

Centro Albion Process™ para concentrados refractarios de oro

L. McDonnell¹, R. McKechnie², P. Bullock³, S. Nikolic⁴

1. Ingeniera metalúrgica senior, Glencore Technology, Level 29, 180 Ann street, Brisbane, Qld 4000, laurie.mcdonnell@glencore.com.au
2. Ingeniera metalúrgica, Glencore Technology, Level 29, 180 Ann street, Brisbane, Qld 4000, rebecca.mckechnie@glencore.com.au
3. Ingeniero metalúrgico principal, Glencore Technology, Level 29, 180 Ann street, Brisbane, Qld 4000, paul.bullock1@glencore.com.au
4. Gerente - Tecnología, Glencore Technology, Level 29, 180 Ann street, Brisbane, Qld 4000, stanko.nikolic@glencore.com.au

RESUMEN

Históricamente, el oro alojado en sulfuros refractarios se ha ignorado en favor del oro fácilmente recuperable, que requiere menos capital inicial. Sin embargo, puesto que estas menas se han mermado debido a la siempre creciente demanda de oro, surgen oportunidades para compañías con visión a futuro que para capitalizar las necesidades de pre tratamiento de oro alojado en sulfuros. El oro alojado en sulfuros refractarios requiere un tratamiento previo para oxidar los minerales sulfurados y liberar el oro, haciéndolo susceptible a la recuperación mediante procesos tradicionales de carbón en el lixiviación (CIL). Existen varias opciones establecidas para liberar el oro alojado en sulfuros, pero la clave para maximizar esta oportunidad radica en la selección de un enfoque que sea lo suficientemente flexible como para gestionar las variaciones en la alimentación sin dejar de obtener altas recuperaciones.

Albion Process™ de Glencore Technology es una solución sólida de pretratamiento para los materiales de oro refractario que puede variar significativamente en su rendimiento y mineralogía y contener altos niveles de impurezas como el arsénico. El Albion Process™ utiliza una combinación de liberación mecánica y química del oro mediante trituración ultrafina de minerales y lixiviación oxidativa a presión atmosférica. La simplicidad de este proceso, combinada con la distribución de tamaños concentrada lograda usando la IsaMill™ y la alta utilización de oxígeno proporcionado por los diseños de los reactores HyperSparge™ y OxiLeach™, permiten una variabilidad significativa en la alimentación de cualquier planta Albion Process™ sin comprometer la recuperación. Esto abre la puerta para un centro de tratamiento de oro refractario con una planta Albion Process™ capaz de comprar materiales procedentes de distintos cuerpos de minerales externos. Se usarán ejemplos del mundo real para demostrar cómo una planta Albion Process™ puede aceptar una variación significativa en la composición y tasa de la alimentación y aún así todavía lograr recuperaciones de oro grandes.

INTRODUCCIÓN

El oro alojado en sulfuros refractarios por lo general se percibe como demasiado difícil de extraer y recuperar y, por lo tanto, se pasa por alto en favor de oro en molienda libre fácil de recuperar. Al tiempo que las reservas de oro en molienda libre disminuyen frente a la creciente demanda de oro, la necesidad de tratar estos depósitos también aumenta. El costo asociado con la construcción de una planta procesadora para tratar los sulfuros refractarios puede ser significativo. Las instalaciones que sean capaces de lidiar con las características de alimentación variable pueden aprovechar oportunidades para ambos operadores de plantas de procesamiento al maximizar los recursos disponibles y, en esencia, prolongar la vida útil de la operación, así como para otras operaciones de minería que pueden no ser capaces de tratar su material de sulfuros, al proporcionarles la oportunidad de vender sus concentrados.

La tecnología de Albion Process™ es ideal para esta situación y proporciona flexibilidad en términos de mineralogía, volumen de material, grado de oxidación y tiempo de permanencia. Las características de Albion Process™ en las que se basa esta flexibilidad se señalarán en este documento junto con proyectos de la vida real que demuestran cómo una planta Albion Process™ busca funcionar como un centro de procesamiento.

EL ALBION PROCESS™

El Albion Process™ fue desarrollado por Glencore en 1994 y tiene una tecnología de patente mundial que consta de dos pasos. El primer paso es la trituración ultrafina mediante la IsaMill™ (Figura 1) para minimizar la pasivación potencial de la lixiviación de sulfuros e incrementar la superficie disponible para la oxidación durante la lixiviación con Albion Process™.



