



# Recuperación de cobre y cianuro desde una solución estéril de lixiviación en una planta de procesamiento de oro

Por Oscar López\*, Nebojsa Petrovic y Svetlana Krashenina

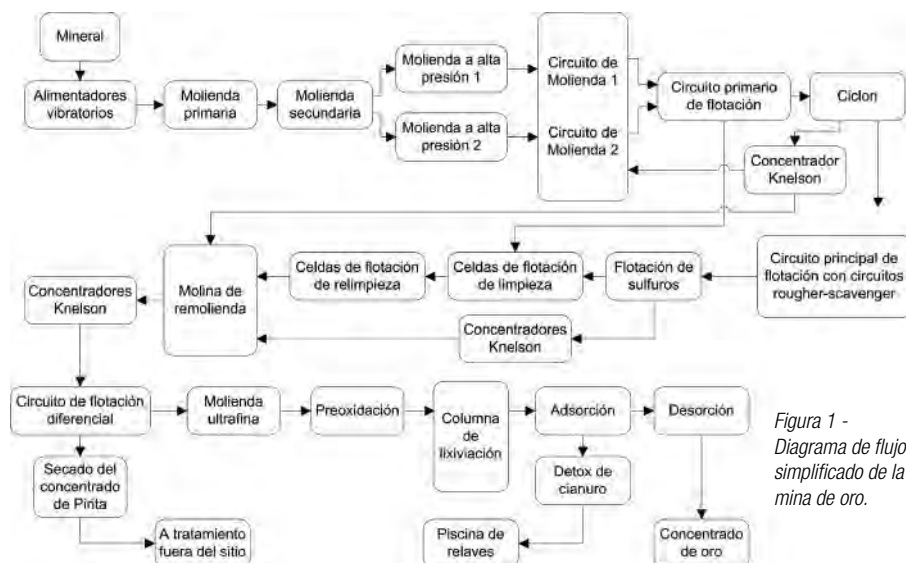


Figura 1 - Diagrama de flujo simplificado de la mina de oro.

Debido a que los depósitos de oro de fácil extracción son cada vez menos frecuentes, los productores de oro han tenido que comenzar a procesar minerales polimetálicos. Los metales base pueden crear grandes desafíos metalúrgicos así como también en el manejo y disposición de residuos, los que pueden hacer no rentables los proyectos. Los metales base como el cobre compiten por el cianuro utilizado como reactivo para extraer el oro, haciendo necesario aumentar los volúmenes de cianuro y consecuentemente los costos de consumo. El cobre además se estabiliza en las piscinas de colas como un complejo cianurado disociable en ácido débil, una forma que es tanto difícil como costosa de destruir.

La tecnología de proceso SART (sulfidación-acidificación-reciclado-espesado, por sus siglas en inglés) puede ser utilizada para remover las interferencias de metales base en los proyectos de oro. SART rompe los complejos cobre-cianuro y precipita el cobre como un concentrado de cobre vendi-

ble. Con el cobre removido, el cianuro puede ser regenerado como cianuro libre para su recirculación al proceso de recuperación de oro. Esto mejora la eficiencia en el uso del cianuro y mitiga la presencia de cobre en las piscinas. Adicionalmente, la recuperación de cobre genera una fuente de ingreso adicional mejorando aún más la economía del proyecto.

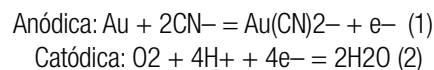
Dobersek GmbH ingeniería junto con BioteQ desarrollaron un programa de pruebas SART y AVR para recuperar cianuro y maximizar las eficiencias operacionales en la planta de procesamiento de oro en Kazajstán con alto consumo de cianuro en el circuito de lixiviación. La mina de oro procesa 8 millones de toneladas de mineral por año y produce un concentrado de arsenopirita que se procesa mediante el proceso Leachox. Éste proceso, consiste en una primera etapa de molienda de ultrafino, seguida de una pre-oxigenación y lixiviación en estanques (reactores Aachen). La alimentación pre-oxigenada es enviada a una columna de lixivia-

ción de oro para su extracción y posteriormente es recuperado a través de un circuito de carbón en pulpa (CIP). A continuación se proporciona un diagrama de flujo en boques simplificado del proceso general (Figura 1).

