



Optimización de proceso en Río Tinto – Kennecott utilizando medición en tiempo real del material grueso en flujos de overflow de cada hidrociclón

Robert Maron*, Jerin Russell, Paul Rothman, Christian O’Keefe, David Newton
CiDRA Minerals Processing, Wallingford, CT, USA
Dylan Cirulis
Rio Tinto Kennecott, South Jordan, UT, USA

RESUMEN

La presencia de material grueso no deseado en la alimentación de flotación impacta negativamente tanto la recuperación como el rendimiento de las plantas concentradoras. La detección de este material grueso es un problema de larga data en el procesamiento de minerales que ha sido deficientemente abordado por los sistemas de instrumentación existentes.

Este problema ha sido superado con el desarrollo de dos nuevos sistemas que detectan la presencia de material grueso en el overflow de cada hidrociclón en tiempo real. Ambos sistemas utilizan sensores instalados en la tubería de overflow del hidrociclón y suministran una medición robusta sin necesidad de mantención, lo que permite ejecutar las acciones correctivas a través de la intervención del operador o con estrategias de control automático.

Uno de ellos es un sistema no invasivo y detecta material muy grueso, de 6 mm o mayor tamaño. El otro sistema utiliza un sensor de inserción y detecta material grueso de menor tamaño hasta un límite de aproximadamente 100 μ m. Ambos sistemas han sido desarrollados comercialmente. Los sistemas serán descritos en detalle. Se mostrarán datos de validación e información típica de planta.

***Robert Maron**, CiDRA Minerals Processing, Wallingford, CT, USA, Director Gerente, +1-860-638-9928, rmaron@cidra.com



INTRODUCCIÓN

En el proceso de beneficio de minerales que incluye la trituración y posterior flotación, la recuperación de mineral depende en gran medida de que el tamaño de partícula entregado a la flotación sea el adecuado. El tamaño óptimo de partícula no debe ser ni muy fino ni muy grueso. Este artículo presenta una solución al desafío de mantener un tamaño óptimo de partícula en la alimentación de la flotación. En general, al reducir la cantidad de material grueso, se puede mejorar significativamente la recuperación y rendimiento de una planta. Debido a los diseños del proceso y del equipo, el problema con este material grueso generalmente se presenta de dos formas. La primera forma se relaciona con la entrega indeseada de partículas muy gruesas al circuito de flotación, de varios milímetros o incluso mayores. A menudo esto es el resultado de algunos sucesos específicos tales como, rotura del harnero del trómel en las descargas del molino, diversos malfuncionamientos de los hidrociclones clasificadores, o excesiva alimentación de alta densidad al hidrociclón. La segunda forma en que se presenta este problema se relaciona con la entrega indeseada de partículas gruesas que están sólo levemente por sobre el tamaño objetivo para la alimentación de la flotación, lo que generalmente se encuentra en un rango entre 100 μm y 200 μm . Esto generalmente es ocasionado por un control inadecuado del proceso de molienda o deficiencias en la clasificación realizada por el hidrociclón. El primer desafío, que se relaciona con la presencia de un material muy grueso, existe en diversos grados en muchas plantas, mientras que el segundo es un problema general que se encuentra en la mayoría de las plantas.

Dos soluciones relacionadas y basadas en innovadoras tecnologías de instrumentación se presentan. Estas soluciones han sido desarrolladas para enfrentar estos problemas de tan larga data. Estas soluciones contemplan sensores robustos que se instalan en las tuberías de overflow de cada hidrociclón para detectar la presencia de material grueso en tiempo real. Estos sistemas proporcionan información del tamaño del producto de overflow en tiempo real, lo que permite a los operadores tomar una acción correctiva en forma inmediata o adoptar diversas estrategias en la sala de control.

Ambas soluciones han sido desarrolladas comercialmente y serán descritas en detalle, incluyendo el problema específico que cada una resuelve, los diseños de sistema, su instalación y mantención, datos de validación y ejemplos de datos reales de planta. La convención utilizada en este artículo con relación al tamaño de partícula es la siguiente: “pebbles o piedras” son partículas de 6mm – 12mm y de mayor diámetro; “arena” corresponde a partículas de 100 μm – 200 μm y de mayor diámetro.

SISTEMA DE MONITOREO DE SOBRETAMAÑO (OSM)

Declaración del Problema – Monitoreo de Sobretamaño (OSM)

Muchos operadores ponen un énfasis primario en la gestión de activos, lo que se hace necesario cuando se trata de aumentar la eficiencia operacional. Sin embargo, la necesidad de extraer el máximo valor de una planta de molienda significa que los intervalos de mantención se dilatarán tanto cuanto sea lo máximo posible. Además, maximizar el retorno de la inversión en el equipo requiere operar la planta a la mayor capacidad de rendimiento posible sin comprometer la seguridad ni producir un desgaste excesivo del



equipo o reducir la recuperación. Esto presenta una amplia variedad de condiciones de operación pues un activo puede estar cerca de una mantención requerida mientras otros son nuevos o han sido recientemente acondicionados. Los hidrociclones corresponden a uno de esos activos que darán cuenta de material extremadamente grueso, como es el caso de los *pebbles*, en el overflow cuando no estén operando de acuerdo con las condiciones para las que fueron diseñados. Los pebbles en el overflow generalmente se traspasan directamente al sistema de flotación. Los pebbles en la alimentación de la flotación perjudican el rendimiento económico del concentrador pues disminuyen la recuperación aprovechable de mineral, reducen la eficiencia volumétrica en la celda de flotación y en algunos casos bloquean el paso del flujo en las celdas, produciendo detenciones parciales o completas de la planta. También, se ha detectado que los pebbles dañan los equipos aguas abajo del circuito de molienda o causan obstrucciones en las tuberías y los espesadores.