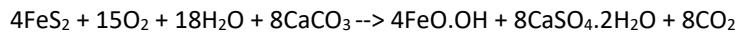
Figura 1: Modelo de planta IsaMill™

El segundo paso es la lixiviación oxidativa del concentrado de sulfuro, finamente triturado, utilizando el HyperSparge™ para injectar oxígeno en los Reactores de Lixiviación Oxidativa de Glencore Technology (OxiLeach™, Figura 2) que operan de forma autotérmica a presión atmosférica. Figura 1: Modelo de planta IsaMill™



Figura 2: Tren del reactor OxiLeach™

La lixiviación oxidativa se puede operar con diversos niveles de pH, desde ácido a neutro y se ha comercializado para zinc y oro con cinco plantas operando en la actualidad. Existe mucha información al respecto (Hourn y Turner, 2010; Hourn y Turner, 2012; Voigt, Hourn y Mallah, 2016; Senshenko, Aksenov, Vasiliev y Seredkin, 2016). La lixiviación oxidativa mediante el Albion Process™ bajo condiciones cercanas a pH neutro (5.5) es óptima para la oxidación de pirita, arsenopirita y otros minerales que contengan oro, para romper la matriz de sulfuro y enviar los metales preciosos susceptibles de cianuración aguas abajo. Para mantener la lixiviación a un pH objetivo de 5.5, se dosifica piedra caliza en cada reactor para neutralizar el ácido generado por la reacción de oxidación de la pirita:



Durante este proceso, todo el arsénico que pudiera estar presente se precipitará junto con el hierro, formando un ferroarsenato estable (predominantemente escorodita). De esta forma, el Albion Process™ es capaz de manejar grandes volúmenes de arsénico y producir un residuo con especies de arsénico inertes y seguras para las gangas.

Cuando la lixiviación con el Albion Process™ ocurre en condiciones ácidas, los sulfuros de metal de baja ley se oxidan y los metales objetivo se lixivian simultáneamente en la solución. El oro contenido en minerales de sulfuros como la pirita también se oxidará de acuerdo con la reacción anterior, aunque a un ritmo más lento en comparación con los mostrados con un pH más alto o una lixiviación «neutra». Al completar la lixiviación ácida, una etapa de neutralización distinta sirve para separar el hierro y el arsénico de la solución por medio del agregado de piedra caliza para permitir una precipitación conjunta de estos elementos como se describió con anterioridad. Puesto que los metales preciosos permanecen en el residuo sólido, una etapa de espesamiento subsecuente dirigirá la solución lixiviada a un procesamiento aguas abajo (XS/EW, precipitación, etc.) para la recuperación de los metales de baja ley, mientras que los metales preciosos en el residuo se dirigen a la lixiviación con cianuro.

La habilidad de operar con diferentes sustancias químicas, manejar variaciones en la alimentación y procesar concentraciones altas de arsénico hace que el Albion Process™ sea ideal para tratar concentrados de metales preciosos o concentrados polimetálicos complejos que contengan metales de baja ley junto con metales preciosos que estén finamente diseminados en la matriz de sulfuros.

HYPERSPARGE™

El HyperSparge™ es un sistema de rociado probado y económico para llevar aire, oxígeno u otros gases para los procesos de oxidación o lixiviación y es un componente clave de los reactores Albion Process™ OxiLeach™. El sistema usa una lanza de inyección de aleación de acero equipada con una boquilla cerámica resistente al uso para injectar un chorro de gas supersónico concentrado en el lodo o la solución a procesar. El chorro de gas supersónico entra a la corriente del proceso a velocidades que exceden los 400 m/s, creando una región de corte local muy alta y burbujas finas, produciendo una transferencia de masa de oxígeno muy eficiente y, por lo tanto, un alto aprovechamiento del gas.

