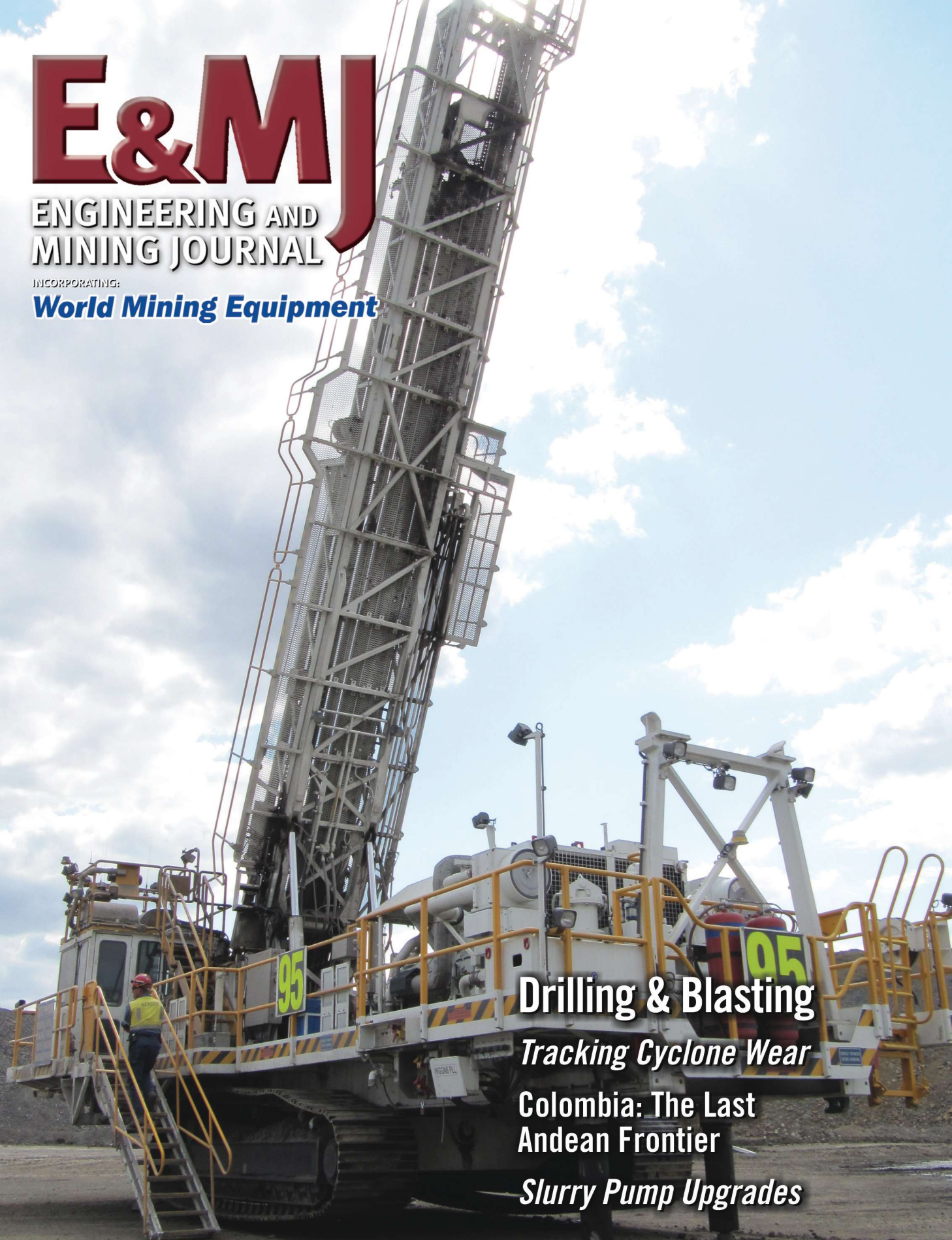


# E&MJ

ENGINEERING AND  
MINING JOURNAL

INCORPORATING:

