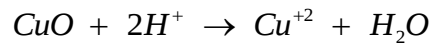


Pauta Control 2: Parte Hidro - Metalurgia

1.

La lixiviación de tenorita con ácido ocurre de acuerdo a la siguiente reacción:



En un experimento de lixiviación de partículas de tenorita de 0.2 cm diámetro con una solución con 0.1 M de ácido se obtuvieron los siguientes resultados:

Tiempo [días]	Fracción de cobre recuperada [%]
0	0
5	14
8	22
20	29
25	35
32	40
43	44
72	48
100	51

- Determine si la velocidad de lixiviación de cobre está controlada por un mecanismo de difusión o por reacción química.
- Determine el tiempo requerido para recuperar el 100% del cobre contenido en el mineral (τ).
- ¿Qué radio debería tener el mineral para alcanzar un 80% de recuperación en 2 meses?

SOLUCIÓN:

a)

Tenemos que llevar a cabo una regresión lineal para los dos modelos de difusión de acuerdo a las ecuaciones:

- *Control difusional*

$$t = \tau \cdot \left[1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B) \right] = m \cdot x, \text{ donde: } m = \tau \text{ y } x = 1 - 3 \cdot (1 - X_B)^{2/3} + 2 \cdot (1 - X_B)$$

- *Control reacción química*

$$t = \tau \cdot \left(1 - (1 - X_B)^{1/3} \right) = m \cdot x, \text{ donde: } m = \tau \text{ y } x = 1 - (1 - X_B)^{1/3}$$

Entonces debemos readecuar los valores de la tabla de datos para poder llevar a cabo nuestras regresiones lineales:

y = t	$x = 1 - 3 \cdot (1 - X_B)^{2/3} + 2 \cdot (1 - X_B)$	$x = 1 - (1 - X_B)^{1/3}$
0	0,000000	0,000000
5	0,006977	0,049031
8	0,017949	0,079484
20	0,032408	0,107888
25	0,048889	0,133761
32	0,065864	0,156567
43	0,081801	0,175743
72	0,100052	0,195855
100	0,115402	0,211626

Luego, haciendo regresión lineal obtenemos:

- *Control difusional*

$$m = 767,72$$

$$R^2 = 0,955769$$

- *Control por reacción química*

$$m = 415,93$$

$$R^2 = 0,883995$$

Se puede observar que el mejor ajuste es para un proceso de lixiviación con **control difusional** (mayor coeficiente de correlación) por lo que se determina que es este mecanismo el que controla.

b)

Del cálculo anterior se ha determinado que para control difusional $m = 767,72$ que corresponde al valor aproximado de τ . Luego, el tiempo requerido para recuperar el 100% del mineral será de 767, 72 días.

c)

En dos meses consideramos un total de 60 días y para recuperar el 80% con control difusional en ese tiempo se obtiene que:

$$60 \text{ días} = \tau \cdot \left[1 - 3(1 - 0,8)^{2/3} + 2(1 - 0,8) \right] \Rightarrow \tau = 160,42 \text{ días}$$

Si para el caso anterior (mineral de 0,1 cm de radio) se tenía un tiempo τ de 767,72 días entonces de la ecuación es posible observar que:

$$\tau = \frac{\rho_B \cdot R^2}{6 \cdot b \cdot D_{eff} \cdot C_{AL}} = a \cdot R^2 \Rightarrow 767,72 \text{ días} = a \cdot (0,1 \text{ cm})^2 \Rightarrow a = \frac{767,72}{0,1^2} \frac{\text{días}}{\text{cm}^2} = 76.772 \frac{\text{días}}{\text{cm}^2}$$

Luego, para el nuevo valor tenemos que:

$$169,42 \text{ días} = 76.772 \frac{\text{días}}{\text{cm}^2} \cdot R^2 \Rightarrow R = 469,77 \text{ } \mu\text{m}$$

2.

