Aplicación de procesos de ciclonado, espesamiento y filtración a proyectos de relaves polimetálicos.

Autor: Eduardo Casanova – Sales Manager LATAM – TH COMPANY

1. Introducción:

La gestión de relaves polimetálicos plantea importantes retos ambientales y operativos. En este contexto, las tecnologías de filtración se han consolidado como una solución clave, al favorecer un tratamiento más sostenible de estos residuos, reducir la necesidad de grandes balsas de lodos en numerosos proyectos de Sudamérica y minimizar su impacto ambiental.

Con más de 60 años de experiencia en el diseño y desarrollo de soluciones de filtración para la minería, TH COMPANY ha desarrollado una propuesta innovadora que va más allá de la filtración e integra esta tecnología con procesos de ciclonado y espesamiento. Además, aplica un proceso consultivo integral que permite definir la solución técnica más adecuada para cada proyecto, mejorar la eficiencia global del proceso y reducir tanto la inversión inicial como los costes de operación y mantenimiento.

Esta metodología se articula en cinco fases: caracterización del relave, diseño conceptual, ensayos piloto, ingeniería de detalle, y suministro e instalación. Cada etapa proporciona la información necesaria para valorar la viabilidad técnica y económica de las distintas alternativas de tratamiento y determinar si la solución óptima debe basarse únicamente en la filtración o incorporar procesos adicionales, como el hidrociclonado y el espesamiento.

Para ilustrarlo, se analizará uno de los proyectos más recientes de tratamiento de relaves polimetálicos desarrollados por TH COMPANY en la región de Potosí, Bolivia, junto con el estudio preliminar de un proyecto actualmente en desarrollo en Perú, el cual pondrá de relieve la opción de optar en este segundo caso por una solución más tradicional frente al enfoque avanzado que combina las tres tecnologías.

2. Objetivo:

El objetivo final de este caso destacado es profundizar, a partir de la experiencia acumulada en los últimos años, en el proceso consultivo necesario para abordar proyectos de relaves. Este enfoque permite evaluar, desde una perspectiva operativa y económica, la viabilidad de optar por una solución de relaves deslamados frente a los relaves filtrados tradicionales.

3. Método / Proceso consultivo:

El proceso consultivo previo que realizamos en cada uno de nuestros proyectos de tratamiento de relaves comprende las siguientes etapas: caracterización granulométrica, química y mineralógica del material; la definición de alternativas de proceso; los ensayos de hidrociclonado, decantación y filtración sobre muestra real; y, finalmente, el dimensionamiento de los equipos y la comparación económica. La metodología consultiva compara la eficiencia económica y operativa de una solución tradicional, basada en equipos de decantación y filtración, con una alternativa más avanzada que incorpora una etapa previa de hidrociclonado. Este proceso reduce la carga sólida enviada al filtro, lo que permite optimizar su dimensionamiento, mejorar su rendimiento operativo y prolongar su vida útil.

En concreto se desarrollan los siguientes procesos de análisis y ensayos para evaluar las alternativas:

- Caracterización del relave y determinación de la distribución de tamaños y densidad del sólido.
- Ensayos de hidrociclonado para cuantificar la fracción retirada y la carga que permanece en el overflow.
- Ensayos de sedimentación con diferentes condiciones de floculación.
- Pruebas de filtración para determinar humedad de torta, tiempo de ciclo, presión y espesor.
- Comparación de alternativas considerando inversión, energía, mantenimiento e integración de equipos existentes.

4. 1º Caso: Proyecto Planta de Tratatamiento de Relaves Landsilver en Bolivia

Punto de partida del proyecto

El proyecto se planteó en un escenario condicionado por la capacidad disponible para la disposición de relaves. La presa existente se encontraba próxima a su límite de capacidad y el material procedía del beneficio de dos minas, por lo que presentaba una alimentación heterogénea. A ello se añadía la naturaleza polimetálica del relave, su elevada carga másica, el carácter abrasivo de la fracción gruesa y la variabilidad de concentración de sólidos y granulometría. También se contemplaba la reutilización de equipos ya instalados, entre ellos hidrociclones y espesadores.

