

La importancia del oxidante en la lixiviación dinámica su medición y control

M. de los A. Casales Hernández

Cryoinfra, S.A de C.V

acasales@cryoinfra.com.mx;

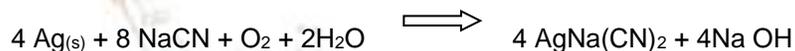
RESUMEN

Se presentará una descripción general del proceso de lixiviación dinámica, los mecanismos de reacción que ocurren en el proceso y los elementos de medición y control para esos mecanismos, se describirán las reacciones químicas que ocurren y la importancia que toma el oxidante que participa en la reacción. Se mostrarán resultados de pruebas de laboratorio donde se observa la participación del oxidante en beneficio de los minerales.

PALABRAS CLAVE: *lixiviación dinámica; agente oxidante; oro y plata*

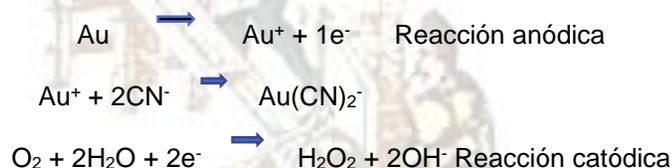
ANTECEDENTES

La disolución de oro y plata se lleva a cabo mediante un proceso de naturaleza electroquímica, en el proceso se desarrollan reacciones de óxido-reducción. Este proceso tiene las siguientes reacciones globales para oro y plata respectivamente:



El subíndice (s) indica que los valores oro y plata se encuentran en fase sólida metálica en el mineral.

De la reacción global, se pueden escribir las reacciones anódica y catódica de este proceso, las cuales son las siguientes para el caso del oro:



Reacciones idénticas se puede escribir para la plata. El análisis de estas reacciones nos dice que el oro tiene que pasar a su forma iónica para formar el complejo de cianuro, al mismo tiempo que la reacción catódica aprovecha el electrón proveniente de la reacción anódica para formar el peróxido e hidróxido correspondientes. Es aquí donde entra en juego el papel del oxidante, ya que la reacción catódica es más lenta que la anódica y, por tanto, al incrementar el oxígeno disuelto, la reacción catódica se acelera y le demanda mayor consumo de electrones a la reacción anódica, acelerando la misma. Con ello se incrementa la rapidez de reacción global.

La termodinámica del proceso puede entenderse fácilmente mediante un diagrama de predominancia E-pH, mejor conocido como diagrama de Pourbaix, aunque hay que tener presente que este diagrama es de equilibrio termodinámico. En el diagrama de la Figura 1 se muestran las especies para el sistema Au-CN-H₂O. De este diagrama se puede mencionar lo siguiente:

- La zona de predominancia de oxígeno (naranja) brinda mayor estabilidad a la formación de la especie Au(CN)₂⁻.
- La mejor zona para obtener el ion Au(CN)₂⁻, se encuentra en el rango de pH de 10-12.

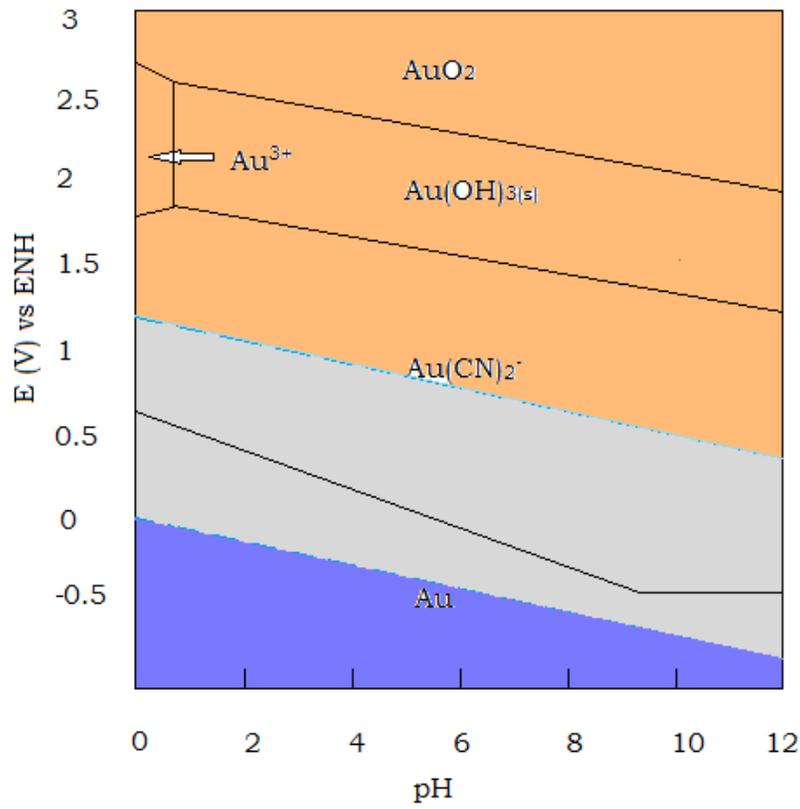


Figura 1.- Diagrama E-pH para el sistema Au-CN - H₂O. Las zonas de predominancia son: naranja-oxígeno, gris-agua, azul-hidrógeno