La velocidad con que las bacterias re – oxidan el ión ferroso a ión férrico en el proceso de biolixiviación se expresa según:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} [Fe^{+2}] \cdot X}{K_m + [Fe^{+2}]} \quad [1]$$

- a) Defina el significado y unidades de cada uno de los términos de la ecuación anterior y grafique la dependencia de μ con la concentración de ión ferroso identificando claramente los términos K_m y $\mu_{\max}$ en su dibujo. Explique el porque de la forma de la curva.
- b) Sabiendo que el rendimiento, Y , corresponde a la razón “masa bacteriana generada/masa de ion ferroso oxidada”, usando la ecuación (1) escriba la expresión para la velocidad de oxidación de ferroso, v_{Fe+2} .

SOLUCIÓN:

a)

Se tiene que:

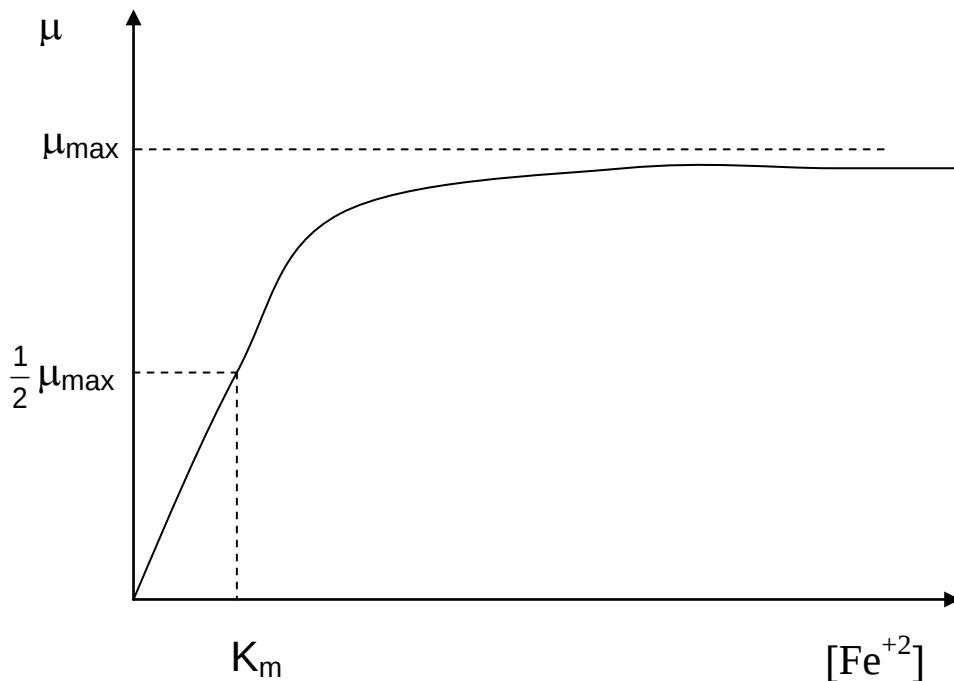
μ = velocidad específica de crecimiento bacterial [bacteria/mL-s]

$\mu_{\max}$ = valor máximo que puede alcanzar la velocidad específica de crecimiento bacterial [1/s]

$[Fe^{+2}]$ = concentración de ión ferroso en solución [M o gramos por litro]

X = población bacteriana en un cierto instante de tiempo [g de bacteria/mL]

K_m = concentración de ión ferroso para la cual $\mu = \mu_{\max}/2$ [M o gramos por litro]



La forma se debe a que llega un momento en que las bacterias alcanzan su velocidad de crecimiento máximo, es decir, llega un instante en que la población de microorganismos es tan alta que ya no pueden seguir multiplicándose dado un problema de *espacio ocupado*, por ende, por mucho sustrato que se le otorgue al sistema (aumento de la concentración de ión ferroso) la población bacteriana no crece.

b)

Sabiendo que:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} [Fe^{+2}] \cdot X}{K_m + [Fe^{+2}]}$$

, es masa de bacteria generada por unidad de volumen y por unidad de tiempo [g/mL-s]. Y que el *Rendimiento* es:

$$Y = - \frac{\frac{dX}{dt}}{\frac{d[Fe^{+2}]}{dt}}$$

, es masa de bacteria generada por unidad de volumen por concentración de ión ferroso oxidada.

