MI51G Procesos Hidro – Electrometalúrgicos **Octubre 10, 2008**
Profesor: Tomás Vargas
Auxiliar: Melanie Colet

Pauta Ejercicio 3.

1. Se realiza un experimento de lixiviación en un pequeño lecho de partículas de mineral de cobre sulfurado, conteniendo 1% de cobre, con radio promedio igual a 1,5 cm, en una solución lixiviante que contiene 4 g/l de ión férrico. El análisis de los datos de recuperación de cobre en el tiempo indica que la velocidad de reacción está controlada por difusión del agente lixiviante en el interior de la partícula y que para este caso experimental, el tiempo necesario para alcanzar el 100% de lixiviación (τ) es de 5 meses. Determine:

a) El tiempo necesario para lixiviar un 85% del cobre cuando el mineral tiene un radio promedio de 2,5 cm y se lixivia en una solución que contiene 2 g/l de ión férrico.
b) Determine el área de la pila necesaria para lixiviar 2 millones de toneladas de este mineral por año en las condiciones especificadas en (a). La altura de la pila es de 10 metros y la densidad del lecho mineral es aproximadamente 2 t/m^3.

SOLUCIÓN:

a)

En primer lugar debemos tener claro que *la velocidad de reacción está controlada por difusión del agente lixiviante en el interior de la partícula* por lo que la ecuación representativa del proceso será:

$$t = \tau \cdot \left[1-3\cdot\left(1-X_B\right)^{2/3}+2\cdot\left(1-X_B\right)\right]$$

, donde:

$$\tau = \frac{\rho_B \cdot R^2}{6\cdot b\cdot D_{eff}\cdot C_{AL}}$$

Para el caso experimental base se sabe que:

R = 1,5 cm
C_{AL} = 4 gpl
τ = 5 meses

Entonces,

$$\tau = \frac{\rho_B}{6\cdot b\cdot D_{eff}}\cdot\frac{R^2}{C_{AL}} = cte\cdot\frac{R^2}{C_{AL}} \rightarrow 5 \ meses = cte\cdot\frac{(1{,}5 \ cm)^2}{4 \ gpl}$$

Luego,

$$cte = \frac{5 \ meses\cdot 4 \ gpl}{(1{,}5 \ cm)^2} = 8{,}9 \ \frac{meses\cdot gpl}{cm^2}$$

Ahora, para determinar el valor de τ a las condiciones de operación del proceso en estudio tenemos que:

$$\tau = cte \cdot \frac{R^2}{C_{AL}} \rightarrow \tau = 8{,}9 \frac{meses \cdot gpl}{cm^2} \cdot \frac{(2{,}5\ cm)^2}{2\ gpl}$$

$$\tau = 27{,}8\ meses$$

Finalmente, se obtiene el tiempo para lixiviar el 85% del cobre que será igual a:

$$t = 27{,}8\ mesees \cdot \left[1 - 3 \cdot (1 - 0{,}85)^{2/3} + 2 \cdot (1 - 0{,}85)\right]$$

$$t = 12{,}6\ mesees$$

b)

Queremos tratar 2.000.000 t de mineral al año, lo que equivale a tratar pilas de:

$$m_{pila} = 2.000.000 \frac{t}{año} \cdot \frac{1}{12} \frac{año}{meses} \cdot 12{,}6\ meses = 2.100.000\ t$$

Luego, el volumen de la pila será:

$$V_{pila} = \frac{m_{pila}}{\rho_{pila}} = \frac{2.100.000}{2} \frac{t}{t/m^3} = 1.050.000\ m^3$$

Dado que la altura es de 10 m entonces su área será igual a:

$$V_{pila} = A \cdot h \rightarrow A = \frac{V_{pila}}{h} = \frac{1.050.000}{10}\ m^2$$

$$A = 105.000\ m^2$$

2. En un reactor de biolixiviación la calcopirita es lixiviada por el ion férrico, Fe^{+3}, que ocurre según la reacción:

$$4Fe^{+3} + CuFeS_2 \rightarrow 5Fe^{+2} + Cu^{+2} + 2S^0$$

En el reactor hay una concentración de 3 g/l de ion ferroso, Fe^{+2}, y una concentración de microorganismso hierrooxidantes de 10^7 bact/ml.

a) Determine la velocidad con que las bacterias oxidan el ion ferroso a ion férrico en estas condiciones (en g Fe^{+2}/h - l).
b) Suponiendo que todo el ion férrico generado por oxidación bacteriana del ion ferroso, reacciona instantáneamente con la calcopirita, determine la velocidad de lixiviación de cobre en el reactor (en g Cu/h - l).
c) Suponiendo que la concentración de ion ferroso se mantiene constante, determine la población bacteriana en el reactor después de 24 hrs.

