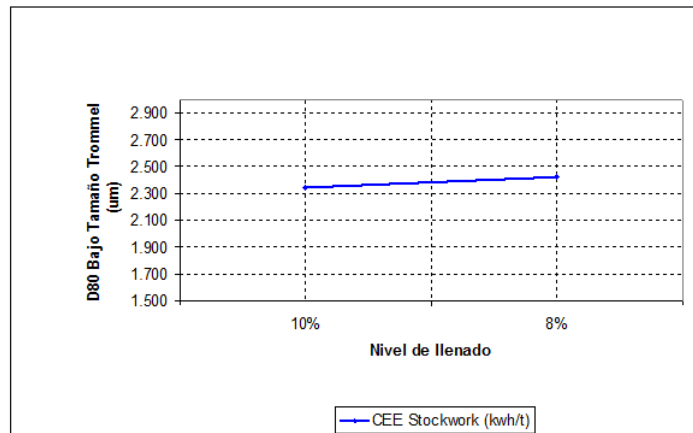


Figura 8. Efecto del nivel de llenado sobre el D_{80} bajo tamaño trommel.

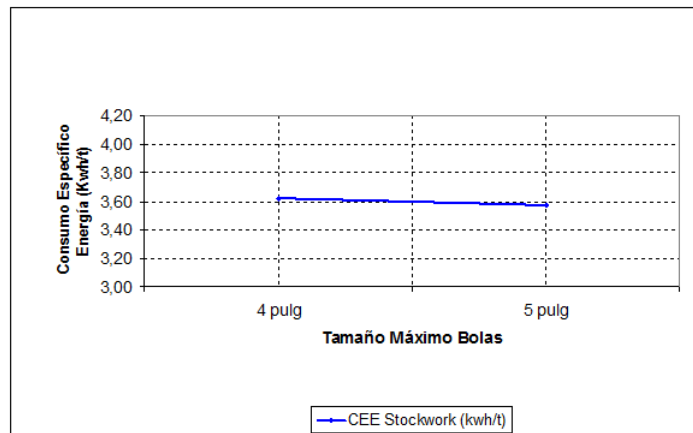


Figura 9. Efecto del tamaño máximo de bolas sobre el consumo específico de energía.

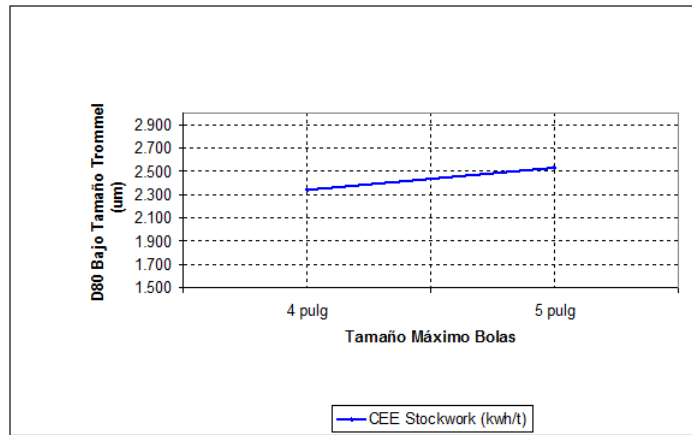


Figura 10. Efecto del tamaño máximo de bolas sobre el D₈₀ bajo tamaño trommel.

- Efecto de la velocidad de rotación

Se evaluó el efecto de variar la velocidad de rotación del molino SAG, aumentando el porcentaje de velocidad crítica de 72 a 79%. La evaluación se efectuó con el molino de cascada en circuito cerrado SAC-A alimentado con granulometría estándar de la muestra Stock work, con 4 rock ports abiertos de dimensiones de 2.5" de lado, 10% de nivel de llenado de bolas y tamaño máximo de 4". En las figuras 11 y 12 se

ilustra este efecto sobre el CEE y el D₈₀ del bajo tamaño de trommel, respectivamente.