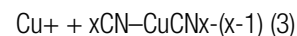
## Problemas creados por el cobre soluble en la solución cianurada de lixiviación

La contaminación por cobre de los circuitos de cianuración de oro provoca una serie de problemas en el procesamiento del oro (Sceresini, 1999). Los minerales de óxido de cobre (es decir azurita, malaquita, cuprita, tenorita) tienen tasas rápidas de lixiviación en cianuro. Los minerales secundarios de cobre sulfurado tales como calcosina y covelita se lixivian rápido en cianuro, mientras que los sulfuros de cobre más refractarios tales como calcopirita, cubanita y enargita se lixivian considerablemente más lento en cianuro (Adams, 2000). Como resultado del cobre soluble en cianuro presente en el mineral, los minerales de oro-cobre conllevan a un mayor consumo de cianuro y a una mayor dificultad en el control del proceso.

Las reacciones de lixiviación del oro en soluciones cianuradas siguen las siguientes semi-reacciones electroquímicas:



El cianuro forma una serie de complejos con varios metales. En el caso del cobre aplica la siguiente química, donde los rangos de x van de 1 a 4:



Con el fin de lixiviar eficazmente el oro siempre debe haber suficiente cianuro libre presente, por lo que si existen grandes

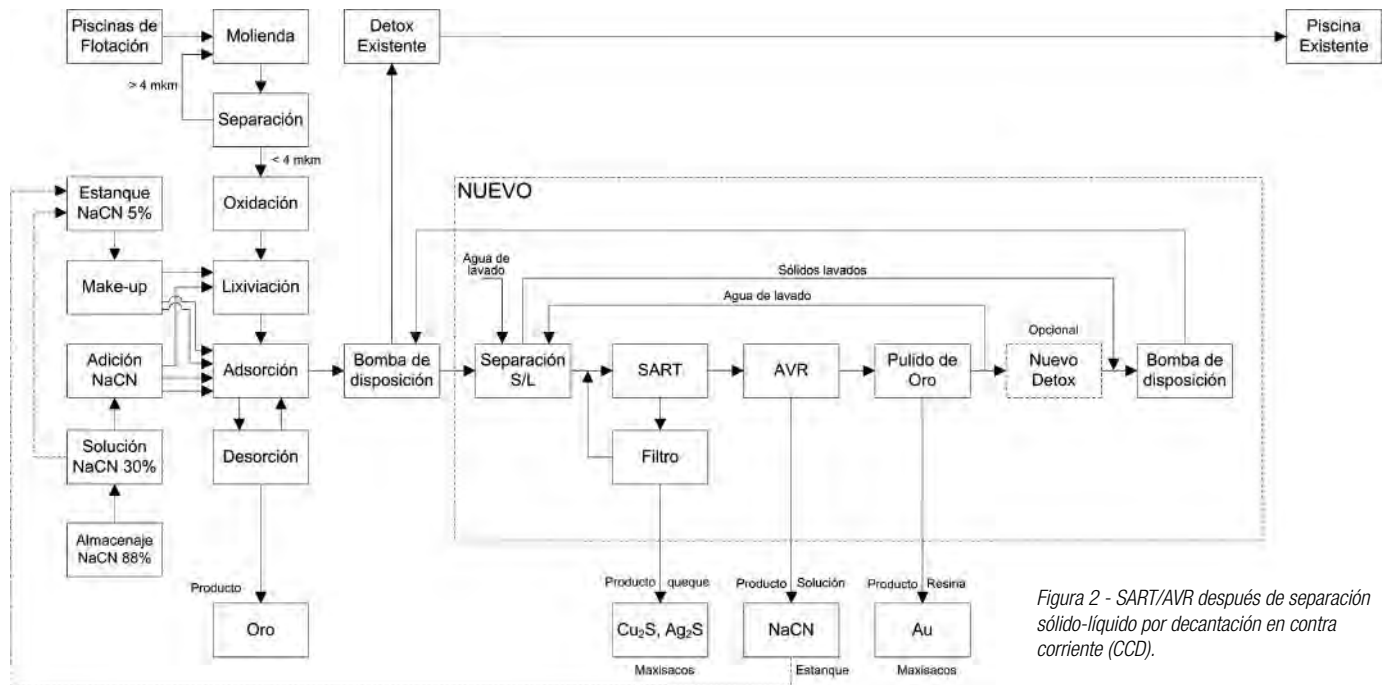
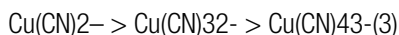


Figura 2 - SART/AVR después de separación sólido-líquido por decantación en contra corriente (CCD).

cantidades de cobre soluble, éstas pueden disminuir rápidamente el cianuro disponible muy por debajo de los niveles necesarios, dando como resultado oro sin lixiviar en los relaves de las pilas de lixiviación. Además, hay evidencia que bajo estas condiciones deficientes de cianuro, el oro soluble es re-absorbido en los minerales de cobre por reducción en la superficie, resultando nuevamente en pérdidas de oro en los relaves (Adams, et al. 1996).