La detección de pebbles en el overflow consolidado de una batería de hidrociclones por medio de sensores acústicos o monitores de partículas del tipo tradicional tiene la desventaja de la baja sensibilidad, tasas de actualización reducidas e incapacidad de distinguir cuál de los hidrociclones está traspasando los pebbles. Determinar la fuente exacta del material de sobretamaño puede ser complicado y demoroso para el caso de cuadrillas de operación muy ocupadas y además, generalmente, es una actividad que debe ser realizada en forma manual. Mientras se trabaja en la solución del problema, el material de sobretamaño continúa uniéndose al circuito de flotación provocando con ello una considerable disrupción del circuito hasta que el hidrociclón que está ocasionando la perturbación se saca de la línea.

Con el apoyo de Río Tinto, CiDRA ha desarrollado e implementado comercialmente una nueva tecnología para monitorear las líneas de overflow de cada hidrociclón y detectar la presencia de pebbles y el aumento de P80 que va asociado a dicho incremento. Esta tecnología detecta los pebbles (del rango 6-12mm y de mayor tamaño) que pasan a través del overflow del hidrociclón. Al monitorear el overflow en lugar del flujo de fondo (*underflow*), estos pebbles pueden ser detectados sin importar la causa, ya sea que se deba a un vértice obstruido, una condición de acordonamiento, ciertas condiciones de operación, daños en el hidrociclón o su desgaste. Esta tecnología permite al operador reducir la cantidad de tiempo en que los pebbles pasan a través del overflow (llamado "*paso del pebbles o evento de pebbles*"). Permite al personal de planta identificar el daño al hidrociclón o exceso de desgaste y asegurarse si la causa del paso del pebbles reside en un circuito de molienda.

Diseño del Sistema – OSM

Una de las competencias esenciales de CiDRA es la medición de información acústica a través de la pared de una tubería (Gysling, Loose & van der Spek, 2005, y O'Keefe, Maron & Gajardo, 2007). CiDRA ha utilizado su conocimiento especializado para desarrollar el sistema CYCLONÉtrac OSM. Se ha observado que existe una alta probabilidad de que los pebbles golpeen el interior de una tubería de overflow de hidrociclón mientras pasan por ella. Incluso en presencia de revestimientos de goma, la partícula que golpea transmite suficiente energía mecánica en forma de ondas acústicas a través del revestimiento y al interior de la pared de la tubería. El sistema OSM utiliza un sensor acústico distribuido - de propiedad de CiDRA - que se instala en el exterior de la tubería y se conecta en forma mecánica con la tubería sin necesidad de acoplador. La onda acústica inducida por la partícula viaja a través de la pared de la tubería y es convertida por el sensor de CiDRA en señal eléctrica. Un algoritmo único extrae esta señal de muy

bajo nivel del ruido de fondo para identificar la ocurrencia del paso de pebble. El sistema informa la tasa con que estos eventos de pebbles ocurren y una alarma suena cuando los límites de esa tasa son sobrepasados. Al utilizar un sensor acústico distribuido en lugar de un sensor de punto, la probabilidad de detectar un pebble atravesando y golpeando el interior de la tubería de overflow se incrementa grandemente.

Instalación y Mantenimiento – OSM

El proceso de instalación consiste en 1) limpieza y posiblemente arenado de la tubería para eliminar acumulación de material, salpicaduras de pintura y otras protuberancias; 2) enrollar la banda de sensores alrededor de la tubería y encinarla utilizando tornillos imperdibles; 3) cubrir la banda de sensores con una cubierta hermética e instalar el cable de la banda al preamplificador integrado dentro de la cubierta del sensor; 4) montar los transmisores y las cajas de conexión de potencia/comunicación 5) conectar las líneas de potencia/comunicación entre los cabezales de sensor y los transmisores y entre los transmisores y las cajas de conexión de potencia/comunicación; 6) alimentar las cajas de conexión; y 7) conectar una línea Ethernet entre las cajas de conexión y el computador CYCLONetrac que generalmente se instala en la sala de control. En la Figura 1 se muestran fotos del sistema instalado. El proceso de instalación es no invasivo y permite que la batería de hidrociclones siga trabajando durante la instalación.



Figura 1 Sistema CYCLONetrac OSM instalado en Kennecott con transmisor y caja de conexión (foto superior izquierda) y una batería de hidrociclones completamente instrumentada (foto inferior)

Debido a la naturaleza no invasiva del instrumento no se requiere mantenimiento con programación regular

y no existe ningún mecanismo de desgaste inherente en el instrumento. El cabezal del sensor se puede volver a usar y puede reinstalarse cuando se reemplaza una tubería de overflow. Al reinstalarse no se requiere calibración alguna ni ponerlo en cero.

Validación de Datos – OSM

El sistema CYCLONEtrac OSM ha sido comercialmente desarrollado en la concentradora de Kennecott de Río Tinto en Utah, USA desde 2010 (Cirulis & Russell, 2011). El sistema ha sido totalmente validado y adoptado por la planta. Se utilizaron tres años de operación de la planta para validar el funcionamiento tanto en condiciones de operación normales como anormales, incluyendo muchas ocurrencias de paso de pebbles y arena. Durante este tiempo se utilizaron las tendencias de cada hidrociclón y la tendencia consolidada de cada batería de hidrociclones para ajustar los límites y las alarmas y así equilibrar la sensibilidad con respecto de las falsas alarmas. El adecuado ajuste de los límites ha permitido a los operadores controlar eficazmente el proceso de separación por medio de intervención manual. Al tiempo que el sistema despliega la tendencia de diversos tamaños de material grueso, el tamaño mínimo para detección repetible de las partículas individuales es de aproximadamente 6 a 12 mm (Fig. 2).