**World Mining Equipment**



**Drilling & Blasting**

*Tracking Cyclone Wear*

**Colombia: The Last  
Andean Frontier**

*Slurry Pump Upgrades*



# Sistema de Monitoreo de Ciclones Mejora la Operación en la Concentradora Copperton de KUC

La nueva tecnología permite al molino identificar el material grueso que obstruye la alimentación a la flotación

Por Dylan Cirulis y Jerin Russell

La Concentradora Copperton de Kennecott Utah Copper (KUC) tiene cuatro líneas de molienda y cada una de ellas está compuesta por un molino SAG semiautógeno que alimenta a dos molinos de bolas en un circuito cerrado con una batería de hidrociclones (Ver Figura 1). El objetivo del circuito de molino de bolas/ciclones es producir el tamaño de partícula óptimo para alimentar la flotación y a la vez mantener la producción de molienda. El punto óptimo de operación es la compensación entre producción, recuperación y costo de molienda.

Copperton recientemente se enfocó en el rol que cumple la batería de ciclones y cómo monitorear el comportamiento de cada ciclón individual. Las variaciones de funcionamiento del circuito de molienda se traspasan a los ciclones y en muchos casos los ciclones entregarán material grueso al rebalse cuando no estén operando de acuerdo con su diseño. El material grueso presente en la alimentación a flotación reduce el rendimiento económico del concentrador debido a la recuperación de mineral de menor valor y en casos extremos por el bloqueo del paso en las celdas de flotación.

El sistema de detección de material de sobretamaño existente actualmente está instala-



Figure 2—Roca descargada de una fila de rougher después de un importante evento de rocas.

do en la línea de rebalse combinado de las baterías de ciclones. Dar una solución a la causa del sobretamaño resulta operacionalmente difícil además de requerir tiempo, lo que a su vez implica interrumpir por un período considerable el circuito de flotación antes de poder retirar el ciclón que está causando el problema.

Copperton y CiDRA recientemente instala-

ron una nueva tecnología para monitorear la descarga de material grueso en las líneas de rebalse de los hidrociclones individuales.

## El Valor de la Detección Temprana

El tamaño deseado de molienda para la alimentación a flotación en Copperton es de 32% +150 micrones (100 mesh). Un producto de ciclón mayor que 150 micrones es considerado como sobretamaño. Las partículas de 6 mm (~0,25 pulgadas) o mayores pueden considerarse "rocas" y un mayor flujo de este material puede bloquear las partes internas de las celdas de flotación, afectando su funcionamiento de manera muy importante. La Figura 2 muestra un ejemplo del material que ha sido descargado de una fila de rougher después de un evento severo de rocas. Algunas de las causas de un evento de "rocas" incluyen: Falla de la parrilla o trómel del molino SAG; falla del ciclón y degradación o falla del sistema de remoción de pebbles (piedras pequeñas) del molino SAG.

Es difícil cuantificar el impacto económico que tienen estos eventos de rocas de gran tamaño debido a la amplitud de sus efectos a través de las diversas áreas. Sin embargo, cualitativamente las pérdidas se asocian con: tiempo de detención de fila de rougher (pérdida de recuperación por menor tiempo de residencia), reducción de producción, daño del equipo (partes internas de la celda de flotación, bombas de pulpa, etc.), costos de limpieza y disminución del rendimiento de la celda en el tiempo (aunque no lo suficientemente importante como para llevar a su detención).