Un principio general de operación para la lixiviación es mantener una relación molar de adición CN:Cu no menor a 4 y preferiblemente sobre 5. Para lograr esto, serán requeridos con más frecuencia el uso de analizadores automáticos de cianuro o titulaciones. En los casos donde exista una gran cantidad de cobre soluble así como también una lixiviación intensiva, se requerirá una constante gran adición de cianuro al sistema. En tales casos, se han observado concentraciones de cobre de aprox. 1.000 mg/L.

La absorción de complejos cobre-cianuro en el carbón activado en la etapa de adsorción para la recuperación de oro sigue la tendencia que se muestra a continuación:



La predominancia del complejo  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$  bajo condiciones deficientes de cianuro es otra razón para mantener cianuro libre en exceso en la lixiviación. Al evitar el cobre en solución, la carga de oro en el carbón es más efectiva que cuando el cobre es desplazado. Por otra parte, el exceso de cobre en la solución de elución, reduce la eficiencia en las celdas de electrowinning y contamina los lingotes de oro.

Medidas tales como minería selectiva no son aplicables en la mayoría de los casos, dado que las mineralizaciones de oro y cobre normalmente se encuentran juntas en este tipo de minerales. Las metodologías de remoción química para eliminar el cobre reactivo, como lixiviación ácida, generalmente no son rentables. Algunas alternativas consideran la adición de amoníaco a la lixiviación con cianuro para suprimir la lixiviación de cobre (Hunt, 1901; Muir et al, 1995; Drok & Ritchie, 2000); esta alternativa sólo ha sido utilizada en aplicaciones menores (Butcher, 1995) y se ha reportado que es difícil de controlar en la práctica. La disolución del mineral de cobre puede ser suprimida mediante el uso de surfactantes como alquil amina grasa (Bennett et al, 1991), que pasivan la superficie del mineral de cobre reduciendo su disolución,

sin embargo también puede haber una reducción de la lixiviación de oro.

### Aplicación de SART/AVR dentro del proceso existente

Antes del proceso SART, los sólidos son removidos de la solución hasta una concentración de 100ppm de SST o menos. Las opciones de proceso actuales incluyen decantación en contra corriente (CCD) y sedimentación natural en las piscinas existentes.

La solución libre de sólidos representa la alimentación a la planta SART, donde se recupera el cobre y la plata en forma de  $\text{Cu}_2\text{S}$  y  $\text{Ag}_2\text{S}$  respectivamente. El siguiente paso del proceso implica el tratamiento de la solución mediante un circuito de acidificación, volatilización y recuperación con el fin de recuperar el cianuro en forma de NaCN. Después de la filtración, la solución remanente es esencial para la remoción de impurezas y extracción del oro en una planta de Intercambio Iónico.

Cualquier exceso de solución puede ser mezclado con los sólidos lavados de las etapas previas de separación sólido-líquido y puede ser bombeada a las piscinas existentes con el fin de degradar el cianuro remanente mediante exposición natural a los rayos UV, para este caso.

## Factibilidad técnica del proceso SART/AVR

Las etapas propuestas de SART y AVR fueron probadas a escala de laboratorio en terreno de acuerdo a la siguiente configuración (Figura 3):

**Separación sólido-líquido:** para separar la solución de los sólidos en las colas de CIP. Esta etapa del proceso probablemente incluirá una etapa de CCD y lavado para maximizar la recuperación de cianuro, cobre y plata. El underflow del circuito de CCD será enviado a la planta final de relaves a través del circuito de Detox del cianuro existente.

**SART:** para acidificar la solución y recuperar el cobre disuelto como  $Cu_2S$  mediante la adición de NaHS. Se espera recuperar además otros complejos de cianuro WAD (disociables en ácido débil) en forma de sulfuros.