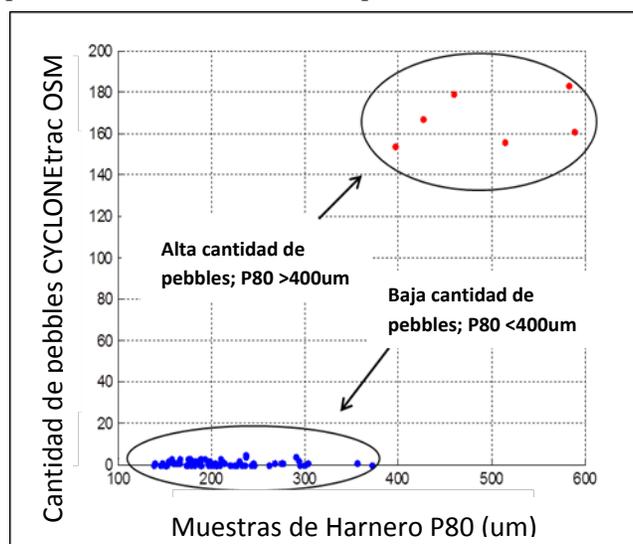


Figura 2 Validación en terreno, 78 muestras de harnero fueron analizadas y comparadas con la contabilización de pebbles del OSM. El cambio en el P80 debido al aumento en el flujo de masa de partículas extremadamente gruesas corresponde a los pasos de pebbles. En esta figura los círculos rojos indican los períodos en que se produjeron eventos de paso de pebbles y los círculos azules representan los períodos en que el sistema indicó que no había pebbles pasando.

Esquema de Control – OSM

Actualmente, con el sistema CYCLONEtrac OSM totalmente desarrollado e integrado a las operaciones de la concentradora, los operadores reciben información que puede ser procesada. Esta información le



entrega al operador la capacidad de poder determinar si existe algún problema en el funcionamiento de una batería completa o en un hidrociclón individual. Una interfaz hombre-máquina (HMI) instalada en la sala de control muestra las tendencias del funcionamiento global de cada batería de hidrociclones.

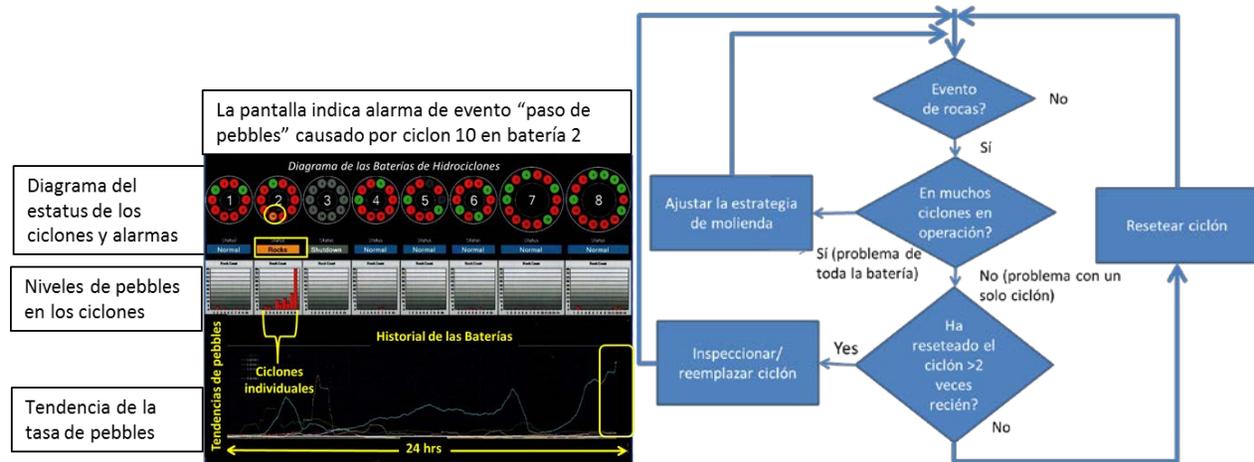


Figura 3 Izquierda, la pantalla muestra que se está produciendo un evento de "paso de pebbles." Derecha, muestra de hoja de flujo.

El operador distingue entre los dos tipos de eventos consultando las tendencias de nivel del evento en cada hidrociclón que conforma esa batería. Si se indica que la causa es uno de los hidrociclones (Fig. 4), entonces el hidrociclón que está fallando puede ser aislado y se reemplaza por otro. En otros casos, sin embargo, son varios hidrociclones los responsables de la tendencia al rápido aumento de eventos de paso de partículas de gran tamaño en una batería. En este caso el operador puede ajustar los parámetros de operación (por ej. la densidad de alimentación a hidrociclones) para que el sistema vuelva al estado regular (Fig. 5).