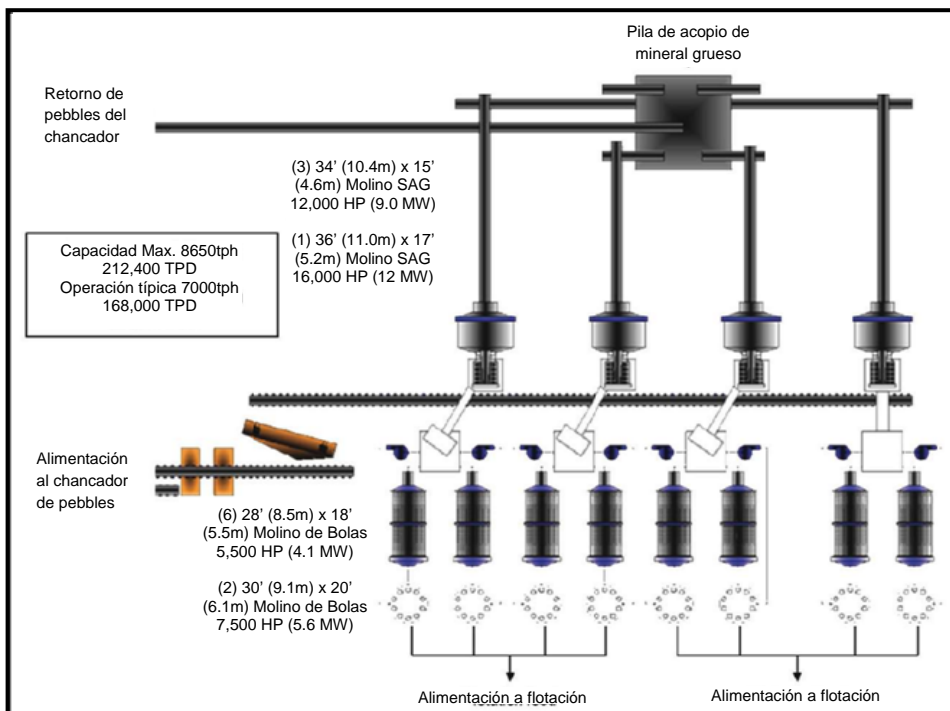


Figure 1—Diagrama de flujo de molienda de Concentradora Río Tinto Copperton

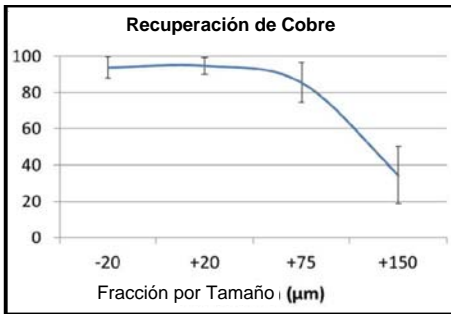


Figure 3—Recuperación de cobre por fracción por tamaño.

La recuperación de partículas minerales liberadas y de tamaño medio de +150-micrones en el circuito de flotación es significativamente menor que la de partículas de -150-micrones. Basados en los datos del analizador de liberación de mineral (MLA), el promedio de recuperación de cobre +150-micrones a largo plazo es significativamente menor comparado con la recuperación de partículas de -150-micrones (ver Figura 3). También, se debe considerar que la recuperación de fracción por tamaño de +150-micrones es considerablemente más variable para las de -150-micrones fracción por tamaño.

El valor reside en poder detectar un evento de rocas en forma temprana y optimizar el trabajo del ciclón para reducir la cantidad de partículas de +150-micrones en la alimentación de la flotación. La nueva tecnología se orienta a detectar la roca y a identificar la falla del ciclón y el (los) ciclón(es) que están produciendo rocas.

## Desarrollo del Nuevo Sistema de Monitoreo

Una forma de enfrentar los desafíos de molienda descritos anteriormente es optimizando el funcionamiento del sistema de molienda al nivel individual de los ciclones más que a un nivel de batería. Este tipo de aproximación tiene la ventaja de permitir que una batería de ciclones permanezca en operación mientras el problema de funcionamiento es aislado en uno o más ciclones individuales. Sin embargo, esto requiere un nuevo tipo de instrumentación, una que monitoree el funcionamiento de cada ciclón en tiempo real.