FILOSOFÍA DEL CENTRO DE PROCESAMIENTO

Como se señaló antes, históricamente el procesamiento de sulfuros refractarios se ha pasado por alto en favor del oro en molienda libre alojado en óxidos. Mientras las operaciones merman la porción de óxido de sus depósitos y comienzan a moverse hacia la transición y las regiones de sulfuros de un cuerpo de minerales, las recuperaciones de oro declinan, pues el oro refractario es típicamente inadecuado para la cianuración directa. Por lo general, este es el punto en el que las operaciones cesarán y el operador de la mina se enfocará en otro depósito. En tanto las reservas de oro en molienda libre disminuyen progresivamente y se vuelven difíciles de encontrar, la viabilidad de tratar depósitos de sulfuro aumenta para asegurar que se pueda cumplir con la demanda.

Sin embargo, los circuitos para tratar depósitos de sulfuros presentes una creciente complejidad en comparación con sus contrapartes de tratamiento óxido más sencillas, y el gasto asociado con la construcción (o reconversión) de una planta para tratar minerales de sulfuros puede ser prohibitivo para algunas operaciones, en particular para compañías mineras pequeñas. Esto puede representar una oportunidad única para compañías visionarias que tengan la capacidad de emprender proyectos más grandes. La solidez del Albion Process™ permitirá el diseño de una planta procesadora para un depósito específico con suficiente flexibilidad instalada para poder tratar los materiales de terceros provenientes de otros depósitos. Esta flexibilidad se logra a lo largo de ambas etapas del Albion Process™. En la primera etapa, la trituración ultrafina, la IsaMill™ permite flexibilidad en el tamaño de los triturados que pueden lograrse, pues la configuración puede ajustarse a un objetivo más fino o más grueso dependiendo de las necesidades de cada concentrado único.

En la segunda etapa del Albion Process™, la lixiviación oxidativa, los reactores OxiLeach™ se pueden configurar para un Albion Process™ ácido o neutro, dependiendo si hay presencia de metales preciosos y de baja ley o solo metales preciosos. Para períodos en los que disminuya el volumen de material o para concentrados que requieran un tiempo de permanencia menor, se puede derivar la mitad del tren del OxiLeach™, con lo que disminuye el desgaste y los daños al equipo. En el otro extremo del espectro, el tren OxiLeach™ se puede expandir con facilidad mediante la adición de reactores adicionales, un cambio que no siempre es posible con algunas tecnologías alternas. La oportunidad de tener como objetivo el tiempo emparejado con el sistema HyperSparge™ también permite que los objetivos de oxidación de sulfuros se ajusten para cumplir necesidades específicas. Estas características implican que el Albion Process™ es muy adecuado para una planta de procesamiento como el centro capaz de tratar distintos concentrados de regiones particulares, reforzando la oportunidad para la compañía que construye la planta y las compañías que tendrían de este modo una forma de vender concentrados. Puesto que el Albion Process™ es capaz de tratar materiales relativamente «sucios» o de «bajo grado», proporciona el beneficio añadido de reducir el punto en el cual se puede considerar comercializable un concentrado de otras minas que no puedan tener las capacidades de procesamiento para producir el metal final.

Las siguientes secciones proporcionan ejemplos de proyectos de centros de procesamiento de oro que actualmente emprende JSC Altynalmas (Altynalmas).

CENTRO NEUTRAL – PROYECTO PUSTYNNOYE

Altynalmas ha estado explotando varios depósitos de oro en Kazakhstan y está evolucionando hacia dos proyectos con Albion Process™. El primero de estos es el Pustynnoye Neutral Albion Process™ Hub. La planta de procesamiento para este proyecto se ha diseñado para tratar concentrados procedentes de cuatro depósitos de minerales preciosos: Pustynnoye, Kariernoye, Aksu y Sayak. Los resultados característicos de los concentrados individuales generados en cada uno de estos depósitos muestran una variación significativa, que se resume enseguida:

Oro:	15.2 – 57.5 g/t
Plata:	1.9 – 94.0 g/t
Hierro:	18.2 – 35.3%
Azufre:	11.9 – 38.2%

Como se esperaba, los minerales de pirita y arsenopirita que alojan oro también varían en gran medida entre los concentrados, con los siguientes rangos:

