



ESPECIAL TÉCNICO

Foto: Freepik.com - Montaje digital: Fabián Rivas

Control de fluidos en minería:

De la operación reactiva a la gestión predictiva

La gestión de slurry, relaves y sistemas de piping enfrenta hoy un cambio de paradigma: desde el control de variables aisladas hacia una comprensión integrada del sistema, donde velocidad, transientes y datos operacionales definen la confiabilidad.

Por Constanza Schaub

En minería, el transporte de fluidos -particularmente en sistemas de slurry y relaves- ha dejado de ser un componente operativo para convertirse en un sistema crítico cuya estabilidad depende de un delicado equilibrio entre variables altamente dinámicas. Velocidad, granulometría, reología y condiciones transientes interactúan en tiempo real, en un entorno donde la variabilidad del mineral y las exigencias operacionales tensionan permanentemente los supuestos de diseño.

En este escenario, la confiabilidad ya no se juega en el control de parámetros aislados, sino en la capacidad de comprender el sistema como un todo, integrar datos operacionales y anticipar desviaciones antes de que se traduzcan en fallas.

“La velocidad es probablemente la variable más subestimada. Define si el sistema opera de forma estable o si comienza a degradarse rápidamente”, advierte Rafael Ahumada, gerente de integridad de procesos de Collahuasi y director de Fluent Pipe de Adrium.

El desafío es que ese equilibrio es altamente sensible. Operar bajo la velocidad crítica puede generar sedimentación y obstrucciones; excederla, en cambio, acelera significativamente el desgaste. En ambos casos, el resultado es una pérdida de confiabilidad que impacta directamente la continuidad operacional.

A esta mirada se suma la creciente complejidad de variables como la granulometría y la reología de las pulpas, que -según advierte Katherine Ascencio, superintendente

de relaves de CMP y presidenta del directorio de Fluent Pipe- resultan particularmente difíciles de estabilizar en operación, debido a la variabilidad del mineral y de las concentraciones de sólidos, lo que introduce desviaciones relevantes respecto de los parámetros de diseño.

DEL DISEÑO TEÓRICO A LA OPERACIÓN REAL

Uno de los desafíos primordiales en el control de fluidos, es la brecha entre el diseño de los sistemas y su comportamiento en operación real. Históricamente, muchos sistemas han sido concebidos bajo condiciones promedio que, en la práctica, no representan la variabilidad propia de la operación minera, analiza Ahumada. Cambios en la mineralogía, en la concentración de sólidos o en las condiciones de operación generan desviaciones relevantes respecto de lo proyectado. A esto se suma, en muchos casos, una limitada integración de la experiencia de mantenimiento en las etapas de diseño.

Para Ascencio, en tanto, una de las brechas relevantes radica en la forma en que se definen los parámetros de diseño. Mientras estos suelen basarse en valores objetivo, en la práctica operan dentro de rangos altamente variables, particularmente en lo relativo a la pulpa. Esta variabilidad obliga a tensionar las decisiones de ingeniería entre robustez operacional y costos de implementación, lo que condiciona el desempeño real de los sistemas.

Frente a este escenario, la industria ha comenzado a avanzar hacia enfoques más integrados, incorporando datos reales de operación, modelamientos dinámicos y una mirada multidisciplinaria que vincula ingeniería, operación y mantenimiento.

FACTORES DE RIESGO

El comportamiento de los sistemas de piping está determinado por una combinación de factores que interactúan



Foto: Collahuasi

▣ **Rafael Ahumada,** gerente de integridad de procesos de Collahuasi.

de manera simultánea. Entre ellos, la abrasión, la corrosión y los eventos dinámicos -o transientes- constituyen el núcleo de los principales riesgos operacionales.

“Más que soluciones aisladas, la tendencia apunta a estrategias integradas que combinan diseño hidráulico, selección de materiales y control de condiciones operacionales. La base sigue siendo un buen diseño hidráulico, que evite zonas de bajas y altas velocidades o cambios bruscos de dirección”, explica Ahumada.