Una de las competencias fundamentales de CiDRA Mineral Processing es la medición de información acústica a través de la pared de una tubería. Esta tecnología no sólo se adapta bien al monitoreo individual de ciclones sino que además no es invasiva. El sensor se instala en la superficie exterior de la tubería, lo que permite que los sensores sean instalados y mantenidos sin interrumpir el proceso.

La tecnología de medición acústica de CiDRA, CYCLONetrac, entrega una solución novedosa para problemas tales como la existencia de rocas en el rebalse y posición inestable de la válvula de aislación de alimentación

(fallas de los switches limitadores). Además, el sistema entrega a la sala de control una indicación del modo de operación de cada ciclón. El sistema puede diferenciar entre un ciclón que está detenido (válvula de aislamiento de alimentación cerrada), uno que esté operando normalmente (finos en el rebalse y gruesos a la descarga) y los estados anormales como es la presencia de rocas en el rebalse.

Los prototipos se instalaron primero en Copper-ton en un dispositivo de almacenamiento masivo para registrar información acústica en tiempo real. Luego se procesó la información y se utilizó para desarrollar los algoritmos iniciales del CYCLONetrac. Luego se comparó el funcionamiento del sistema nuevo con el detector de material de sobretamaño existente en Copper-ton instalado en el rebalse combinado de la batería. El algoritmo de detección fue entonces

definido y se validaron los diseños de componentes físicos y del software del sistema.

Entonces, se construyó un sistema completo y se instaló en las ocho baterías de ciclones de la planta de molienda. La Figura 4 muestra los transmisores y la caja de conexiones para una batería, la banda del CYCLONetrac instalada en una tubería de rebalse y una batería completa con bandas.

El sistema consiste en un sensor y un preamplificador instalados en la superficie exterior de la tubería en el rebalse de cada ciclón. En la Figura 5 se muestra un esquema del sistema. Las salidas del preamplificador se conectan a los transmisores que realizan el procesamiento del primer nivel de datos para cada batería. La información acumulada por los transmisores es agregada por medio de un ordenador a la sala de control de Copperton. Esta informa-



Figure 4—CYCLONetrac instalado en batería de hidrociclones 8.



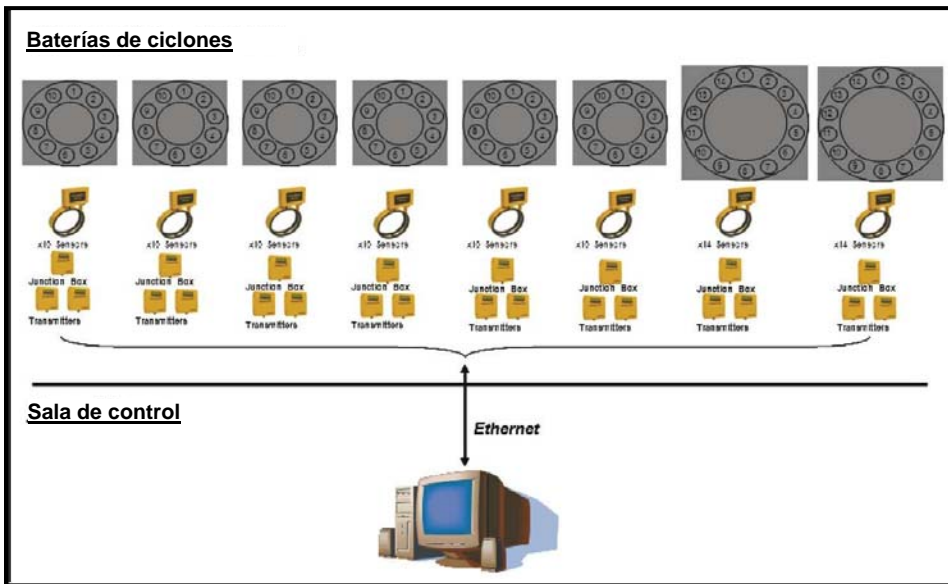


Figure 5—Diagrama del sistema CYCLONEtrac.

