

MODELACIÓN DE LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN UN SISTEMA DE LIXIVIACIÓN INDUSTRIAL

Armando Rojas Vargas, Amancia García Pérez
Centro de Investigaciones del Níquel

Se realizó un estudio del tiempo de retención en un sistema de lixiviación industrial añadiendo una sustancia trazadora de carbonato de sodio. Se dosificó de forma instantánea y muestreó en un intervalo de tiempo constante de 3 min. Se apreció simetría en la curva de distribución del trazador y una tendencia más Gaussiana y menos exponencial. Se ajustó al modelo de David Wolf y William Resnick con un 99,68 % de estadígrafo de regresión; al de tanques en serie con un 93,27 % y de dispersión, 72,58 %. Se obtuvo un 11 % de zonas muertas dada por cortocircuitos hidráulicos o canalizaciones y presencia de lodos, en consecuencia, el tiempo de retención experimental resultó menor al teórico calculado. El número de tanque en serie fue $N=4$ y el módulo de dispersión alcanzó valor de $D/(L) = 0,145$. La densidad de la pulpa, el nivel de "arena", el análisis de las extracciones de los metales y la prueba para determinar la eficiencia del sistema de lixiviación son variables a considerar durante la determinación del tiempo de retención.

Palabras clave: Tiempo de retención, trazador, modelos.

A study of retention time in a leaching industrial system adding carbonate of sodium as tracer substance was carried out. It was dosed of instantaneous form and the samples were taken in an interval of constant time around 3 min. Symmetry in the tracer distribution curve and tendency more Gaussian and less exponential was appreciated. It was adjusted to the model of David Wolf and William Resnick with 99,68 % of regression statistician; to that of Tanks in series with 93,27 % and of Dispersion, 72,58 %. 11 % of dead areas were obtained given by hydraulic short circuits and presence of dirt, in consequence, the time of experimental retention was smaller to the theoretical one calculated. The tank number in series was $N=4$ and the dispersion module reached value of $D/(L) = 0,145$. The pulp density, the level of "arena", the analysis of metals extractions and the test to determine the efficiency of the leaching system are variable to consider during the determination of the retention time.

Key words: retention time, tracer, models.

Introducción

En la literatura especializada se han reflejado ampliamente los factores que inciden en la eficiencia de lixiviación de metales por la tecnología carbonato amoniacal, indicando la complejidad del sistema de reacción g-l-s.

La modelación de estos sistemas incluye como una complejidad adicional que el tiempo de retención (to) es distinto para las diferentes fracciones del volumen que entra en el tiempo $t = 0$; además, la distribución del tiempo de residencia de las partículas se ve afectada por deficiencias en el diseño trayendo consigo mala distribución de la pulpa alimentada al sistema, presencia de cortocircuitos hidráulicos y zonas muertas estancadas que afectan la eficiencia de extracción. Uno de los métodos aplicados para evaluar dichas condiciones hidráuli-

cas es la adición de sustancias trazadoras con la finalidad de analizar la curva de distribución y determinar el modelo de flujo.

Los reactores continuos se clasifican en función de los modelos de flujos como sigue: el modelo Flujo Pistón, Mezclado y Flujo no ideal. Las características de cada uno de ellos se muestran en /3, 4/.

Los modelos de flujo se emplean además para predecir las conversiones en sistemas de reacción ya sean lineales y no lineales /4/. La concordancia entre la conversión predicha y la real, dependerá de la bondad con que el modelo refleje el comportamiento real.

En este artículo se muestran los resultados obtenidos al efectuar un tiempo de retención en un sistema de lixiviación industrial, con el propósito

fundamental de obtener el modelo para flujo real más representativo del comportamiento del sistema entre: Modelo de David Wolf y William Resnick, Modelo de dispersión y Modelo de Tanques en serie.

En /1/ se hace referencia a otros criterios que se recomiendan en la literatura aplicar para analizar la curva de distribución del tiempo de residencia como son índices fundamentados en factores empíricos y semiempíricos. Entre otros modelos de flujo real podemos citar Modelo de Cholette y Cloutier (1987), Modelo de Martín A. *et. al.* /3/.

Metodología

Muestreo:

Para determinar el tiempo de retención se empleó el método de dosificación de sustancias inertes o trazadoras. La sustancia trazadora fue el carbonato de sodio (Soda Ash). Se dosificó de forma instantánea y muestreó en la descarga del sistema cada tres (3) min. Los análisis químicos se realizaron mediante un equipo de Absorción Atómica SP-9.