Con este punto de partida, el objetivo no era únicamente alcanzar una humedad determinada, sino definir una configuración que permitiera reducir la inversión y los costos de operación, mantener la disponibilidad de la instalación y limitar el impacto asociado a la disposición del relave.

Dos alternativas tecnológicas

Sobre esta base se enfrentaron dos posibilidades. La primera correspondía a una configuración convencional de filtración directa: decantación seguida de filtración mediante filtro prensa, procesando el relave completo. La segunda incorporaba un deslamado previo mediante hidrociclonado y escurrido mecánico, seguido de decantación y filtración. En esta segunda alternativa, la fracción gruesa se retira antes del filtro y se dirige a acopio, mientras la fracción fina continúa hacia las etapas de deshidratación.

La cuestión de diseño fue determinar si la reducción de carga al filtro compensaba el equipamiento y la capacidad adicional requeridos en las etapas anteriores. La respuesta se buscó mediante ensayos sobre la muestra del proyecto, evitando asumir de antemano que el deslamado sería favorable.

Diseño conceptual: ventajas esperadas y riesgos técnicos

El balance conceptual consideró 475 t/d de sólidos secos y 42 % del sólido por encima de 63 µm. El esquema con hidrociclón y escurridor vibrante preveía retirar aproximadamente 30 % de la carga másica antes de la decantación y filtración. Aproximadamente 332 t/d de sólidos permanecían en la fracción fina destinada al filtro y 143 t/d se derivaban como fracción gruesa hacia acopio.

Entre las ventajas teóricas de incorporar el proceso de deslamado se identificaron las siguientes: La reducción del OPEX del proceso, la reducción de la huella global de planta, un menor mantenimiento por desgaste abrasivo en filtración, un posible incremento de rendimiento de decantación y filtración así como una menor superficie filtrante que acarrearía una posible reducción de CAPEX.

Pero al mismo tiempo, se identificaron los siguientes tres riesgos que debían comprobarse: una posible pérdida de rendimiento de decantación por la menor carga superficial de la fracción fina; una posible pérdida de rendimiento de filtración, asociada a mayor ciclo o menor espesor de torta; y un eventual incremento del CAPEX por la necesidad de mayor superficie de decantación y por los nuevos equipos de separación.

Ensayos y resultados obtenidos: ventajas esperadas y riesgos técnicos

Tras esta fase, se procedió a realizar distintos análisis y ensayos que abarcaron la caracterización del material y ensayos de hidrociclonado, decantación (Velocidad de Decantación/LímitesAttenberg) y filtración, obteniendo las siguientes conclusiones:

• El hidrociclonado permitió retirar aproximadamente 30 % de la carga másica antes de la decantación y filtración.

• La fracción menor de 63 µm presentó una velocidad de sedimentación claramente inferior a la de la muestra bruta y una demanda estimada de superficie de decantación 3,2 veces superior.

• La humedad mínima de referencia para una torta mecánicamente estable pasó de 15 % en la muestra bruta a 22 % en la fracción fina; en filtración estándar se obtuvieron 19 % y 25 %, respectivamente.

• El secado con aire comprimido a 7 bar permitió reducir la humedad de la muestra bruta hasta 8 % en las condiciones ensayadas.

• Sin secado, la diferencia de humedad entre las tortas de muestra bruta y fracción fina fue de 6 puntos porcentuales, aunque su aspecto, desprendimiento y descarga fueron comparables.

Comparativa económica de las dos alternativas

Con los resultados de los ensayos se realizó la comparación económica. La opción A, de filtración directa sin deslamado, contemplaba un decantador NK-80 y un filtro prensa APN20 SL de 54 cámaras, además de los equipos auxiliares. Su principal ventaja era una menor inversión inicial, al evitar el circuito adicional de hidrociclonado y escurrido y procesar directamente el relave completo.