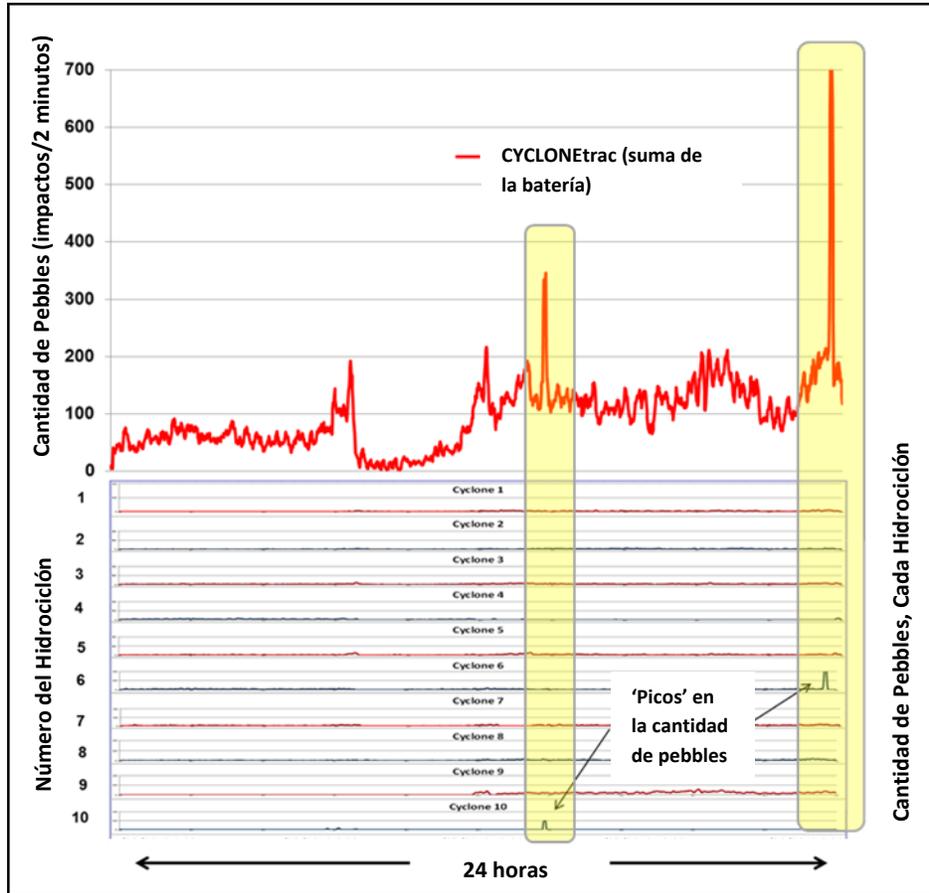


Figura 4 Un hidrociclón único causa un salto en la indicación de tendencia del material grueso del overflow combinado de la batería.

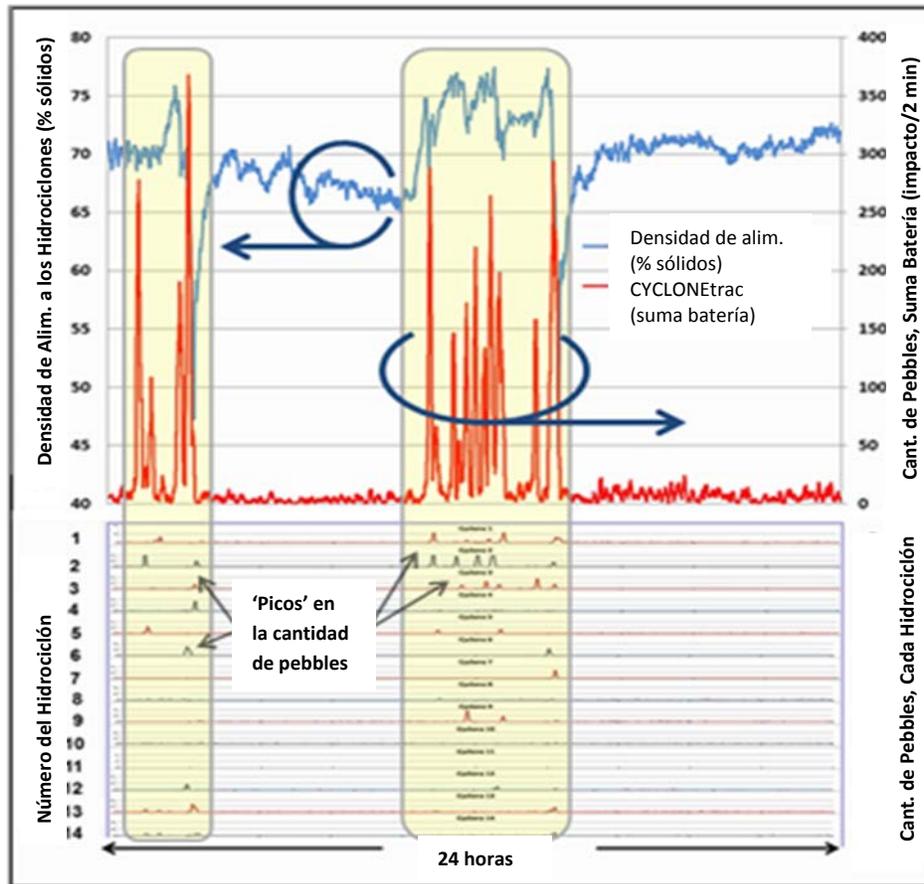


Figura 5 Varios hidrociclones causan el overflow combinado de la batería para desplegar saltos en la indicación de la tendencia del material grueso, lo que coincide con los aumentos en la densidad de la alimentación a la batería.

Conclusión – OSM

Durante varios años de operación comercial en Kennecott el sistema OSM ha probado ser valioso en la detección de grandes cantidades de pebbles en el overflow del hidrociclón, permitiendo tomar una acción correctiva inmediata y ayudando a evitar obstrucciones severas en la flotación rougher o en los circuitos de relave.

SISTEMA DE RASTREO DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS (PST)

Declaración del Problema – PST

La recuperación de mineral valioso se relaciona fuertemente con la distribución del tamaño de partícula del material entregado al circuito de flotación. La recuperación de material liberado y mixto (middling) de



+150um es significativamente menor que la de material de -150um. Esto se debe en parte a la reducción de liberación de mineral y a las limitaciones en la capacidad de recuperar partículas gruesas por medio de la flotación.

La capacidad de tomar decisiones basadas en el valor en términos de rendimiento y recuperación depende de la capacidad de medir el tamaño de la molienda. Para lograr un rendimiento y recuperación óptimos, el tamaño de la molienda que se alimenta a la flotación debe ser controlado y estabilizado en tiempo real. Actualmente, existen tres métodos para determinar el tamaño de molienda en Kennecott, todos con niveles variables de precisión y frecuencia. A saber: Análisis granulométrico en laboratorio de muestras de cabezas de rougher, muestreo de batería de hidrociclón en línea y overflow consolidado, y el procedimiento de Balanza Marcy©.

El análisis granulométrico de las muestras de la alimentación de rougher se considera la medición más confiable de la distribución del tamaño de partículas que se pueda presentar a las celdas rougher de flotación. En Kennecott la alimentación de rougher es una combinación de múltiples overflows de hidrociclones de molinos de bolas y, por lo tanto, no representa el funcionamiento de ningún circuito individual de molino de bolas. Por ende, las muestras del flujo de rougher no pueden ser utilizadas en una estrategia de control de molino de bolas para controlar el tamaño de partículas en tiempo real. Además, el muestreo y el tiempo de procesamiento retrasan la obtención de resultados por 24 horas. Esta demora hace difícil utilizar la información del tamaño de molienda para un control de proceso en tiempo real y para la toma de decisiones.