El control cinético del proceso es difusivo y está regido por la ley de Fick, de la cual se puede escribir la siguiente ecuación:

$$\frac{d(O_2)}{dt} = \frac{D_{O_2}}{\delta} A \Delta[O_2]$$

En donde:

$\frac{d(O_2)}{dt}$ = rapidez de difusión del oxígeno

D_{O_2} = Coeficiente de difusión del oxígeno

δ = espesor de la interfase de la partícula

A = Área

$\Delta[O_2]$ = Gradiente de concentración entre la inter-fase de la partícula y el seno de la solución

Una ecuación idéntica puede escribirse para el cianuro. Realizando las consideraciones necesarias se llega a la siguiente relación [1]:

$$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = 4 \frac{D_{O_2}}{D_{CN^-}} = 6$$

Esta relación nos muestra que teóricamente existe una relación de concentraciones para llegar a una óptima rapidez de reacción.

En la práctica esta relación depende de las características del mineral, como el contenido de elementos que consuman cianuro u oxígeno (ver anexo I). No obstante, se han reportado distintos valores que se ajustan a esta relación para distintos consumos de cianuro y oxígeno como se muestra en la Tabla 1 [2].

Tabla 1.- Máximo efecto del oxígeno a varias concentraciones de cianuro

Cianuro (ppm)	Oxígeno (ppm)	$\frac{[CN^-]}{[O_2]}$
50	6.2	8.06
100	12.3	8.13
200	24.6	8.13
300	36.9	8.13
400	49.2	8.13

El uso del oxidante debería de ajustarse a las necesidades de cianuro que el mineral requiera para alcanzar las condiciones óptimas que el proceso demande. La presión parcial de oxígeno determina la solubilidad del gas en el líquido, mientras que la eficiencia en la agitación determina la eficiencia de transferencia de masa.

La ley de Henry enuncia la cantidad de gas disuelto en un líquido, la cual es la siguiente:

$$C_s = K_s P$$

Donde:

C_s = es el valor de saturación del gas en el líquido

P = es la presión parcial del gas

K_s = coeficiente de absorción

De tal modo si P es la presión parcial de oxígeno y esta aumenta de 21% (caso del aire) a 100% (con oxígeno), la concentración de oxígeno incrementará como se muestra en la Figura 2.