Pirita:	2.0 – 70.0%
Arsenopirita:	3.5 – 65.0%

Para este proyecto, se determinó que el tamaño óptimo de trituración era de 80% pasando 8 µm. Aunque este es el extremo más fino de lo que típicamente podría necesitarse para recuperaciones altas en el Albion Process™, dimensionar la IsaMill™ usando este tamaño de trituración fue lógico para permitir que la planta aceptara materiales concentrados muy variables. La prueba se llevó a cabo en dos mezclas de compuestos maestros de los concentrados etiquetados como «mezcla Pustynnoye» y «mezcla Kariemoye». Se llevó a cabo una prueba extensiva para optimizar las condiciones y confirmar los resultados de la recuperación después del Albion Process™. A pesar de la variabilidad entre los dos compuestos, la recuperación de oro aumentó desde un 45.4 % (concentrado sin tratar) a 93.2 % y 91.9 % después de una lixiviación oxidativa para las dos mezclas, respectivamente. Estos resultados, junto con la recuperación posterior a la trituración ultrafina resumen en Figura 3.

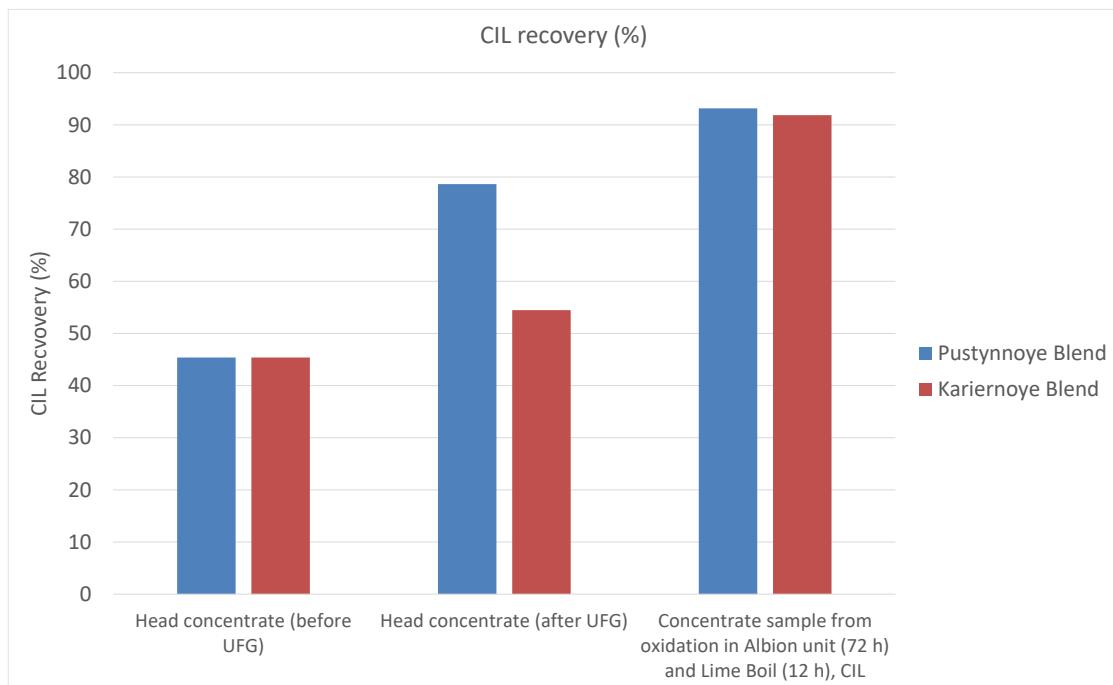


Figura 3: Proyecto de oro recuperable mediante el proceso CIL (carbono en lixiviación) para Pustynnoye

La consistencia de la recuperación de oro a pesar de las notables diferencias en las características de alimentación reforzaron la flexibilidad del Albion Process™ en relación a una variación significativa de la alimentación, convirtiéndolo en una opción ideal para cumplir el objetivo del proyecto de tratar los materiales

de cuatro depósitos diferentes. También eliminó el riesgo en la opción de explotar más depósitos, que actualmente están en desarrollo, con perforaciones en el conjunto de minas de Akbakai que consiste en otros tres cuerpos de mineral refractario.