Los sistemas de muestreo en línea y los monitores de tamaño de partícula de ultrasonido se instalaron en Kennecott en cada una de las baterías en el año 2004. Estos sistemas toman muestras periódicamente del overflow consolidado de los hidrociclones. Luego se acondiciona la muestra y se mide el tamaño de partícula con un monitor de tamaño de partícula de ultrasonido. Desde su instalación, los instrumentos han demostrado requerir una mantención intensiva y como resultado de ello su uso ha decaído considerablemente.

El procedimiento de Balanza Marcy, basado en un procedimiento descrito por Wills (1988), lo utiliza el personal de Kennecott para obtener una indicación del tamaño de molienda en un momento específico. El procedimiento es relativamente rápido de ejecutar; sin embargo, es propenso a errores de muestreo y de procesamiento, lo que a su vez resulta en una medición inadecuada del tamaño de partícula. Más aún, la naturaleza manual del procedimiento impide que sea usado para el control automático de procesos.

Para lograr un control óptimo del proceso de molienda se necesita una medición precisa de tamaño de partícula en tiempo real. En Kennecott se ha instalado un sistema CYCLONetrac de CiDRA para ese propósito. El sistema CYCLONetrac PST ofrece la ventaja de un monitoreo de tamaño de partícula en tiempo real en el overflow de cada hidrociclón. Una cantidad variable de mediciones de tamaño de partícula se procesan estadísticamente para formar una indicación robusta del tamaño de partícula generado por el circuito de molinos de bolas. El sistema no requiere un sistema de muestreo de flujo y requiere muy poca mantención.

Diseño del Sistema – PST

El sistema CYCLONetrac PST consta del conjunto de sensores, la caja de interconexión y un computador



en la sala de control. El cabezal del sensor está compuesto por una sonda reforzada en contacto con el flujo del overflow y un conjunto de elementos electrónicos integrados protegidos por una caja metálica sellada. La sonda está recubierta por una capa extremadamente dura que refuerza su resistencia al desgaste. Cuando el flujo de pulpa golpea la sonda, ésta efectivamente “escucha” los impactos de las partículas individuales. La respuesta al impacto es procesada por un conjunto de elementos electrónicos integrados para inferir la distribución del tamaño de partículas en el flujo de pulpa. El sensor es alimentado por 24V y se comunica con una caja de conexiones por medio del protocolo MODbus.



Figura 6 Izquierda, sensor del CYCLONetrac PST. Derecha, sensor del CYCLONetrac PST instalado en la tubería

Baterías de Hidrociclones

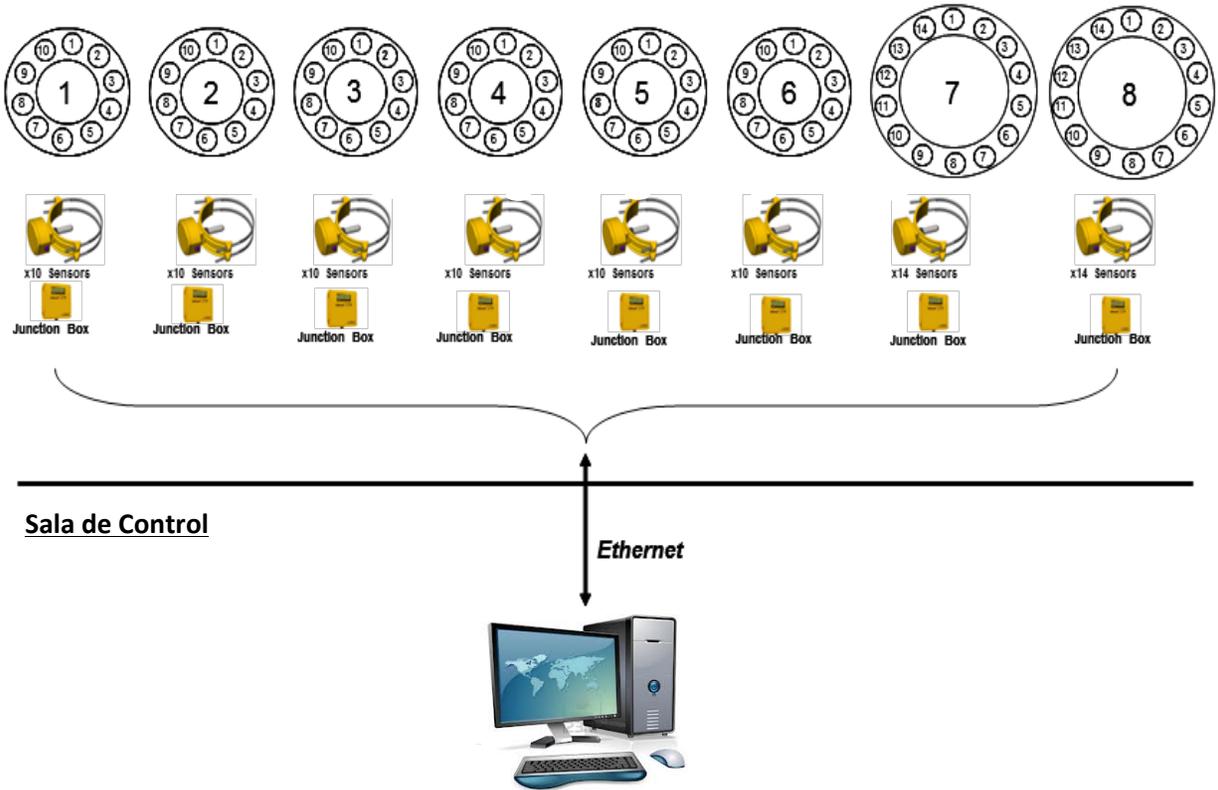


Figura 7 Diagrama del sistema CYCLONetrac PST instalado en Kennecott

Cada caja de conexión con capacidad para conectar hasta 16 conjuntos de sensores a la corriente continua (DC) y a los sistemas de comunicación. La caja de conexión toma el protocolo de comunicaciones MODbus de cada conjunto de sensores y lo traduce a información en una red Ethernet industrial y luego la transmite a un computador en la sala de control. El computador de la sala de control recolecta las mediciones de cada dispositivo y las traspassa al Sistema de Control Distribuido (DCS) de Kennecott a través de un túnel OPC.