ción es utilizada por el sistema CYCLONEtrac para determinar el estado de cada ciclón en forma individual y el de cada batería de ciclones. Además del despliegue de información en tiempo real, los datos son almacenados para revisión y transmitidos al centro de información de CidRA para la generación de los informes diarios y semanales de funcionamiento y utilización. Tanto la información desplegada como los informes de resumen facilitan una programación inteligente de la mantención y ayudan a solucionar los problemas para reducir el tiempo de detención asociado a las mantenciones periódicas y reparaciones.

### Validación del Sistema

A través del desarrollo del sistema CYCLONEtrac se registraron los datos acústicos en tiempo real tanto para condiciones de operación normales como anormales, incluyendo 15 eventos severos de rocas. Uno de los eventos ocurrió el 3 de Febrero de 2009, y es analizado en este documento para demostrar la respuesta del sistema.

Utilizando los parámetros umbral definidos, el sistema detecta en forma exitosa un evento de rocas constante. Esta información se compara entonces con el sistema de detección de partículas de sobretamaño de Copperton a partir del historial de datos. El sistema CYCLONEtrac detectó este evento como se muestra en la Figura 6. La línea azul corresponde al nivel de presión acústica (SPL) calculado por el CYCLONEtrac. La línea azul muestra que el SPL de la señal acústica del hidrociclón No. 3 aumenta más de 6 dB durante el evento. Las barras de color marrón representan el número de impactos detectados por el CYCLONEtrac por cada minuto del evento (de las rocas golpeando la pared interior de la tubería), de acuerdo con lo

definido por el algoritmo.

Este evento fue aislado a un solo ciclón, como se muestra en una copia de la pantalla de la interfaz de la sala de control en la Figura 7, y el incremento de SPL y conteo de rocas no es detectado en ninguno de los otros ciclones. La línea sólida de color negro trazada con el SPL corresponde al monitor de partículas de sobretamaño de Copperton (en porcentaje de muestra) obtenido del rebalse combinado de los 10 ciclones de la batería. De esta manera un evento que habría sido generalmente asociado a la batería completa ha sido aislado por el CYCLONEtrac al ciclón individual afectado.

El evento terminó rápidamente (a los 800 segundos de la representación gráfica) cuando se detuvo el flujo de alimentación al ciclón afectado cerrando la válvula de aislación. El nivel de presión acústica (SPL) disminuyó rápi-

damente mientras que la cantidad de rocas y la señal de material de sobretamaño redujeron poco a poco, resultado de la tasa de muestreo más lenta.

Cuando se producen eventos de rocas, el sistema CYCLONEtrac alerta al operador de la sala de control indicando que se está reportando la presencia de rocas en los bancos rougher del sistema de flotación, lo que permite al operador o al sistema de control corregir el problema sin detener la batería completa.

Una breve campaña de muestreo se finalizó en Julio del 2011 y fue diseñada para confirmar plenamente el funcionamiento del sistema. Se instaló un muestreador en la descarga de rebalse de dos ciclones en baterías separadas por un período de 24 y 48 horas respectivamente. Durante estos dos períodos de muestreo el sistema CYCLONEtrac determinó el número de impactos en la pared de la tubería, indicando la presencia de rocas en el rebalse de ciclón particular que estaba siendo sometido a prueba. Al término del período de muestreo se recolectó el material del muestreador, se secó y se sometió a análisis. Existía una correlación entre el número de rocas (impactos en la pared) detectado y el número de rocas recolectadas. Resulta de interés el hecho que en el punto donde fueron detectadas las rocas la señal del detector combinado de rebalse % material de sobretamaño también se elevó.