Modelos para flujo real

En literatura se han propuesto modelos matemáticos para flujo real /2, 4/ como son:

Modelo de David Wolf y William Resnick

Las ecuaciones y el procedimiento para ajustar el modelo de David Wolf y William Resnick se refleja en /1, 2, 4/.

Modelo de dispersión

El parámetro que mide el grado de dispersión es el grupo adimensional (D/vL) denominado módulo de dispersión. A partir de este grupo se han establecido criterios referidos a los modelos de flujos más probables del sistema /4/ como son:

- $(D/vL) = 0.002$, la dispersión es pequeña o despreciable y el fluido tiende a flujo pistón.

- $(D/vL) = 0.025$, la dispersión es mediana y el fluido tiende a flujo no ideal.
- $(D/vL) = 0.2$, la dispersión es grande y el fluido tiende a mezcla completa.

En /2/ se ha tomado como referencia valor igual a 0.01 e igual criterio a los anteriores.

Para determinar este parámetro, se debe calcular la amplitud de la distribución (σ^2) definida por la ecuación (1). Representa el cuadrado de la amplitud de la distribución y su dimensión es el tiempo al cuadrado.

Cuando el grado de dispersión es grande para recipientes abiertos, la concentración de la sustancia trazadora está dada por la ecuación (2). Para determinar el módulo de dispersión, se debe emplear la ecuación (3) y un procedimiento iterativo como es el error y tanteo.

$$\sigma^2 \cong \frac{\sum (t_i^2 * C_i)}{\sum C_i} - \left[\frac{\sum (t_i * C_i)}{\sum C_i} \right]^2 \quad (1)$$

$$C_\theta = \frac{1}{2\sqrt{\pi * \frac{t}{tm} * \left(\frac{D}{vL}\right)}} \exp \left[- \frac{\left(1 - \frac{t}{tm}\right)^2}{4 * \frac{t}{tm} * \left(\frac{D}{vL}\right)} \right] \quad (2)$$

$$\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma^2}{(tm)^2} = 2\left(\frac{D}{vL}\right) + 8\left(\frac{D}{vL}\right)^2 \quad (3)$$

Modelo de tanques en serie

El modelo de Tanques en serie reportado en /4/ está descrito por la ecuación (4). Se supone que el reactor puede representarse por varios tanques de mezcla completa ideal del mismo tamaño en serie y el único parámetro es el número de tanques en serie (N).

Para comparar los resultados experimentales con la predicción teórica, se debe emplear la ecuación (5).

$$E_\theta = \frac{N * \left(N * \frac{t}{tm}\right)^{N-1}}{(N-1)!} \exp\left(-N * \frac{t}{tm}\right) \quad (4)$$

donde:

N: etapas o tanques en serie.

$$E_{\theta} = E * tm = \frac{c_i * tm}{\sum (c * \Delta T)} \quad (5)$$

donde:

E: Representa la curva de distribución experimental de edad a la salida, es decir distribución del tiempo en el sistema.

A medida que N incrementa desde 1 hasta , el modelo de flujo en el recipiente se ajusta desde el tanque Mezclado hasta el flujo Pistón.

Resultados y discusión

Curva de distribución del trazador en el efluente

En la figura 1 se muestra la curva del trazador en el efluente del sistema de lixiviación. En ella se indican los parámetros calculados como se refleja en /1/. Se aprecia una curva bastante simétrica (más Gaussiana y menos exponencial al término).

De esta curva se obtuvo que el tiempo mediano de retención es de 37 min. y al aplicar la aproximación matemática reflejada en /1, 4/, de 46 min. Las diferencias están dadas porque en la descarga del sistema se obtuvo una concentración de trazador inferior al alimentado en 10 ppm. Estos tiempos experimentales fueron menor al teórico calculado.

Aplicación del modelo matemático de Wolfy Resnick para flujo real

Se ajustó el modelo mediante el programa computacional Statgraphics 4.1, obteniendo elevado estadígrafo de regresión tal como se refleja a continuación:

$$\ln |1 - F(t)| = 1.01952 - 2.2693 * \left(\frac{t}{t_0}\right)$$

$R^2 = 99.69$

R^2 (ajustado por los grados de libertad) = 99.68

Error estándar del estimado: 0.043

Media absoluta del error: 0,0036

El sistema se ajusta al modelo de flujo Pistón en un $P = 50,5 \%$ y modelo Mezclado en un $M = 49,5 \%$. Esto indica que hay un grado muy intermedio correspondiente a flujo no ideal. Al calcular el volumen de espacios muertos, alcanzó un valor de $me = 11,0 \%$, explicando el hecho de que el tiempo de retención experimental resultara inferior al teórico calculado.