Las tuberías de overflow existentes se modifican utilizando un taladro magnético portátil. La sonda PST se inserta a través del orificio y se asegura en su lugar con una fijación abrazadera simple de tubería tipo tapón. Si la unidad PST no está disponible se dispone de la fijación tipo tapón para que la tubería de overflow pueda volver a ponerse en servicio con un mínimo impacto en la disponibilidad del hidrociclón. Generalmente, una batería de hidrociclones tiene cierta cantidad de hidrociclones disponibles que no se usan. Esto permite instalar los dispositivos PST sin tener que detener el circuito de molienda.

La instalación de una unidad PST en una tubería de overflow ya perforada puede demorar hasta solamente 10 minutos. Una vez que el PST está instalado, prácticamente no existe impacto alguno sobre la



operación del overflow. Existen dos razones para ello. Primero, la sonda ocupa un área de superficie muy pequeña comparada con la sección transversal de la tubería. Segundo, la forma cilíndrica de la sonda crea una mínima perturbación en el flujo.

Validación del Sistema – PST

Después de que el sistema PST fue instalado en Kennecott, se llevó a cabo una campaña de muestreo para validar el funcionamiento del sistema. El personal de CiDRA y Kennecott trabajaron en estrecha colaboración para detectar las condiciones de operación del circuito de molienda dentro de un rango de tamaños de molienda. Durante la campaña de validación se recolectaron más de 130 muestras de overflows de hidrociclones individuales. Se realizó el análisis granulométrico de las muestras y los resultados fueron comparados con los del sistema PST. El tamaño específico de distribución de partícula que le interesa a Kennecott es el porcentaje de material sobre 150um (100 mallas). Como se indicó anteriormente, la recuperación de mineral valioso cayó significativamente en tamaño de molienda superior a 150um. Así, el sistema PST fue ajustado a la medida de la necesidad para proporcionar una indicación directa en tiempo real del porcentaje por peso del flujo que está por sobre 150um.

La Figura 8 muestra la señal en tiempo real recibida del sistema PST con las muestras de validación superpuestas. Durante la campaña de validación la variabilidad del muestreo se determinó como $\pm 3.1\%$ absoluto. Esta variabilidad se indica en la Figura 8 con las barras de error. La Figura 9 muestra las 130 muestras de validación comparando el porcentaje de análisis granulométrico de +150um con las lecturas del PST. La campaña de validación ha demostrado que el sistema PST es capaz de predecir el porcentaje +150um con una incerteza absoluta de $\pm 6.3\%$. Tomando en consideración la variabilidad del muestreo y la precisión del análisis granulométrico, los resultados de la campaña de validación aseguran a CiDRA y Kennecott que pueden confiar en que el sistema PST les proporcionará una medición de tamaño de molienda en tiempo real que puede usarse para una toma de decisión basada en el valor y control del proceso.