El número de rocas lo suficientemente grandes como para detectarse era pequeño de manera que sólo es una hipótesis que las rocas recolectadas sean las que causaron los impactos. La región destacada del lado izquierdo de la Figura 8 muestra la elevación correspondiente en el detector de partículas de sobretamaño de Copperton aproximadamente a las 2:24 del 7 de Julio de 2011, y los dos impactos en la pared que fueron detectados por CYCLONEtrac al

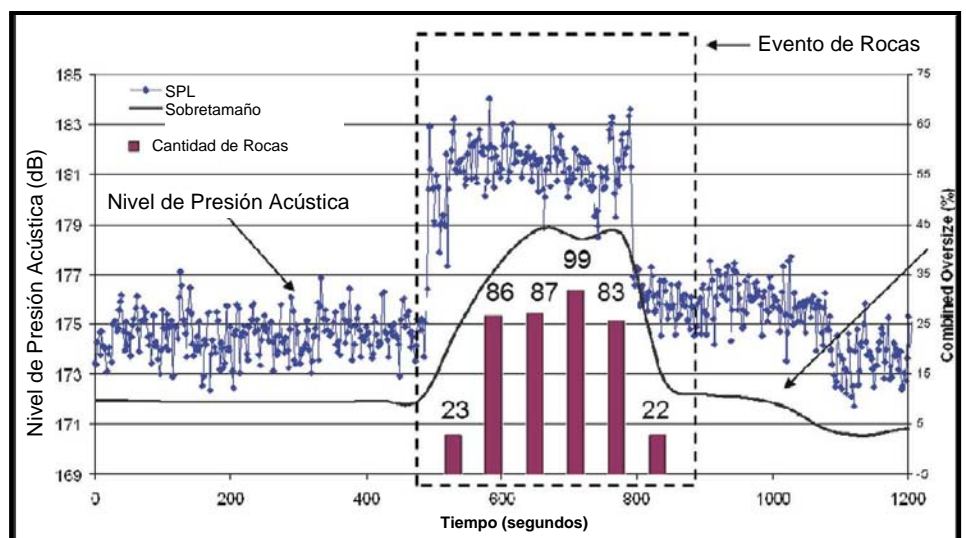


Figure 6—Datos de evento de rocas, 3/Feb/2009.

mismo tiempo (suponiendo que las dos rocas de gran tamaño fueron las que se recogieron en el muestreador).

Otra prueba simple de verificación se realizó al golpear con una llave metálica en la tubería de rebalse adyacente al sensor para simular impactos en la pared. Aunque los impactos en la parte exterior de la tubería no pueden simular completamente aquellos creados por las rocas en el interior de la tubería, sí prueban la capacidad del sistema para responder a una serie de impactos agudos. Como resultado de esta prueba, el sistema CYCLONEtrac detectó un evento de roca en el ciclón No. 3, en el lado derecho de la Figura 8, a las 10:00 del 8 de Julio de 2011. Cuando se detectó el evento se gatilló una alarma en la sala de control de Copperton y se iniciaron las notificaciones al equipo de desarrollo del CYCLONEtrac. Nótese que el detector de partículas de sobretamaño no respondió en este caso pues no había cambio en la distribución de partículas presentes en el rebalse del ciclón.

**Realización del Valor del Sistema**

El sistema de medición fue desarrollado para apoyar la detección de eventos de rocas; sin embargo, el foco principal de Copperton era identificar y resolver los problemas que tenían el sistema y la operación para eliminar la fuente del sobretamaño. Desde la instalación completa del sistema CYCLONEtrac, no ha habido eventos importantes de sobretamaño para comprender cabalmente el valor del CYCLONEtrac. En forma paralela con el desarrollo del CYCLONEtrac que comenzó en el año 2009, los análisis de causa de algunos eventos de rocas de so-