Un 11 % de zonas muertas pudo estar dado por la presencia de lodos (o nivel de arena alto) donde el fluido no puede penetrar, así como cortocircuitos hidráulicos que en interacción con pulpas de baja densidad debido a una mala distribución y segregación del sólido, traen como consecuencia que incremente el gradiente de velocidad y el volumen de pulpa atraviesa el sistema rápidamente, afectando la extracción y eficiencia del sistema de lixiviación, variables que se recomiendan evaluar durante las pruebas con trazador.

En la figura 2 se muestran los valores observados y predichos de $F(t)$, colocándose uno encima de otro, demostrando la bondad del ajuste, aunque principalmente a partir de $t_p=33$ min.

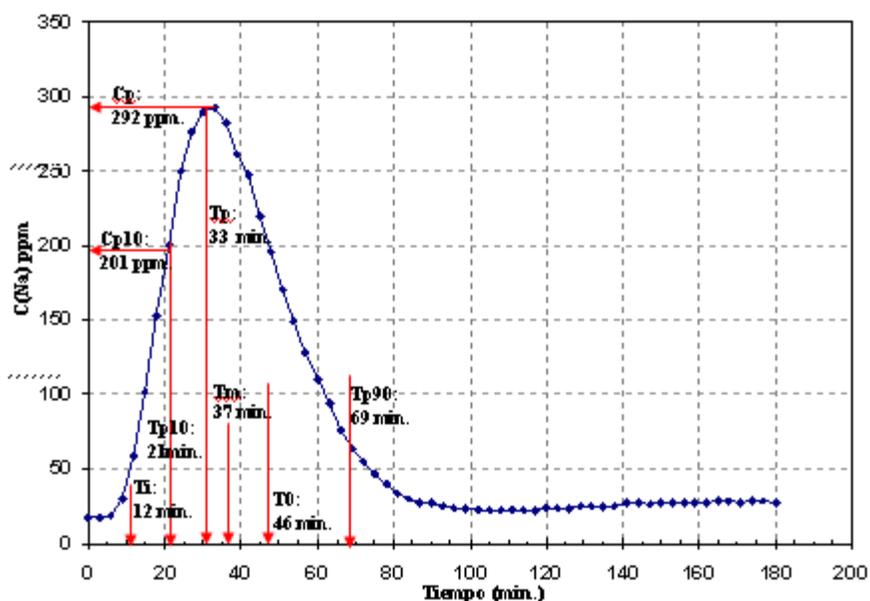


Fig. 1 Curva de distribución del trazador en el efluente del reactor.

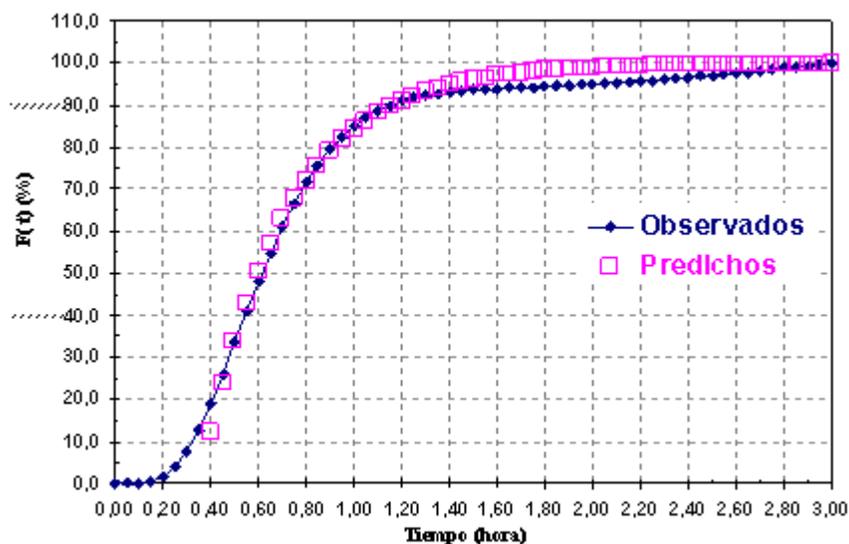


Fig. 2 Valores observados y predichos. Modelo de Wolf y Resnick.

Aplicación del modelo de dispersión

Al aplicar el modelo de dispersión se obtuvo que la amplitud de la distribución alcanzó un valor de $\sigma^2 = 915$, $\sigma^2_{\theta} = 0,439$, y por medio de un error y tanteo, el módulo de dispersión igual a $D/vL = 0.1405$.