A esto se suma una creciente sofisticación en materiales y revestimientos, incluyendo soluciones híbridas que permiten enfrentar simultáneamente fenómenos de desgaste y corrosión. Sin embargo, uno de los factores más críticos sigue siendo el manejo de transientes.

VALOR REAL Y LÍMITES OPERACIONALES

La automatización ha ganado espacio en la gestión de sistemas de fluidos, pero su efectividad depende de cómo y dónde se implementa. Lejos de soluciones genéricas, su valor radica en el control de variables críticas del sistema.

“Lo que realmente aporta valor es la automatización enfocada en variables como la velocidad del flujo, la densidad del slurry y los cambios



Foto: CMP

▣ **Katherine Ascencio,** superintendente de relaves de CMP.

“Más que soluciones aisladas, la tendencia apunta a estrategias integradas que combinan diseño hidráulico, selección de materiales y control de condiciones operacionales”, señala Rafael Ahumada.

Foto: Codelco



La confiabilidad no depende de una única variable ni de una solución puntual, sino de la capacidad de entender el comportamiento del sistema en su conjunto y anticipar sus desviaciones.

“Lo que realmente aporta valor es la automatización enfocada en variables como la velocidad del flujo, la densidad del slurry y los cambios bruscos de presión”, comenta el ejecutivo de Collahuasi.

bruscos de presión”, comenta Ahumada.

Cuando se aplica correctamente, permite prevenir fenómenos como sedimentación, sobrepresiones o desgaste acelerado. Sin embargo, su implementación no está exenta de desafíos.

Desde la perspectiva operacional, uno de los principales desafíos sigue siendo cultural y organizacional. Existe aún resistencia a la incorporación de mayores niveles de sensorización de procesos, en parte por la percepción de que complejiza los sistemas.

Sin embargo, para Katherine Ascencio, la automatización efectiva requiere precisamente lo contrario: aumentar la visibilidad del proceso mediante datos confiables, junto con fortalecer las capacidades de los equipos para interpretar esa información y tomar decisiones operacionales informadas.

DEL MONITOREO AL CONTROL PREDICTIVO

Uno de los cambios más relevantes en la gestión de fluidos es la evolución desde esquemas de monitoreo hacia enfoques predictivos. El foco ya no está únicamente en medir variables, sino en interpretar comportamientos.

“Hoy ya no se trata solo de saber qué está pasando, sino de anticipar lo que va a pasar. El uso de sensores en línea, monitoreo de espesores y análisis de datos operacionales permite identificar zonas de desgaste crítico, anticipar obstrucciones y detectar condiciones fuera de diseño antes de que se traduzcan en fallas”, detalla Ahumada.

Esto habilita decisiones operacionales más oportunas, desde ajustes en condiciones de operación hasta intervenciones preventivas, con impacto directo en la continuidad operacional.

Las fallas más relevantes en sistemas de control de fluidos -como roturas de tuberías, bloqueos o fugas- suelen estar asociadas a condiciones extremas más que a operación normal.

“Los sistemas no fallan en condiciones normales, fallan en los extremos. Golpes de ariete, desgaste no detectado o desviaciones operacionales son, en muchos casos, síntomas que no fueron gestionados oportunamente, plantea Ahumada.

En esa misma línea, Ascencio advierte que eventos como roturas de líneas o fallas en sistemas de bombeo no solo impactan la continuidad operacional, sino que pueden generar consecuencias ambientales y detenciones completas de faena, reforzando la necesidad de avanzar hacia esquemas de mantenimiento predictivo y diseños más robustos desde su concepción.

El control de fluidos en minería está transitando hacia un enfoque donde la ingeniería, la operación y los datos convergen en una gestión más integrada del sistema.

En este nuevo escenario, la confiabilidad no depende de una única variable ni de una solución puntual, sino de la capacidad de entender el comportamiento del sistema en su conjunto y anticipar sus desviaciones.

Se trata, en definitiva, de un cambio de paradigma: pasar de reaccionar ante fallas a diseñar sistemas capaces de evitarlas.