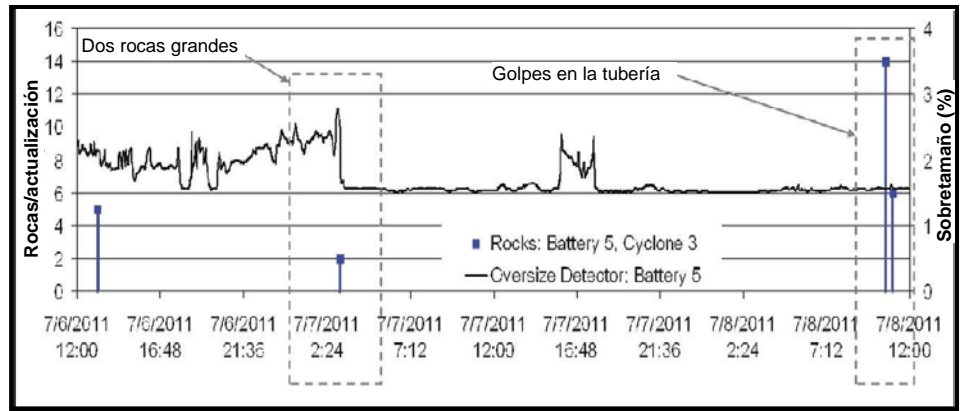


Figure 8—Datos de la prueba del muestreador.

bretamaño identificaron que el problema radicaba en la descarga del molino SAG. Como resultado de esto, se mejoraron las tácticas de mantenimiento de activos de Copperton poniendo mayor énfasis en la buena condición de:

- Ruedas de paleta (sacan las rocas del trómel para formar la alimentación de pebbles al chancador);
- Faldones de goma (evita que entren rocas al depósito de descarga del molino SAG); y
- Toberas (devuelven las rocas al molino SAG cuando el chancador está fuera de línea).

También, se mejoraron las tácticas de operación relacionadas con los eventos de material de sobretamaño. Se ha prestado mayor atención a las inspecciones de los equipos y las respuestas a los eventos han sido más inmediatas dada la valoración que se ha dado en el nivel operativo a los importantes efectos económicos que tienen tales eventos.

La constante preocupación por la causa raíz de los eventos de sobretamaño y la respuesta inmediata a los indicadores tempranos (en los molinos SAG) han reducido en forma drástica los eventos grandes que impacten a la flotación. Sin embargo, ahora la Concentradora Copperton cuenta con un sistema que detectará los eventos de rocas, un sistema que no invade el proceso y que sólo requiere mantención reducida.

El sistema CYCLONEtrac debe ser todavía formalmente integrado a las operaciones de Copperton, principalmente por la afinación de ajustes de los parámetros umbrales. La respuesta para un ciclón en estado de alarma ha sido que un operador tome una muestra del flujo individual de rebalse para verificar el sobretamaño y luego tome muestras en el resto de los ciclones de la batería. Si la muestra confirma que existe material de sobretamaño, se aísla el ciclón. Si no existe material de sobretamaño, se reconoce la alarma y se continúa con la operación normal. La estrategia de operación y los planes de respuesta de control para tales eventos requieren que todas las cuadrillas de finalización y de operación estén entrenadas para manejar el sistema.

Más importante aún, la información de operación ahora está disponible para cada ciclón en forma individual más que para la batería como una unidad total de operación. El potencial completo de esta información no ha sido totalmente explorado pero potencialmente existe la posibilidad de utilizar la información a partir del modo de operación para ser incorporada a la mantención de rutina y frecuencia de reemplazo del ciclón.



Figure 7—Captura de pantalla del monitor del ordenador de la sala de control.

*Dylan Cirulis es un metalurgista que trabaja en Kennecott Utah Copper y Jerin Russell es gerente senior de desarrollo en CiDRA Minerals Processing. Este artículo fue adaptado a partir de una presentación que Dylan Cirulis hizo en E&MJ's 2011 Mineral Processing, durante el mes de octubre en Lake Tahoe, Nevada, EEUU.*