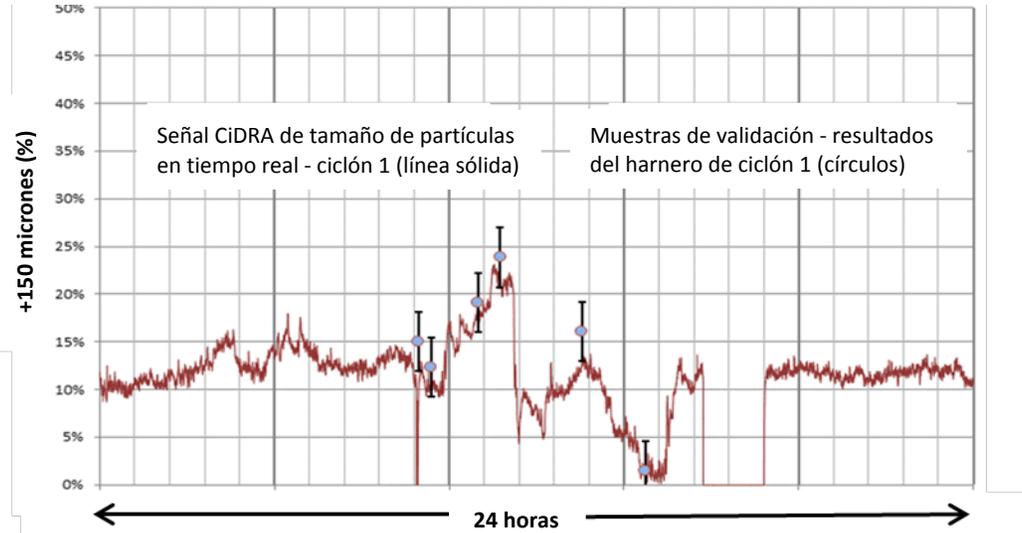


Figura 8 Hidrociclón 1 – Señal CiDRA vs Muestras de Validación

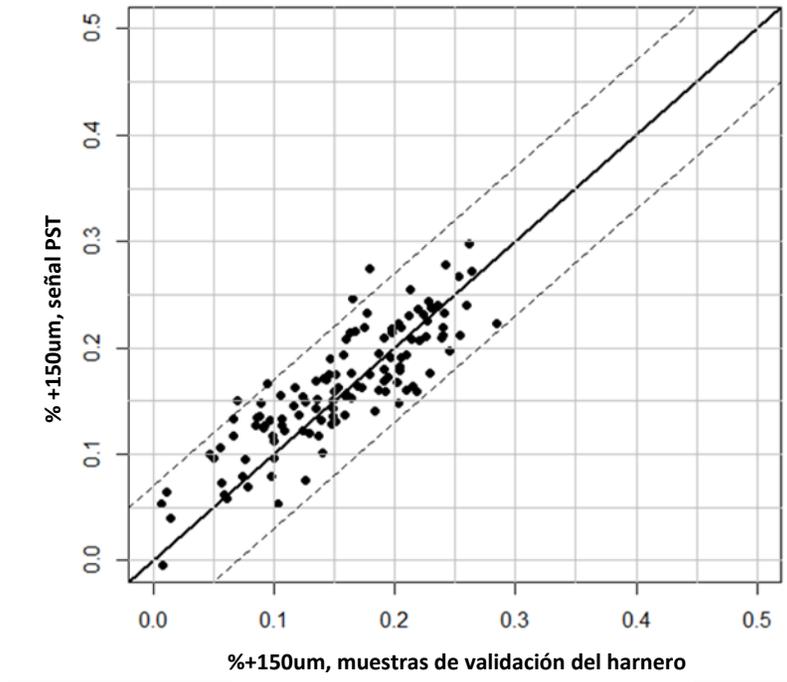


Figura 9 Porcentaje Fracción Másica +150um, Señal PST vs Muestras de Validación



Esquema de Control – PST

La optimización del tamaño de molienda en tiempo real requiere la concurrencia de tres componentes críticos. Primero, los elementos clave del proceso deben ser medibles en tiempo real. Este criterio se cumple ahora totalmente con el sistema CYCLONetrac PST. Segundo, el proceso debe estabilizarse utilizando estrategias de control de lazo cerrado. Tercero, el proceso debe ser dirigido a un punto óptimo de ajuste.

En Kennecott el molino de bolas y los hidrociclones están en un lazo cerrado. Los elementos principales de la eficiencia del hidrociclón son la densidad de alimentación y la presión de funcionamiento. Sin embargo, la capacidad de tratamiento, dureza del mineral y la recirculación de cargas son variables clave en la eficiencia de la molienda. Para poder abordar el segundo componente crítico de la optimización del tamaño de molienda, se ha desarrollado un esquema de control que utiliza la medición en tiempo real del PST para estabilizar el overflow de +150um (100 mallas) del hidrociclón. La base del control reside en la manipulación de la densidad de alimentación al hidrociclón dentro de otras restricciones del circuito. La Figura 10 muestra la estabilidad del tamaño de molienda bajo control automático. En el lado izquierdo de la Figura 10 la señal del PST muestra la variabilidad natural del tamaño de molienda. El tamaño de molienda es llevado a un punto de ajuste observando la señal del PST y ajustando manualmente la densidad de la alimentación. Sin control automático, el tamaño de molienda fluctúa mientras la densidad se mantiene constante. Finalmente, en el lado derecho del gráfico se muestra la estabilidad del tamaño de molienda bajo control automático. El sistema de control ajusta automáticamente el punto de ajuste de la densidad para mantener el tamaño de la molienda en ese punto.

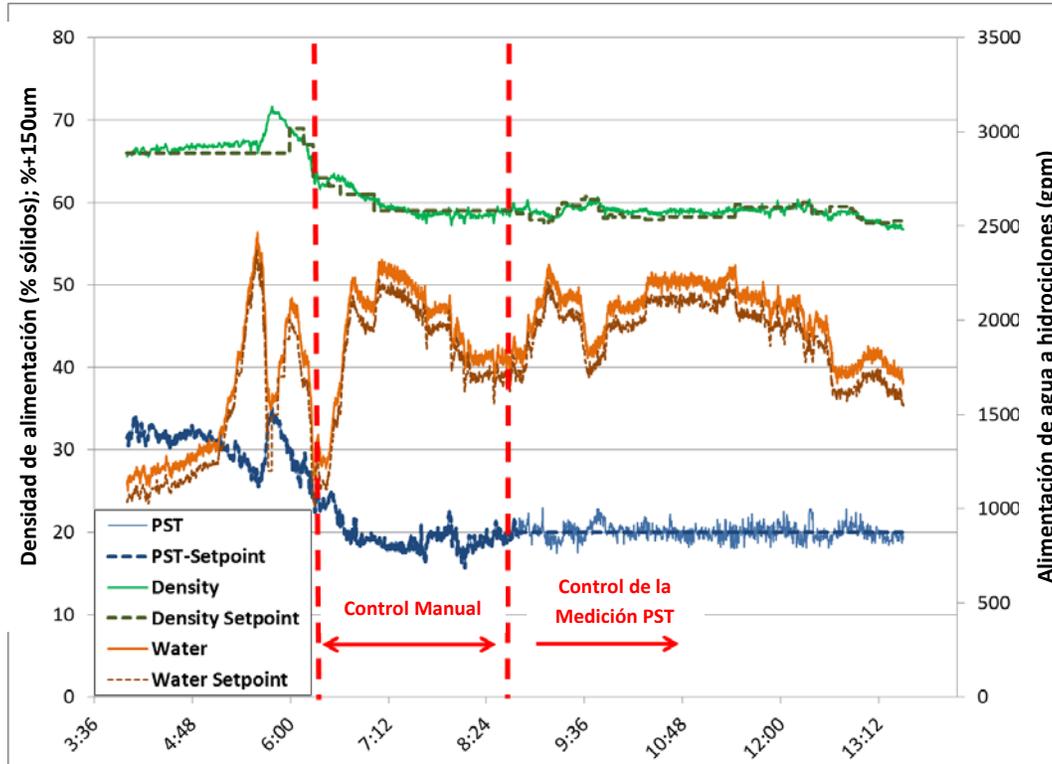


Figura 10 Manipulación de densidad para control con PST

El esquema de control de tamaño de molienda por lazo cerrado puede usarse ahora para mantener el consumo de potencia objetivo del molino de bolas y recircular la carga de modo de conseguir la máxima eficiencia de la molienda y evitar las sobrecargas del molino de bolas y las condiciones de acordonamiento en el hidrociclón. Las pruebas han demostrado que es posible mantener el rendimiento y