CENTRO ÁCIDO – PROYECTO MIZEK

Además del Centro Pustynnoye Neutral Albion Process™, también se desarrolla el Centro Mizek Acid Albion Process™. El propósito de este centro es procesar los concentrados polimetálicos que contienen metales preciosos y de baja ley. El diseño inicial del centro se ha basado en el concentrado de Mizek que contiene cobre, zinc, oro y plata. Las especificaciones del concentrado de Mizek usados en el diseño de la planta de procesamiento son las siguientes:

Oro:	16.2 g/t
Plata:	52.4 g/t
Hierro:	29.3%
Azufre:	39.8%
Cobre:	7.0%
Zinc:	16.0%

Con los metales alojados predominantemente en los siguientes minerales:

Pirita:	57.0%
Esfalerita:	22.0%
Calcopirita:	9.0%

Para este proyecto, también se determinó que el tamaño objetivo óptimo de trituración era de 80% pasando 8 µm. Como se mencionó antes, el tamaño de trituración usando el tamaño más fino requerido aumenta la flexibilidad, incrementando el rango de los materiales y la variabilidad que la planta puede aceptar. Se han efectuado pruebas extensivas para optimizar las condiciones de lixiviación y confirmar las recuperaciones de oro alcanzables mediante el Albion Process™. Después de la lixiviación oxidativa, las recuperaciones de oro y plata mediante CIL aumentaron de 28.9 % al recibirse a 95.2 % para el oro y de 25.3% a 95.4 % para la plata.

Estos resultados, junto con la recuperación posterior a la trituración ultrafina resumen en Figura 4.

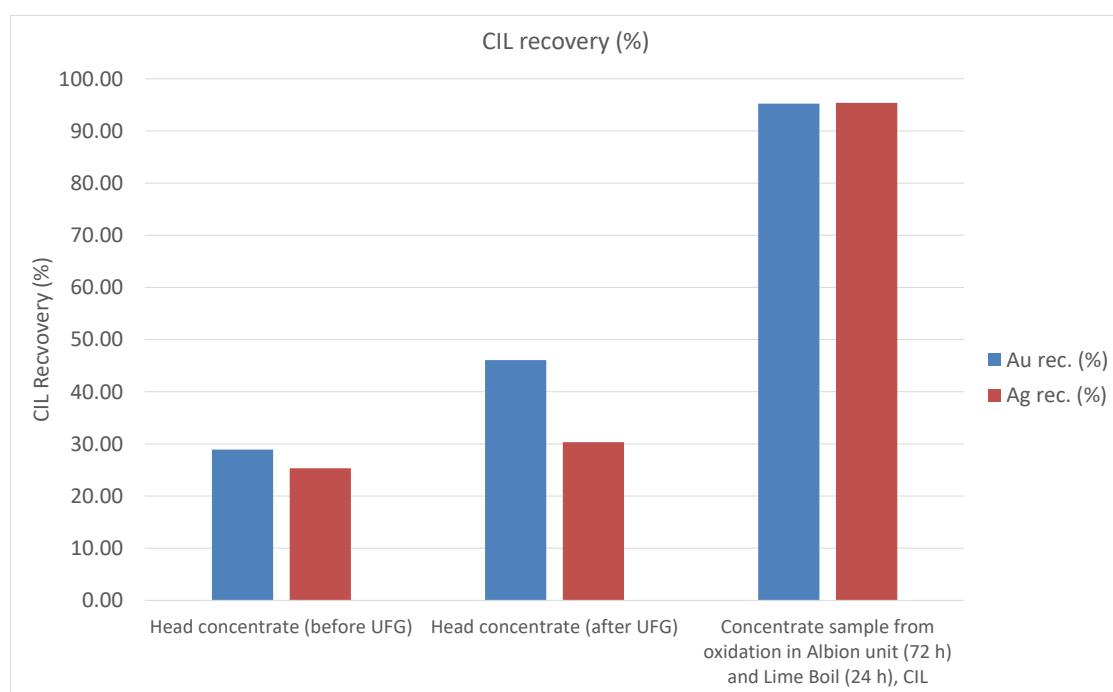


Figura 4: Oro y plata recuperables mediante CIL para el proyecto Mizek

La prueba de los metales de baja ley indicó que el lixiviado mediante Albion Process™ logró excelentes resultados en la recuperación de zinc (99.5%) y cobre (91.8%) con una oxidación de sulfuros de 96.7% (Figura 5).