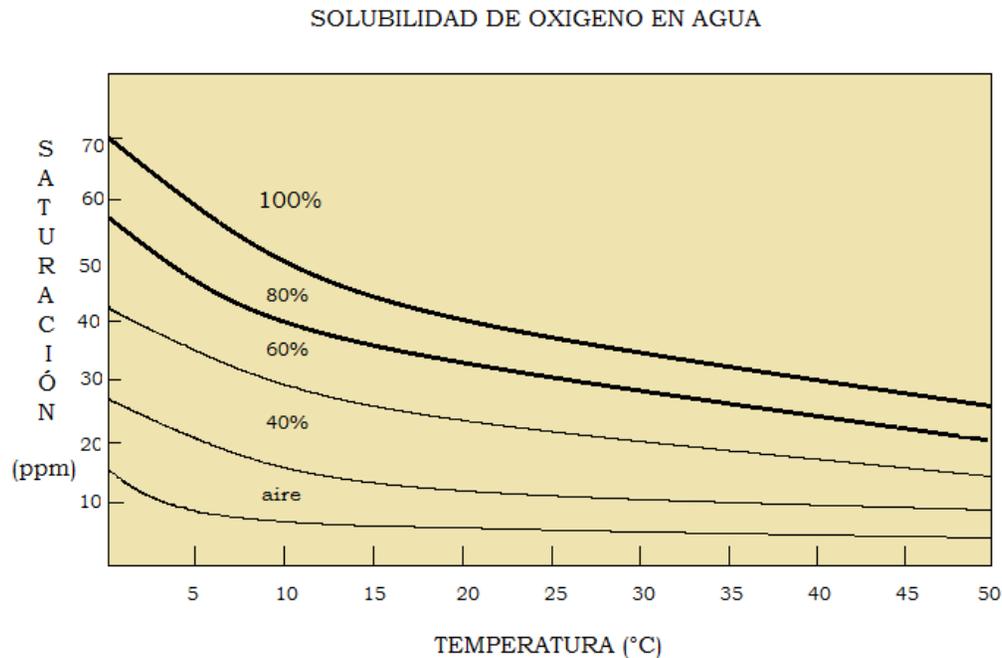


Figura 2.- Solubilidad de oxígeno en agua, a diferentes temperaturas

Por otro lado, la introducción de aire a un sistema saturado de oxígeno bajará la concentración de éste hasta los niveles del aire, a una velocidad que dependerá del tamaño de burbuja de inyección de aire y de la viscosidad del medio.

El efecto de la presión del oxígeno en la solubilidad se muestra en la Figura 3, en la cual se muestra una relación lineal entre la concentración de oxígeno y la presión. Si el mineral requiere altas concentraciones de cianuro, el oxígeno deberá suministrarse a altas presiones llegando a un máximo de concentración de 190 ppm como lo muestra la gráfica.

Para poder corroborar la teoría es necesario llevarlo a la práctica por lo que se desarrolló un protocolo de pruebas, cuyo objetivo es incrementar el contenido de oxígeno disuelto en la pulpa para observar cómo influye el oxidante en el mineral.

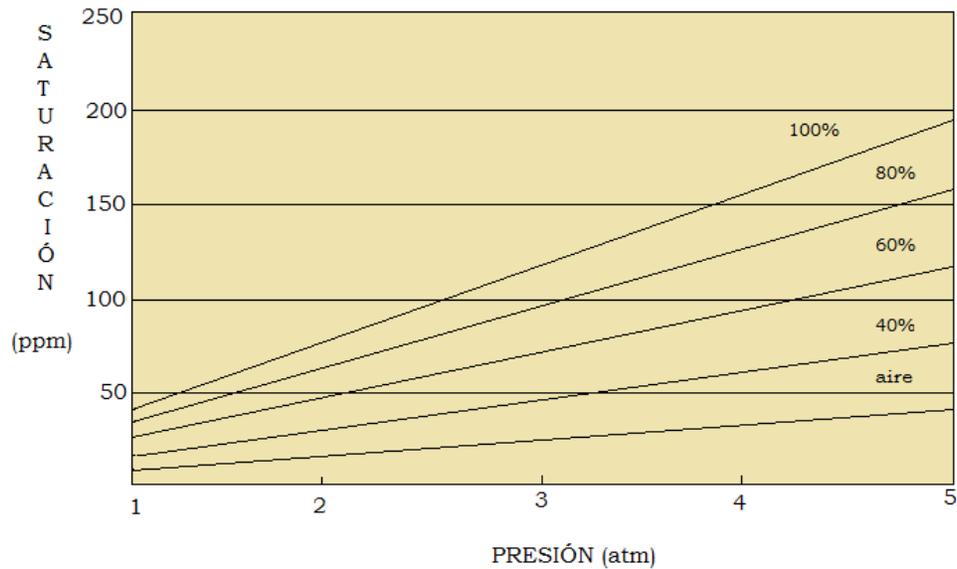


Figura 3.- Efecto de la presión en la solubilidad de oxígeno

PROTOCOLO DE PRUEBA

Desarrollo

1. Mineral seco, previamente molido <70% 200 mallas, composición Sílice 84%, oro-plata-Cu, arsénico, selenio
2. Ajustar sistema de agitación de 300 RPM
3. Colocar analizador de OD en la pulpa,
4. Ajustar el pH 10-11,
5. Agregar Cianuro
6. Aplicar flujo de oxidante
7. Conocer la máxima disolución de Oxígeno en la pulpa, por oxidante
8. Ajustar flujo de oxidante a una concentración en pulpa de 11, 19, 21 24 y 26 ppm
9. Tiempo de prueba de 24h por corrida, tomando muestra cada 2h las primeras 8 h y cada 4 las 16 h restantes.
10. Realizar análisis químico a la solución tomada en cada muestra
11. Reponer solución y sólidos
12. Realizar análisis químico a los sólidos de cola.

El diseño de experimentos a realizar se presenta en la Tabla 2. Las pruebas de laboratorio pueden repetirse 2 ó 3 veces, con la finalidad de corroborar resultados.