Se tiene que la velocidad de oxidación del ión ferroso será:

$$v_{Fe^{+2} / Fe^{+3}} = - \frac{1}{Y} \cdot \frac{\mu_{\max} [Fe^{+2}] \cdot X}{K_m + [Fe^{+2}]}$$

, donde el signo menos indica que el ión ferroso desaparece durante el proceso de oxidación.

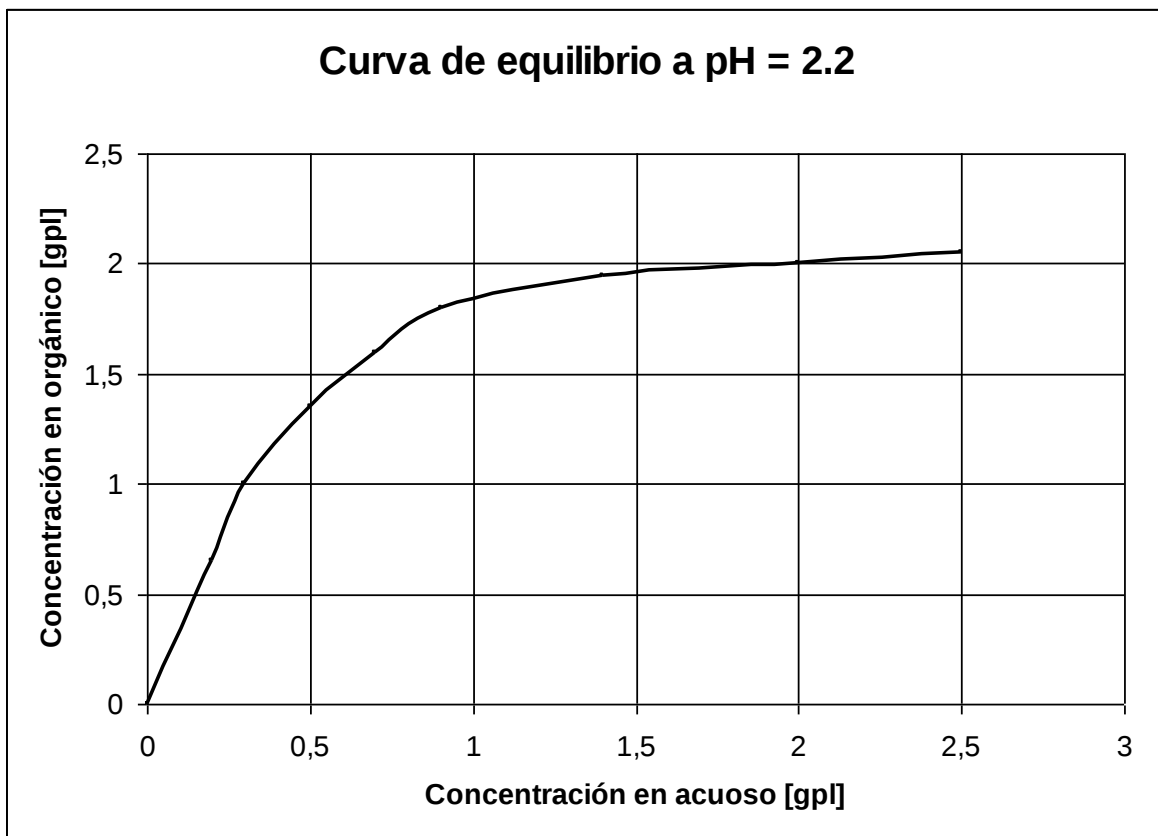
3.