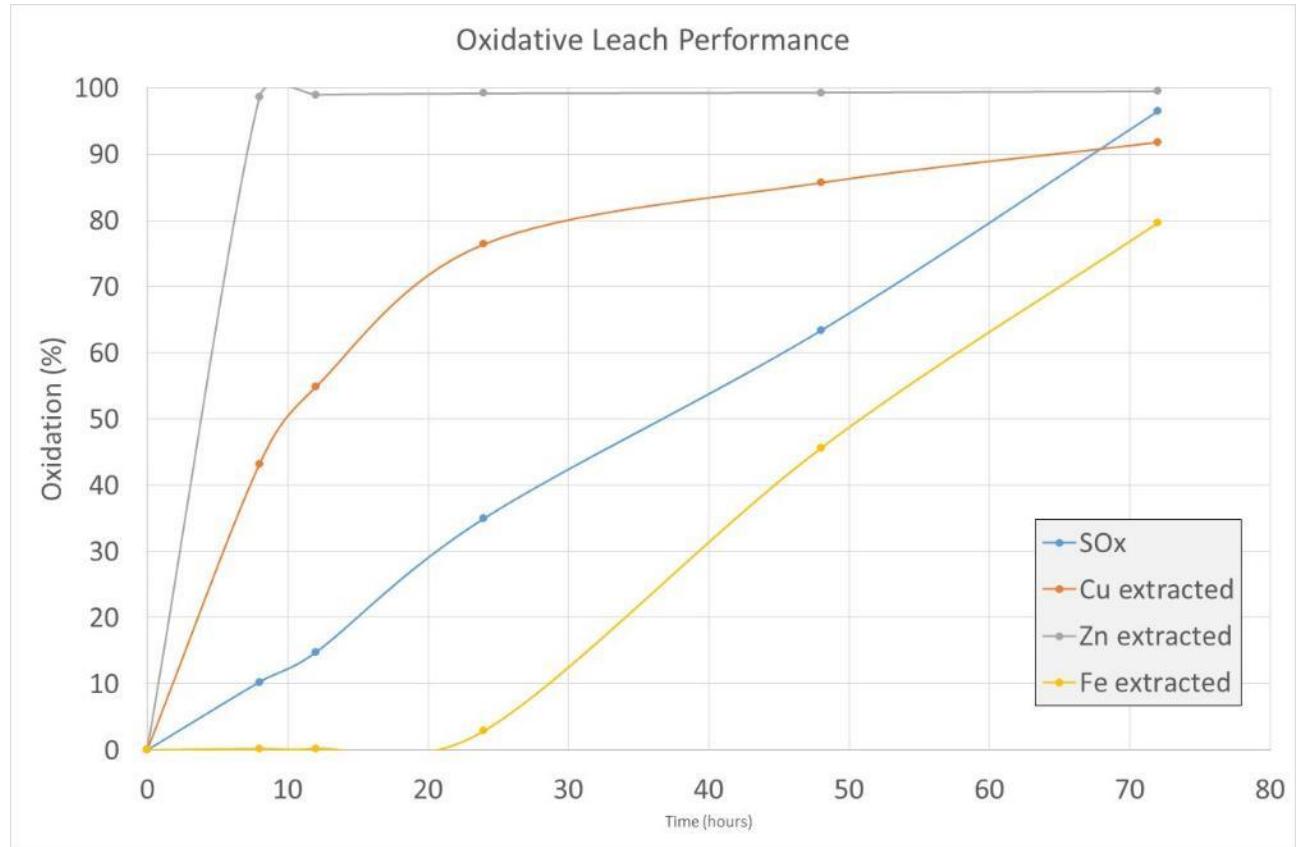


Figura 5: Rendimiento de la lixiviación oxidativa para el proyecto de Mizek

El depósito de Sayak también se está considerando para alimentar el centro Acid Albion Process™ y tiene las siguientes especificaciones:

Oro:	46.2 g/t
Plata:	23.1 g/t
Hierro:	26.1%
Azufre:	18.3%
Cobre:	0.61%
Cobalto:	0.84%

A diferencia del depósito de Cu-Zn de Mizek (sobre el cual se ha diseñado el centro de procesamiento), los metales de baja ley primarios objetivos en Sayak son cobre y cobalto. Puesto que se seleccionó la precipitación como la opción de procesamiento de metales de baja ley aguas abajo, las etapas de precipitación se pueden modificar para ajustarse a los diferentes metales. Esto permitirá que el cobre y el zinc se produzcan inicialmente en Mizek, antes de cambiar a producir cobre y cobalto en una etapa posterior cuando la alimentación cambie a Sayak.