La opción B, con deslamado previo, incorporaba grupo de bombeo, hidrociclón y escurridor, dos decantadores NK-80 y un filtro APN20 SL de 46 cámaras. La reducción de cámaras estaba relacionada con la menor carga sólida que llegaba al filtro, mientras que el costo adicional se concentraba en las etapas de separación y decantación.

El resultado comparativo presentado en la ponencia muestra un compromiso claro: la opción A presenta aproximadamente 10 % menor CAPEX, mientras que la opción B presenta aproximadamente 10 % menor OPEX. La comparación no identifica, por sí sola, una alternativa universalmente superior; la selección depende del balance entre inversión inicial, costos de operación y condiciones específicas de la instalación.

Implementación y beneficios obtenidos en la planta

Tras todo este proceso consultivo se procedió a la implantación de la solución de tratamiento de relaves para LandSilver, la cual a la vista de las conclusiones obtenidas, incorporó un sistema de deslamado previo, que incorporaba tecnología de hidrociclonado y escurrido, como etapas previas a la decantación y filtración, integrando equipos existentes del cliente con nuevos equipos de TH COMPANY. La planta opera con una capacidad de 475 t/d e incluye dos espesadores de 100 m³, un tanque pulmón de 150 m³, una bomba centrífuga de doble etapa de 180 m³/h a 16 bar, una bomba de desplazamiento positivo SIX 20 de 180 m³/h a 16 bar y un filtro prensa APN20 SL PPI TF 46/40.

Tras la puesta en marcha se ha reportado una reducción de 15 % en la superficie filtrante requerida, 8 % en el consumo energético de la operación de filtración y 10 % en el OPEX previsto.

5. Segundo caso: Proyecto de relaves de concentrado de cobre con pirita

El segundo caso permite observar el efecto de la mineralogía sobre la respuesta del proceso. La muestra presentó 34 % de sólidos por encima de 63 µm, una densidad real de 5,15 g/cm³, una concentración de 35 % en peso y un retiro de aproximadamente 30 % de los sólidos mediante ciclonado. La densidad es casi el doble de la registrada en LandSilver, cuya muestra presentó 2,65 g/cm³.

La diferencia más importante respecto del primer caso se observó en la sedimentación. La velocidad natural fue de aproximadamente 8 mm/s tanto para la muestra bruta como para la fracción menor de 63 µm, por lo que el deslamado no produjo la penalización observada en LandSilver. La filtración también resultó favorable: se obtuvieron tortas con 5 % de humedad en la muestra bruta y 8 % en la fracción fina.

Esta respuesta permitió reducir de forma importante la superficie de filtración. La configuración convencional consideraba un decantador NK-20 CL y un filtro APN16S de 12 cámaras; con deslamado se planteó un decantador NK-40 CL y un filtro APN16Q de cuatro cámaras. La evaluación económica reportada indica una reducción de 11 % en CAPEX y 20 % en OPEX para la alternativa con deslamado

6. Conclusiones

La incorporación de operaciones como el hidrociclonado y el escurrido mecánico no garantiza por sí sola una mejora en la eficiencia del proceso de deshidratación de relaves. Es fundamental evaluar el equilibrio óptimo entre estas etapas y otras operaciones complementarias, como la decantación y la filtración, para lograr un desempeño global eficiente.

La definición de la configuración operativa más adecuada requiere la realización de ensayos piloto sobre muestras representativas del relave específico, así como análisis detallados. Solo mediante esta caracterización es posible determinar la combinación de tecnologías que maximice la eficiencia del proceso.

Además, cualquier decisión debe estar respaldada por un análisis técnico-económico integral, que contemple tanto el CAPEX como el OPEX, con el objetivo de minimizar el TCO (Total Cost of Ownership). En algunos casos, la implementación de etapas como el hidrociclonado y el escurrido mecánico puede no ser económicamente favorable, pero su adopción puede justificarse por razones técnicas, como la mejora en la estabilidad del depósito de relaves, el control de la producción o la reducción de riesgos ambientales.

Palabras clave: Relaves, Eficiencia, TCO, Deshidratación.