Tabla 2.-Diseño de experimentos para pruebas

Tiempo de prueba [h]	Oxidante [ppm]	Cianuro [kg/Ton]
24	7	2
24	11	1.3
24	19	1.3
24	21	0.8
24	24	1.7
24	26	0.90

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la Figura 4:

1. A concentraciones de oxígeno mayores a 8 ppm la recuperación incrementa considerablemente,
2. A mayor concentración de oxígeno disuelto en la pulpa la recuperación es mayor,
3. Se buscaría analizar concentraciones de oxígeno mayores a 25 ppm y ver si hay incremento de recuperación.

Con base en lo que se observa en la Figura 5:

1. En la lixiviación se habla de dos reactivos limitantes (oxígeno y cianuro), si observamos la barra 1 (de izquierda a derecha) vemos que el oxígeno es el reactivo limitante, no necesariamente se recupera más valor a mayor concentración de cianuro, sin embargo, podemos ver que existe una relación de mayor recuperación con concentraciones de oxígeno mayores a 8ppm
2. Desde concentraciones de oxígeno mayores a 8 ppm se ven incrementos de recuperación, barra 2.
3. Observando la barra 2 Vs. 3 la concentración de cianuro es la misma; diferencia se encuentra en la concentración de oxígeno, como resultado, se obtiene mayor recuperación en la prueba con mayor concentración de oxígeno.
4. Las recuperaciones óptimas se observan en concentraciones de oxígeno mayores a 17 ppm

5. La barra 4 y 6 muestran recuperaciones considerables, con una concentración de cianuro baja con respecto a las demás pruebas, lo que sugiere que se requiera menor cantidad de cianuro para la disolución óptima de valores.

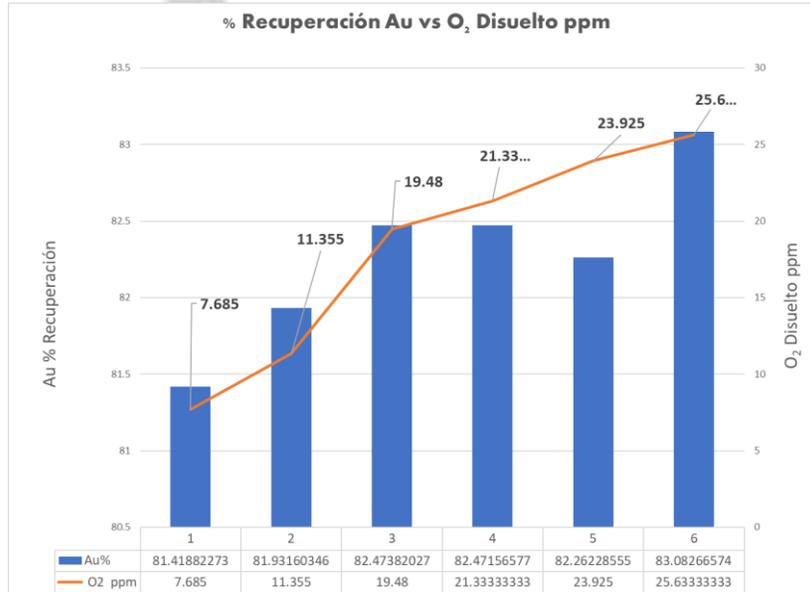


Figura 4.- Recuperación de plata Vs. Concentración de oxígeno

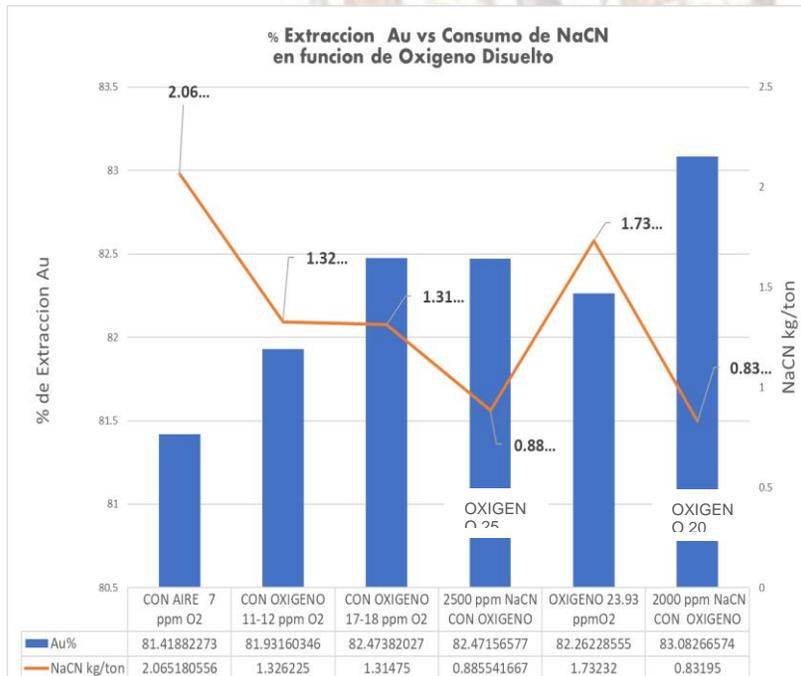


Figura 5.- Recuperación de plata Vs. consumo de Cianuro en función de oxígeno disuelto