El Centro Mizek Acid Albion Process™ en general se muestra en Figura 6 con la IsaMill™ y los metales de baja ley espesándose y la filtración ubicada a la izquierda, los reactores OxiLeach™ y dos etapas de la precipitación de los metales en la sección media, y las áreas de ebullición de caliza y filtración de control de hierro a la derecha.

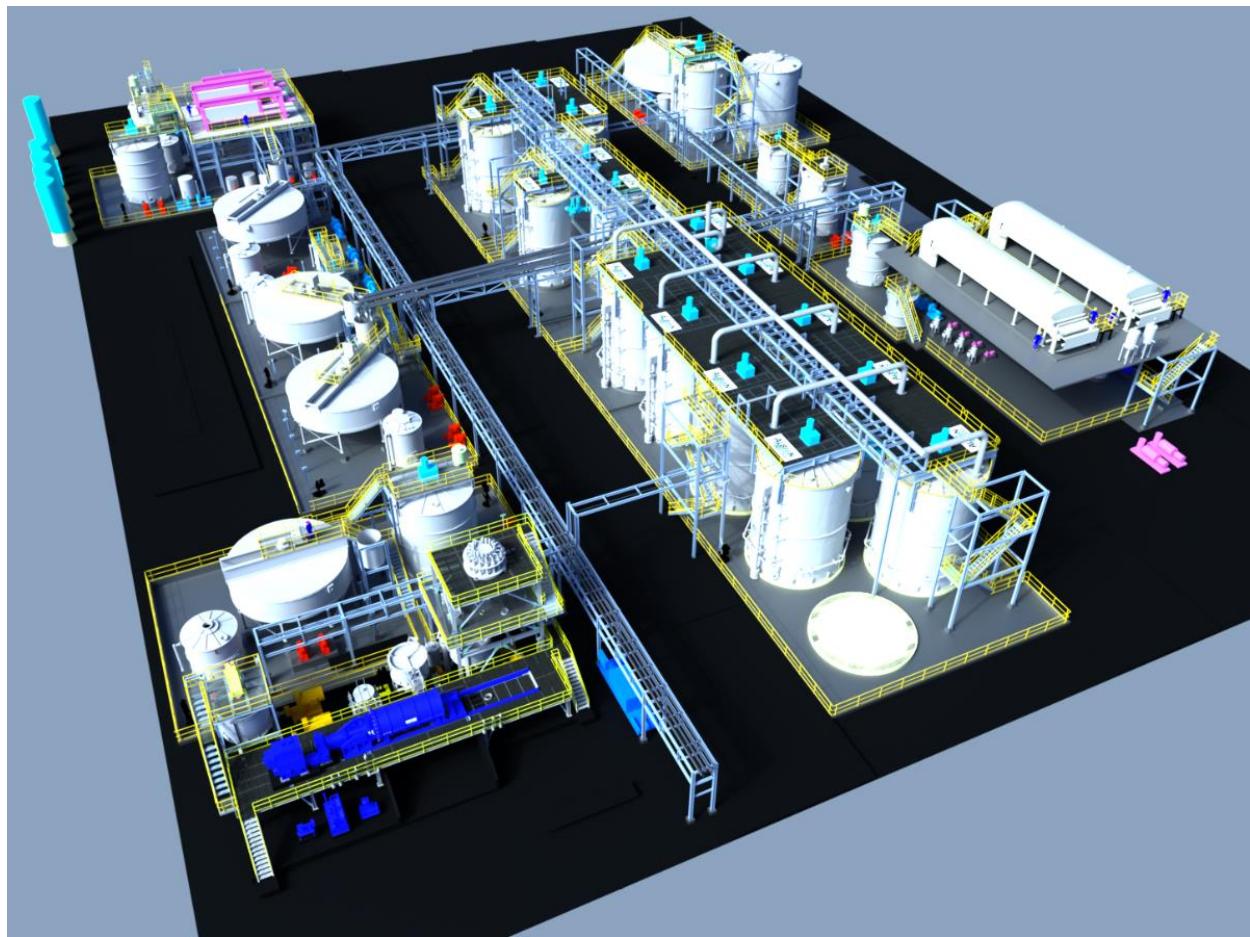


Figura 6: Configuración del Mizek Acid Albion Process™

BENEFICIOS DEL ALBION PROCESS™

El Albion Process™ ofrece diversas ventajas sobre otras tecnologías de lixiviación debido a la naturaleza en la cual opera. Investigaciones previas han señalado un menor consumo de oxígeno para el Albion Process™ cuando se compara con la oxidación a presión a temperatura media (MT-POX) (SNC Lavalin, 2009). Esto se debe a la oportunidad de tener como objetivo el nivel de oxidación de azufre requerido para lograr altas recuperaciones de metal cuando se usa el Albion Process™, mientras que en MT-POX el 100% de los sulfuros se oxida. Además, el diseño del HyperSparge™ y el propulsor en los reactores OxiLeach™ permiten una gran eficiencia en el uso del oxígeno. Esto resulta en un menor costo de capital asociado con la planta de oxígeno así como costos de operación continua más bajos.

Puesto que el Albion Process opera de forma autotérmica y a presión atmosférica, el gasto de energía también disminuye en comparación con la POX (Alymore, 2012), disminuyendo los costos y reduciendo el impacto ambiental. Añadido al beneficio ambiental, el Albion Process™ también ha demostrado que usa significativamente menos agua que la MT-POX (SNC Lavalin, 2009). La naturaleza autotérmica y atmosférica de la operación tiene el beneficio adicional de no necesitar ninguna reducción de presión ni eliminación de calor. Esto contribuye a un proceso más estable que es más sencillo de operar.

La disponibilidad del Albion Process™ también es muy alta debido a que:

- El tren de lixiviación oxidativa consiste en múltiples reactores en serie que están interconectados con lavaderos, cada uno con una derivación. Este sistema de lavaderos permite que los reactores individuales se supriman de la operación mientras se esté en línea.