Datos: μ_{max} = 0,0560 bact/bact - hr; K_m = 0,05 g/l

SOLUCIÓN:

a)

Es importante tener presente en estos casos que la velocidad con que las bacterias oxidan el ión ferroso se puede determinar a partir de la expresión:

$$v_{Fe^{+2}} = -\frac{1}{Y}\cdot\frac{\mu_{\max}\cdot[Fe^{+2}]\cdot X}{K_m + [Fe^{+2}]}$$

Luego, dadas las condiciones de operación mencionadas en el enunciado, se tiene que:

$[Fe^{+2}]$ = 3 gpl
$X = N\cdot\rho\cdot V = 10^7\ {}^{bact}/_{ml}\cdot\rho\cdot V$
K_m = 0,05 gpl
$\mu_{max} = 0{,}056\ {}^{1}/_{h}$

, siendo: ρ la densidad de bacterias y V el volumen ocupado por ellas (no conocidos por lo que los resultados se expresan en función de estos parámetros). Por su parte el rendimiento, *Y*, tampoco se conoce por lo que también el resultado quedará expresado en función de éste.

Luego,

$$v_{Fe^{+2}} = -\frac{1}{Y}\cdot\frac{\mu_{\max}\cdot[Fe^{+2}]\cdot X}{K_m + [Fe^{+2}]}$$

$$v_{Fe^{+2}} = -\frac{1}{Y\left[{}^{g\ bact}\!/_{g\ Fe^{+2}}\right]}\cdot\frac{0{,}056\ {}^{1}\!/_{h}\cdot 3\ gpl\cdot 10^7\cdot\rho\cdot V\ {}^{g\ bact}\!/_{ml}}{0{,}05\ gpl + 3\ gpl}$$

Entonces,

$$v_{Fe^{+2}} = -5{,}51 \cdot 10^{8} \cdot \frac{\rho \cdot V}{Y} \; \frac{g \;\; Fe^{+2}}{h-l}$$

b)

La reacción de formación de ión férrico por oxidación de ión ferroso corresponde a:

$$Fe^{+2} \;\longrightarrow\; Fe^{+3} + e^{-}$$

Luego, la velocidad de aparición de ión férrico es igual a la velocidad con la que desaparece el ión ferroso. Luego,

$$v_{Fe^{+3}} = 5{,}51 \cdot 10^{8} \cdot \frac{\rho \cdot V}{Y} \; \frac{g \;\; Fe^{+3}}{h-l}$$

De acuerdo a la ecuación de reacción de lixiviación sabemos que:

$$4Fe^{+3} + CuFeS_2 \;\longrightarrow\; 5Fe^{+2} + Cu^{+2} + 2S^{0}$$

, por lo que cada cuatro moles de ión férrico consumido se genera uno de cobre en solución (Cu^{+2}). Luego, considerando que el peso atómico del hierro es 55,8 $^{g}/_{mol}$ y del cobre es 63,5 $^{g}/_{mol}$:

$$v_{Fe^{+3}} = \frac{5{,}51 \cdot 10^{8}}{55{,}8 \;\; {}^{g}\!/_{mol}} \cdot \frac{\rho \cdot V}{Y} \; \frac{moles \;\; Fe^{+3}}{h-l} \;\; = \;\; 9{,}87 \times 10^{6} \cdot \frac{\rho \cdot V}{Y} \; \frac{moles \;\; Fe^{+3}}{h-l}$$

Entonces, la velocidad de lixiviación de cobre será:

$$v_{Cu^{+2}} = \frac{1}{4} \cdot 63{,}5 \, {}^{g}\!/_{mol} \cdot 9{,}87 \times 10^{6} \cdot \frac{\rho \cdot V}{Y} \; \frac{moles \;\; Fe^{+3}}{h-l}$$

$$v_{Cu^{+2}} = 1{,}57 \times 10^{8} \cdot \frac{\rho \cdot V}{Y} \; \frac{g \;\; Cu^{+2}}{h-l}$$

c)

Si la concentración de ión ferroso se mantiene constante entonces:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot \left[Fe^{+2}\right]}{K_m + \left[Fe^{+2}\right]} = 0{,}056 \;\; {}^{1}\!/_{h} \cdot \frac{3 \;\; gpl}{(3 + 0{,}05) \;\; gpl} \;\; = \;\; 0{,}055 \;\; {}^{1}\!/_{h}$$

Luego, el número de bacterias después de 24 horas será (sabiendo que inicialmente existen 107 $^{bact}/_{ml}$):

$$N = N_0 e^{-\mu t} = 10^7 \ \frac{bact}{ml} \cdot \exp\left(-0{,}055 \ \frac{1}{h} \cdot 24 \ h \right)$$

$$\boxed{N = 2{,}67 \cdot 10^6 \ \frac{bact}{ml}}$$