En la figura 11 se observa que al aumentar la velocidad de rotación del molino SAG el CEE disminuye de 3,62 a 3,48 kWh/t, lo que implica un aumento en la capacidad en la molienda primaria de 4%. En el caso del sobre tamaño trommel, en la figura 12, se aprecia un fuerte aumento en el D₈₀ de 2342 a 3121 µm al aumentar la velocidad de rotación del molino primario.

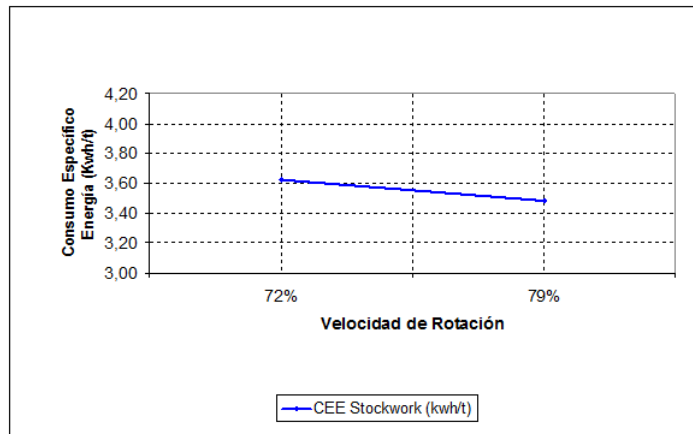


Figura 11. Efecto de la velocidad de rotación sobre el consumo específico de energía

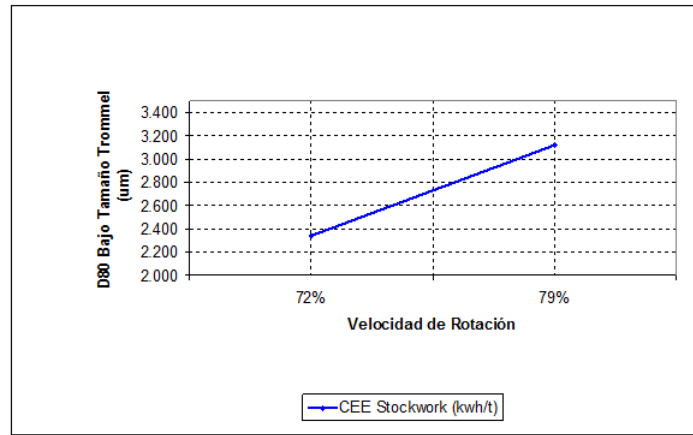


Figura 12. Efecto de la velocidad de rotación sobre el D₈₀ bajo tamaño trommel.

Los consumos específicos de energía en molienda SAG de los minerales de MMH (tabla 3) presentan valores similares a los de

Chuquicamata (circuito SAC-A), por lo que se puede asumir que existe un comportamiento común entre ambos minerales.

Tabla 3. Comparación de los consumos específicos de energía del mineral de Chuquicamata con los obtenidos en los ensayos

| Yacimiento | Muestra | CEE neto (kWh/t) |
|--------------|----------------|------------------|
| MMH | Stock work | 3,62 |
| | Brecha central | 3,72 |
| | Mixto | 4,19 |
| | Compósito | 3,78 |
| Chuquicamata | | 3,81 |

Ensayos de Molienda Secundaria

La evaluación de la molienda secundaria se efectuó con material proveniente de la descarga del clasificador de la etapa de molienda SAG, de las pruebas efectuadas en las modalidades SAC-A y SAC-B, como alimentación fresca. En las pruebas evaluadas, el molino operó en la modalidad de circuito directo, con 69% de la velocidad crítica y 35% de nivel de llenado de bolas.

Cabe destacar que el consumo de energía específico en esta etapa ha sido corregido por los siguientes factores:

- Para obtener un mismo producto final ($P_{80} = 212 \mu\text{m}$).
- Por diferencia de capacidad de tratamiento de las unidades piloto (descarga del clasificador de la molienda primaria contra alimentación fresca a molienda secundaria).
-

El comportamiento de la muestra en la molienda secundaria se evaluó por la comparación entre el work index operacional respecto al work index de laboratorio para molienda de bolas resumidos en la tabla 4.