- El diseño del HyperSparge™ permite el desmontaje y reemplazo cuando se está en línea.

Estas características le dan la capacidad de maximizar el volumen de producción aún en los períodos de mantenimiento.

CONCLUSIONES

Este documento describe cómo se puede configurar el Albion Process™ como una planta de procesamiento estilo centro y usarse para tratar diversos materiales, ya sea metales preciosos, metales de baja ley o materiales polimetálicos. La clave de esta flexibilidad es la capacidad de ajustar la operación de las etapas de la IsaMill™ y la OxiLeach™ donde se requiera para adaptarse a los diversos materiales. Como se mencionó, la capacidad de lixiviación oxidativa se puede aumentar con solo agregar más reactores al tren. Esta capacidad de expansión no la pueden igualar otras tecnologías alternativas.

Este diseño de estilo de centro que permite la compra de material para tratamiento de distintas alimentaciones beneficia tanto al operador de la planta porque maximiza la alimentación disponible de su planta, como a otros mineros que pueden tener depósitos de sulfuros que no sean adecuados para suministrar los concentrados para alimentar la planta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a JSC Altynalmas por permitir la publicación de este documento. También desean agradecer al Instituto Toms por completar las pruebas que se reportaron en este documento y todos los integrantes de Glencore Technology que han trabajado en esos proyectos hasta la fecha.

REFERENCIAS

- Alymore, M. 2012. Evaluating Process Options for Treating some Refractory Ores. ALTA Conference Proceedings. Perth.
- SNC Lavalin. 2009. Concentrate Treatment Options Scoping Study.
- Hourn, M., & Turner, D. (2010). Albion Process for treatment of refractory ores. ALTA Conference Proceedings. Perth.
- Hourn, M., & Turner, D. (2012). Commercialisation of the Albion Process. ALTA Conference Proceedings. Perth.
- Voigt, P., Hourn, M., & Mallah, D. (2016). Treatment of Low Grade Materials. Proceedings of MINEX. Moscow.
- Senshenko, A., Aksenov, A., Vasiliev, A., & Seredkin, Y. (2016). Technology for Processing of Refractory Gold-Containing Concentrates Based on Ultrafine Grinding and Atmospheric Oxidation. Proceedings of IMPC Conference. Montreal.