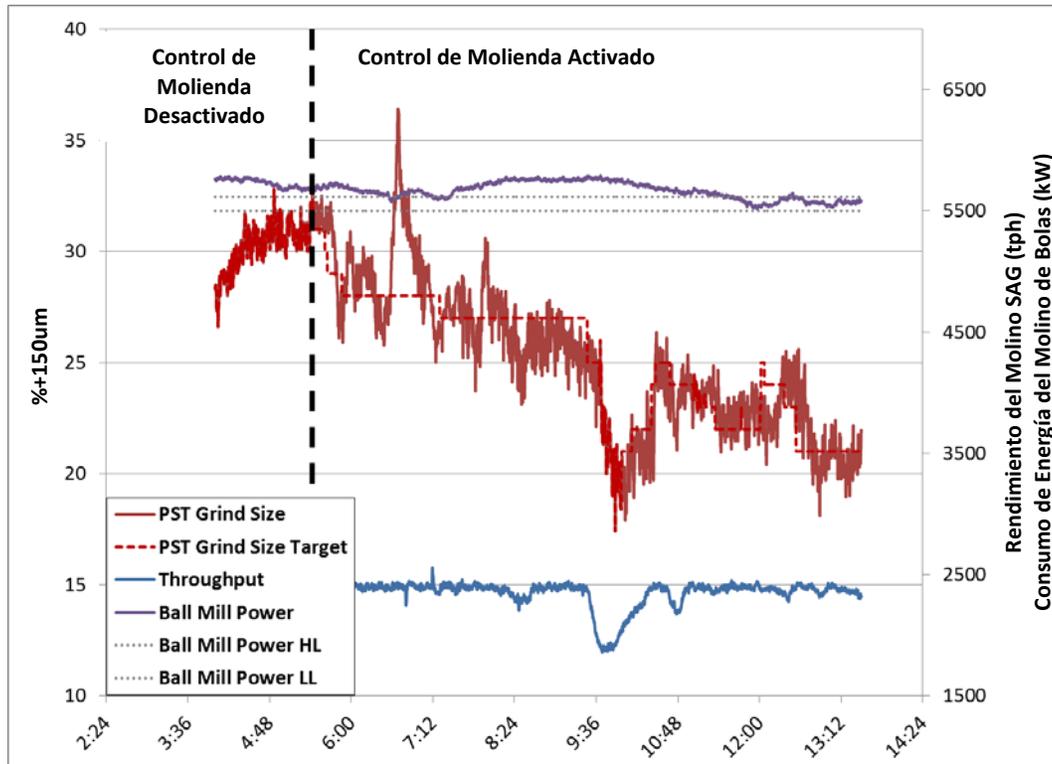


Figura 11 Reducción del tamaño de molienda con TPH constante y consumo de potencia objetivo del molino

el consumo de potencia objetivo del molino de bolas y a la vez reducir el tamaño de molienda. La Figura 11 muestra de qué forma el tonelaje del molino SAG se mantiene constante mientras el porcentaje de overflow de la batería de hidrociclones de +150um cae significativamente y al mismo tiempo se mantiene el consumo de potencia deseado.

Conclusión – PST

Aunque este esquema de control de primera generación es relativamente simple, el sistema PST está probando ser muy eficaz para permitir el control del circuito de molienda en Kennecott y finalmente será de ayuda para la toma de decisiones basadas en el valor con respecto del rendimiento, tamaño de partícula y beneficios de la recuperación.

CONCLUSIÓN – GENERAL

Dos innovadores sistemas han sido presentados que entregan soluciones al ya antiguo problema del material grueso en el overflow de los hidrociclones. Ambas soluciones, OSM y PST, son sistemas completos, basados en tecnologías de instrumentación de última generación que han sido desarrolladas y



validadas en conjunto con Kennecott en la concentradora de Copperton a lo largo de varios años. La información en tiempo real suministrada por el sistema OSM ha sido utilizada para desarrollar prácticas de operación que han eliminado las detenciones del circuito de flotación producidas por el bloqueo de las celdas. De la misma manera, la información en tiempo real entregada por el sistema PST ha sido usada para desarrollar la primera generación de control lógico de lazo cerrado que regula el porcentaje de alimentación de flotación +150um a un tamaño más fino de molienda mientras se mantiene la producción deseada de la línea de molienda. Además, se está realizando un sistema de control ampliado para optimizar la molienda del molino de bolas, equilibrar la molienda en toda la planta y tomar decisiones entre producción y recuperación de mineral basadas en el valor. Se ha presentado información de la planta con ejemplos operacionales que demuestran la forma en que se usan los sistemas para entregar valor.

AGRADECIMIENTOS

CiDRA agradece la cooperación recibida de Río Tinto - Kennecott y de la gran cantidad de miembros del personal durante el desarrollo, implementación y en la fase operativa de este trabajo.

REFERENCIAS

- Cirulis, D. & Russell, J. (2011) 'Cyclone Monitoring System Improves Operation at KUC's Copperton Concentrator', *Engineering and Mining Journal*, Dec. 2011, pp. 44-49
- Gysling, D.L., Loose, D.H. & van der Spek, A.M. (2005) 'Clamp-on, sonar-based volumetric flow rate and gas volume fraction measurement for industrial applications', *Flomeko*, Jun. 6-9.
- O'Keefe, C., Maron, R. & Gajardo, L. (2007) 'Application of passive sonar technology to minerals processing applications', *Proceedings of the 4th International Meeting on Mining Plant Maintenance*, Gecamin, Viña del Mar, Chile, 5-7 Sept.
- Wills, B.A. (1988) 'Technical Note: A Rapid Method for Measurement of Fineness of Grind', *Minerals Engineering*, Pergamon Press plc, vol. 1, no. 1, pp. 81-84.