

PARAMETROS GEOLOGICOS DE IMPACTO EN LA MOLIENDA SEMIAUTOGENA

S. Godoy* y C. Holmgren*

Este trabajo presenta la experiencia de ocho años de operación con molienda semiautógena en la Mina Los Bronces, propiedad de Cía. Minera Disputada de Las Condes S.A., ubicada en la alta cordillera de Chile Central, 70 km al NE de la ciudad de Santiago.

La molienda semiautógena consiste en la autoconminución de la mena, originada por la sola interacción de las rocas con una carga menor de bolas (menor de 10 %). La conminución se produce por la combinación de los efectos de fracturamiento, atrición y abrasión, y por lo tanto, depende de las propiedades intrínsecas del material a moler (1).

En Los Bronces predecir las propiedades de moliendabilidad es una rutina asociada a los planes mineros y su estimación comparte, junto a las leyes y la metalurgia, un modelo de bloques común utilizado para estimar y comprometer la producción de un período.

El yacimiento de Los Bronces es un pórfido cuprífero de edad terciaria, al que se asocia un importante complejo de brechas hidrotermales de turmalina en

cuyas matrices se alberga la mayor parte de la mineralización de cobre (2).

El último decenio hemos explotado sucesivamente las brechas denominadas localmente Donoso, Central, Infiernillo y durante un año se trató monzonita cuarcífera con mineralización en vetillas y disseminada. Estos tipos de roca tuvieron rendimientos variables en Planta entre 350 y 600 toneladas por hora (Ver tablas 1 y 2). Ante la falencia de métodos tradicionales de laboratorio capaces de reproducir a escala industrial el comportamiento de la molienda semiautógena, (como por ejemplo el índice de Bond), recurrimos a la utilización exitosa de parámetros geológicos para predecir el tratamiento horario.

Se comenzó esta experiencia con Brecha Donoso, la que se caracteriza por estar compuesta mayoritariamente por clastos angulosos de monzonita cuarcífera con alteración diversa y una matriz compuesta de turmalina, cuarzo, sulfuros de cobre y fierro, y especularita, la que compone hasta un 15% del volumen de la brecha.

Combinando la interpretación de parámetros geológicos procedentes del mapeo de detalle, pudimos establecer empíricamente tres zonas que en Planta representan comportamientos contrastantes de moliendabilidad. Los parámetros geoló-

* Compañía Minera Disputada de Las Condes S.A., Casilla 16178, Santiago, Chile.

gicos más determinantes resultaron ser porcentaje de matriz, litología, grado de alteración y tamaño de los clastos.

Paralelamente se desarrolló un método cuantitativo, sólo utilizable en el corto plazo, consistente en el registro de parámetros de perforación de pozos de tronadura. Inicialmente el registro fue manual y posteriormente se reemplazó por un registrador electromecánico denominado stratalogger (3). De esta forma obtenemos valores de resistencia a la penetración (T) relacionando la velocidad de penetración (V_p), velocidad de rotación (V_r) del trepano y presión de empuje (P_f) expresada así:

$$T = \frac{V_p \times P_f}{V_r}$$

Este valor, que se correlacionaba estrechamente con los tratados en Planta, permitió validar y perfeccionar el criterio geológico para determinar la moliendabilidad. Este mismo criterio se aplicó a Brecha Central, evento caracterizado por clastos monzonito-cuarcíferos, subredondeados, de menor tamaño que la anterior y con una intensa alteración cuarzo sericitica, inmersos en abundante matriz (hasta 35% del volumen) compuesta por polvo de roca, turmalina, sulfuros de cobre y fierro, y especlarita.

Estas características geológicas respaldadas por registros de stratalogger que indicaban una muy baja resistencia a la penetración, nos llevaron a concluir - erradamente - que obtendríamos altos rendimientos en Planta.

En Brecha Central se manifestó, por primera vez, que paradójicamente, esta roca muy blanda in-

situ y que además produce una granulometría fina a la tronadura, genera muy bajos rendimientos horarios por su comportamiento anómalo en el molino. El ingreso de un material fino y blando al molino produce una rápida disminución del tamaño de las colpas quedando el molino sin este medio de molienda. El material fino se comporta como una masa viscosa ineficiente para continuar el proceso de atrición y abrasión de las partículas. Este error significó un déficit de tratamiento horario de mineral de 9.0% equivalente a 629.000 t menos de mineral procesado durante el año, o 3.620 t de cobre fino menos producidos en ese período.

Para mejorar esta condición se trabajó en optimizar la granulometría de tronadura y mezclando la alimentación a Planta con material de Brecha Donoso.

La experiencia obtenida respecto a la sensibilidad de la molienda semiautógena, a aspectos tales como granulometría y dureza in situ, permitió anticipar que la explotación en monzonita cuarcífera y andesitas provocarían una caída de aproximadamente un 15% en la producción.