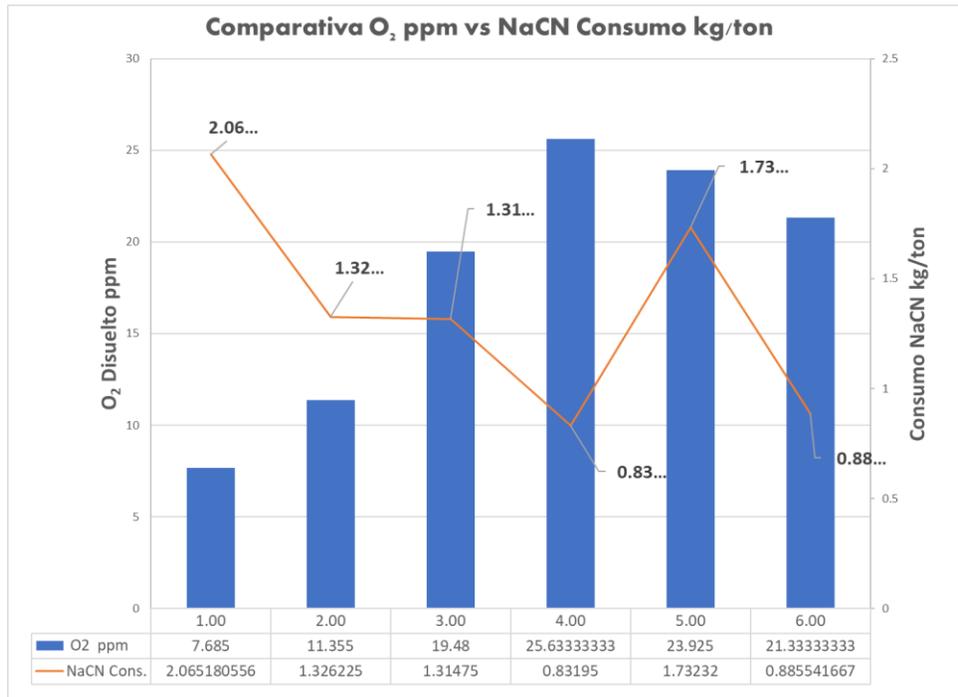


Figura 6.- Concentración de oxígeno Vs. Concentración de cianuro

La concentración de oxígeno y la concentración de cianuro son variables independientes, son controladas por la operación,

CONCLUSIONES

1. Se debe continuar la investigación y abrir más la brecha en concentraciones mayores a 20 ppm de oxígeno disuelto y consumos de cianuro > 0.5 hasta 2 kg / tonelada;
2. La recuperación de valores tiende a ser mayor a concentraciones de oxígeno superiores a 8 ppm.
3. La recuperación óptima se observa a concentraciones de oxígeno mayores a 17 ppm
4. Se tiende a un ahorro de cianuro si se mantiene una concentración de oxígeno mayor a 8ppm
5. El control en la recuperación de los valores está fuertemente ligado a la concentración de cianuro y de oxígeno disuelto.
6. El oxígeno disuelto se puede controlar relativamente fácil con una corriente pura de oxígeno.
7. El oxidante dentro del proceso de lixiviación es sumamente importante para una recuperación óptima.

REFERENCIAS

Habashi Fathi, Principles of Extractive Metallurgy Vol. 2, Gordon and Breach, Science Publishers Inc., second printing Nov. 1980.

McMaster James A, Update on the Kamyri CILCO Process, Sacramento, California, Nov. 1989.

McMullen Jacques. The advantages of oxygen, The Northern Miner Magazine, Toronto, Canada, July 1990.

ANEXO

Factores que afectan la concentración de cianuro libre

Formación de complejos de cianuro.

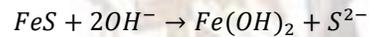


Formación de tiocianatos.

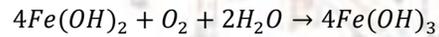


Factores que afectan la concentración de oxígeno disuelto

Descomposición de pirrotina.



Y en presencia de oxígeno, el producto de la reacción anterior se transforma en:



Formación de tiosulfatos.