Se procesan 20.000 tpd de mineral con una ley del 1,2%. Se desea recuperar el 80% del cobre contenido en este para lo cual se ha determinado (mediante experimentos cinéticos) que el tiempo de lixiviación es igual a 215 días. La densidad aparente del mineral apilado es igual a $1,8 \frac{t}{m^3}$ y la altura de las pilas es igual a 8 m, siendo éstas irrigadas por un flujo de solución ácida igual a $15 \frac{l}{h \cdot m^2}$ que contiene 0,5 gpl de Cu^{+2} proveniente de extracción por solventes.

- a) Determine el volumen de pilas requerido para tratar este flujo de mineral y el área de éstas.
- b) Determine el flujo y la concentración de cobre en la solución cargada a la salida de las pilas de lixiviación (PLS).

La solución PLS es tratada en una planta de SX con una relación $F_O/F_A = 1,2$. La concentración de cobre en el acuoso de salida de la extracción 0,5 gpl y en el orgánico de entrada de 0,6 gpl.

- c) Calcule la concentración de cobre del orgánico de salida y determine gráficamente el número de etapas del proceso SX si la eficiencia es del 60% (curva de equilibrio adjunta).



SOLUCIÓN:

a)

Tenemos una masa de 20.000 t al día de mineral el cual se dispone en pilas de densidad igual a $1,8 \frac{t}{m^3}$ es decir el volumen de éstas será:

$$V = 20.000 \frac{t}{1,8 \frac{t}{m^3}} = 11.111 \frac{m^3}{día}$$

En 215 días de tiempo de residencia del mineral en las pilas se requerirá un volumen total de pilas de:

$$V_{\text{pilas}} = 11.111 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 215 \text{ días} = 2.388.865 \text{ m}^3$$

Si la altura de las pilas es 8 m el área de éstas será:

$$A_{\text{pilas}} = 2.388.865 \text{ m}^3 / 8 \text{ m} = 298.608 \text{ m}^2$$

b)

El flujo de solución, sabiendo que se irrigan $15 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$, luego el flujo total de solución irrigada será de:

$$Q = 15 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2 \cdot 298.608 \text{ m}^2 = 4.479.120 \text{ l/h} = 4.479 \text{ m}^3/\text{h}$$

La concentración de cobre se obtiene sabiendo que el mineral tratado contiene un 1,2% en peso de cobre del que se recupera en solución el 80% por lo que:

$$\text{Cobre recuperado} = 20.000 \text{ t/día} \cdot 215 \text{ días} \cdot 0,012 \cdot 0,8 = 41.280 \text{ t}$$

Entonces la concentración de la solución de salida (sabiendo que vienen con 0,5 gpl de Cu^{+2}) será:

$$[\text{Cu}^{+2}] = 41.280 \times 10^6 \text{ g} / (4.479.120 \text{ l/h} \cdot 24 \text{ h/día} \cdot 215 \text{ días}) + 0,5 \text{ gpl} = 2,29 \text{ gpl}$$

c)

Tenemos que el balance de masa queda como:

$$F_O \cdot ([\text{Cu}^{+2}]_{O,s} - [\text{Cu}^{+2}]_{O,e}) = F_A \cdot ([\text{Cu}^{+2}]_{A,e} - [\text{Cu}^{+2}]_{A,s})$$

Entonces:

$$1,2 \cdot ([\text{Cu}^{+2}]_{O,s} - 0,6) = (2,29 - 0,5)$$

$$[\text{Cu}^{+2}]_{O,s} = 2,09 \text{ gpl}$$

Para esto se puede obtener de las curvas de equilibrio que se requieren alrededor de **4 etapas** con un 60% de eficiencia de extracción.

Curva de equilibrio a pH = 2.2