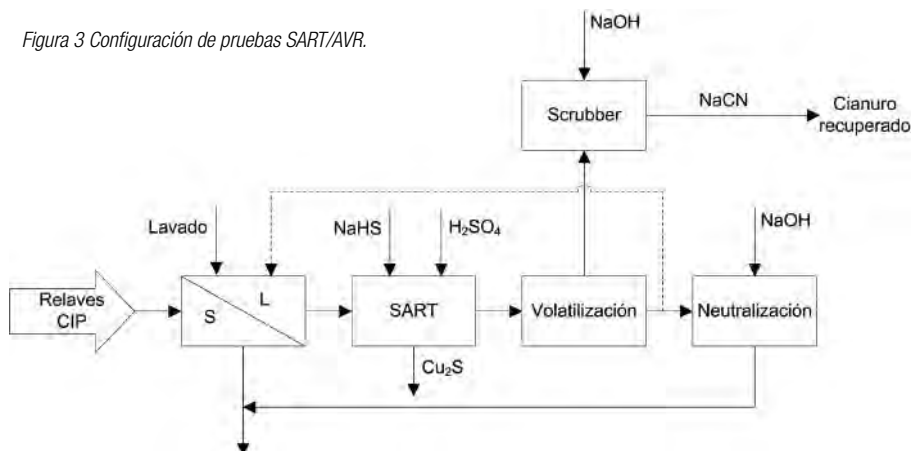
**Volatilización (AVR):** para los propósitos de balance de agua será necesario concentrar el cianuro en el efluente del proceso SART, en primer lugar mediante volatilización del cianuro desde la solución ácida, para luego capturarlo en un lavador de gases con cal (o soda) para producir  $Ca(CN)_2$  (o NaCN) y recircularlo al circuito de lixiviación.

**Neutralización:** la etapa final del proceso consiste en ajustar el pH del efluente de AVR antes de mezclarlo con los residuos de alta densidad para su disposición.

### Resultados

**Adición de NaHS:** El objetivo principal es explorar la posibilidad de precipitar todo el cobre y arsénico presente en la alimentación utilizando NaHS en exceso (120% respecto al cobre estequiométrico). El consumo de ácido fue el esperado debido a la gran cantidad de cianuro libre presente en la solución de alimentación. La mayor parte del ácido consumido en el proceso SART (2,08 kg  $H_2SO_4/m^3$  de alimentación) fue debido al efecto buffer producido a pH 8,5-9,5 debido al gran contenido de cianuro presente en la solución de alimentación.

Figura 3 Configuración de pruebas SART/AVR.



**Eficiencia de remoción de Cu/As en el proceso SART:** La remoción promedio de cobre y arsénico fue de 98,8% y 31,7% respectivamente. Este resultado era esperado en las pruebas, basado en el exceso en la adición de NaHS.

**Recuperación de cianuro:** La recuperación de cianuro asociado a complejos de metales WAD puede ser estimada basado en los análisis de metales WAD disueltos, de los cuales la mayoría son Cu, Zn, Ni y Ag.

Con una adición de NaHS de 120% respecto al cobre estequiométrico, la recuperación del cianuro WAD desde la alimentación puede ser tan alta como 98-99%. Esto se traduce en un incremento en el cianuro libre desde 771 ppm hasta 931 ppm a la descarga de SART.

### Separación sólido-líquido de sulfuros:

La separación sólido-líquido del precipitado de cobre ( $Cu_2S$ ) fue efectiva con el uso del floculante, distinguiéndose fácilmente la fase sólida decantada.

**Pruebas de AVR:** Para todas las pruebas de desorción de HCN en AVR, la concentración de cianuro libre disminuye después de 2 horas, con una remoción de cianuro promedio de un 32,7%. La tasa relativamente lenta de desorción de cianuro medida en las pruebas era esperable, ya que éstas fueron realizadas en batch y no en estado estacionario.

### Conclusión

Los resultados de las pruebas en terreno demostraron que hasta un 98-99% del cobre puede ser removido y precipitado como sulfuro de cobre y el cianuro asociado a este metal se recupera en la misma proporción. En AVR se estima que la recuperación de cianuro libre será de entre un 60 y 90% el que se recirculará al proceso de lixiviación, reduciendo el consumo total de cianuro utilizado.

MPA



Oscar López Cabrera es el responsable del desarrollo y gestión de negocios y proyectos de BioteQ en Chile y Sudamérica. Oscar es Ingeniero Químico con más de 25 de experiencia en ingeniería química y de

procesos con empresas reconocidas en la industria química y metalúrgica de Chile.

Especialista en el procesamiento y recuperación de metales, ingeniería de proceso, así como la optimización de procesos, además de contar con amplia experiencia en tecnologías de intercambio iónico y precipitación con sulfuro y optimización del recurso hídrico en plantas químico-metalúrgicas.