Tabla 4. Comparación Wi Laboratorio versus Wi Operacional

| Muestra | Wi laboratorio (kwh/t) | Wi operacional (kwh/t) | Razón ($W_{i_{op}}/W_{i_{lab}}$) |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Stock work (MB1) | 15,18 | 15,4 | 1,01 |
| Stock work (MB2) | 16,44 | 16,1 | 0,98 |
| Stock work (MB3) | 14,57 | 14,7 | 1,01 |
| Brecha central (MB4) | 15,75 | 17,4 | 1,10 |
| Brecha central (MB5) | 16,25 | 15,0 | 0,92 |
| Mixto (MB6) | 15,08 | 17,9 | 1,19 |
| Compósito (MB7) | 14,93 | 16,9 | 1,13 |

La tabla 5 muestra la distribución de consumo de energía específico en la molienda, esto es la distribución porcentual entre la molienda SAG y de Bolas. Para el

caso del compósito de MMH la distribución entre molienda SAG y de bolas es de 40% y 60% respectivamente.

Tabla 5. Distribución del consumo de energía en la molienda SAG y molienda secundaria

| Muestra | Consumo específico de energía (neto) Molienda SAG (kwh/t) | Consumo específico de energía (corregido) Molienda secundaria (kwh/t) | Consumo específico de energía total (kwh/t) | Distribución (%) | |
|----------------|---|---|---|------------------|-------|
| | | | | SAG | Bolas |
| Stock work | 3,62 | 4,99 | 8,62 | 42 | 58 |
| Brecha central | 3,72 | 6,13 | 9,85 | 38 | 62 |
| Mixto | 4,19 | 5,75 | 9,94 | 42 | 58 |
| Compósito | 3,78 | 5,73 | 9,51 | 40 | 60 |

4. CONCLUSIONES

- El circuito SAC-B es el que maximiza la capacidad de tratamiento, es decir el molino SAG operando en circuito abierto con extracción y chancado de pebbles para ser enviados a la etapa de molienda de bolas.
- Al disminuir la granulometría de alimentación fresca a la molienda SAG, se produjo un aumento de capacidad de 14% y 21% para las muestras stock work y brecha central respectivamente. En forma contraria, al aumentar la granulometría de alimentación se produjo una disminución de capacidad de 9% para stock work, 3% para brecha central, 1% para mixtos y 5% para el

compósito, con respecto a la situación de operar con granulometría estándar.

- Las condiciones operacionales que generan eficiencia en la molienda SAG para los minerales de MMH son: circuito SAC-B, alimentación fresca fina, 8% de nivel de llenado y 5" como tamaño máximo, 8 rock ports abiertos y 79% de velocidad crítica.
- Los resultados obtenidos en la molienda SAG para un circuito SAC-A son similares entre los minerales de MMH y Chuquicamata.
- El consumo específico de energía para la molienda secundaria oscila entre 7,7 a 8,9 (kwh/t).

- La distribución de energía para obtener producto final es de 40% para la molienda SAG y 60% para la molienda de bolas.

5. REFERENCIAS

- [1] Magne L. Visión Conceptual y Estado de la Tecnología en Molienda Semiautógena, Workshop SAG 97, Mayo, 1997, pp. 1-3.
- [2] Barahona C. Diseño y Operación de Circuitos con Molienda Autógena, Octubre, 1992, pp. 25-90.
- [3] Gutiérrez, L.R., Sepúlveda, J.E. Dimensionamiento y Optimización de Plantas Concentradoras mediante Técnicas de Modelación Matemática, CIMM, Santiago, Chile, 1986, pp. 9-62.
- [4] Austin, L., Concha, F. Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación, 1994, pp. 311-314
- [5] Tanaka T., Tanaka, K. Design Features of a Semi-Autogenous Grinding Mills and a Comparison of Test Mill Data with Actual Operation Data, First Workshop on Autogenous Grinding, CIMM Santiago, Chile, 1987.