Los parámetros geológicos que nos permitieron interpretar y efectuar una zonación de la moliendabilidad fueron: tipo de roca, RQD, fracturas por metro, alteración silícica y sericitica, complementados con tests de laboratorio, tales como tiempo de molienda para alcanzar una cierta granulometría, work index y carga puntual.

Con un año de anticipación se efectuaron tests industriales

Tabla 1

VALORES PROMEDIO DE TRATAMIENTO HORARIO OBTENIDOS POR TIPO DE ROCAS EN PLANTA
1987 - 1991

	<u>tph</u>
Brecha Donoso	493
Brecha Central	483
Monzonita Cuarcífera, Andesitas	346
Brecha Infiernillo	581 (*)

(*) Con Molino de Bolas en el circuito de molienda.

Tabla 2

COMPARACION ENTRE MOLIENDABILIDAD PROGRAMADA V/S REALIZADA

<u>Año</u>	<u>Programado</u>	<u>Realizado</u>	<u>Delta</u>
	tph	tph	%
83	425	439	3,3
84	439	461	5,0
85	508	520	2,4
86	512	515	0,6
87	566	515	(9,0)
88	533	501	(6,0)
89	473	444	(6,1) (*)
90	530	525	(0,9)

(*) Puesta en marcha del Molino de Bolas retrasada.

Tabla 3

BRECHA INFIERNILLO - RANGO DE MOLIENDABILIDAD
(Versión Simplificada)

	<u>Duro</u>	<u>Intermedio</u>	<u>Blando</u>
Tamaño clastos	> 100 cm	25-100 cm	< 25 cm
% Matriz	< 5 %	5 - 15 %	> 15 %
% Clastos de monzonita cuarcífera	> 25%	5 - 25 %	< 5 %
Vetillas de Cuarzo	Abundante	Moderada	Escasa
Alteración	Silicificación y epidotización fuerte	Sericitización débil	Sericitización intensa
(*) Dureza al martillo	Se fractura después de muchos golpes.	Marca superficial	Marca profunda con golpe fuerte.
Pieza mayor de testigo en 1 m	> 50 cm	7 - 50 cm	< 7 cm
Tiempo molienda para alcanzar 18% + 65 mallas.	> 37 min.	27 - 37 min	< 27 min
Rendimiento promedio en Planta	532 tph	578 tph	671 tph

(*) Según Hoek y Bray (4).

que corroboraron nuestros pronósticos y que condujeron finalmente a modificar la configuración de la Planta incluyendo la puesta en marcha de un molino de bolas.

Actualmente se explota Brecha Infiernillo, caracterizada por clastos principalmente andesíticos, subangulosos en una matriz (menos que 15 % de volumen) de clorita, turmalina, cuarzo, epidota, sulfuros de cobre y fierro. La tabla N°3 muestra los parámetros geológicos utilizados para zonificar su moliendabilidad y valor promedio obtenido en la Planta.

CONCLUSIONES

En Los Bronces, la explotación sucesiva de los cuatro tipos litológicos distintos ha producido un importante impacto en la producción. Mediante la aplicación de una geología de detalle, con orientación pragmática y habiendo desarrollado un lenguaje y objetivos comunes con los metalurgistas se ha tenido éxito en la predicción de la moliendabilidad semiautógena.

Un error común de asignar un solo valor de moliendabilidad a grandes unidades litológicas tiene un impacto económico importante. En molienda semiautógena, pequeñas variaciones en las características geológicas determinan importantes cambios de rendimiento. En el análisis para determinar los parámetros de interés no se debe eliminar a priori ninguno, ni extrapolar comportamientos a partir de otras experiencias.

La geología de operaciones de una mina requiere en primer término conocer todo el proceso produc-

tivo y con imaginación, meticulosidad y oportunidad, identificar todas las aplicaciones posibles del conocimiento geológico alcanzado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Cia. Minera Disputada de Las Condes S.A. su autorización para publicar el trabajo y a los metalurgistas de la Planta, sin cuya participación en estos años no habríamos tenido éxito en este esfuerzo.

REFERENCIAS

1. Vesely, M., 1987. Analysis of the Semi-Autogenous Grinding Process at Los Bronces, Cia. Minera Disputada de Las Condes S.A. First National Workshop on Autogenous Grinding of Minerals, C.I.M.M., pp. 29-41.
2. Warnaars, F., Holmgren, C. and Barassi, S., 1985. Porphyry Copper and Tourmaline Breccias at Los Bronces - Río Blanco, Chile. Economic Geology, Vol. 80, pp. 1544-1565.
3. Muñoz, O., Walker, Ch., 1985. Uso de Stratalogger para la Estimación de Dureza y sus Aplicaciones en Tronadura y Molienda Semiautógena. 36ava. Convención Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, Viña del Mar, Vol. 2, pp. 36-42.
4. Hoek, E. y Bray, J.W., 1977. Rock Slope Engineering. Ed. Institute of Mining and Metallurgy, pp.99.