Puede observarse en la figura 3 los valores

observados vs. los predichos, con una apreciable dispersión. Correlacionando dichos valores en una hoja de Cálculo EXCEL, se obtuvo un estadígrafo de regresión igual a $R^2=0.7258$, lo cual constituye un criterio de decisión para elegir el modelo más representativo de los datos. Al calcular el valor del Peclet se obtuvo un valor bajo igual a 0.051, corroborando la alta dispersión.

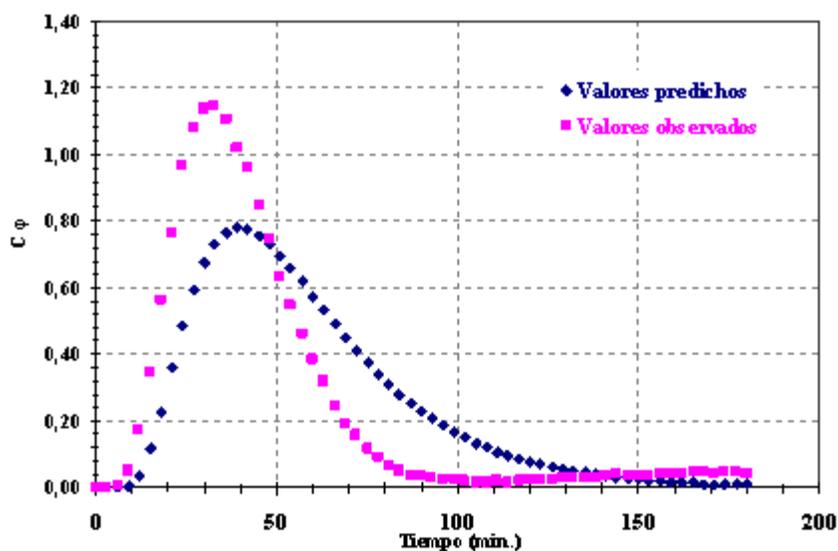


Fig. 3 Valores observados y predichos. Modelo de dispersión.

Aplicación del modelo Tanques en serie

Se ajustaron los datos de concentración de trazador en la descarga del sistema al modelo de Tanques en serie, como se muestra en la figura 4, para N=4. Al correlacionar los valores observado vs.

los predichos, se obtuvo un estadígrafo de regresión igual a $R^2=0.9327$, reflejando ser este modelo más representativo de los datos que el Modelo de Dispersión, e inferior al modelo de Wolf y Resnick.

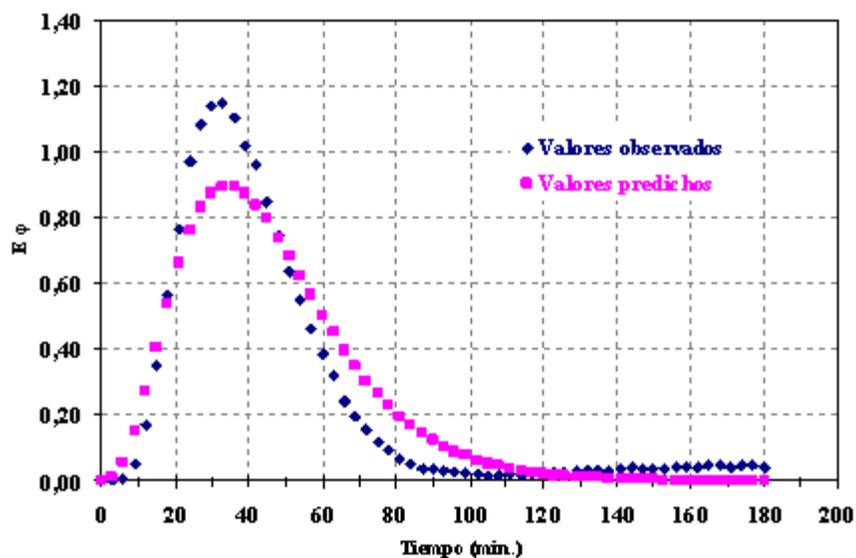


Fig. 4 Valores observados y predichos. Modelo tanque en serie.

Conclusiones

1. Se determinó el tiempo de retención experimental aplicando carbonato de sodio como sustancia trazadora a un sistema de lixiviación industrial, alcanzando un valor de 37 min., menor al teórico calculado.
2. La diferencia entre los tiempos experimentales de retención calculados al aplicar dos métodos propuestos estuvo dado porque en el

periodo de evaluación, no se logró obtener en la descarga semejante concentración que en el alimentado.

3. El modelo de Wolf y Resnick es más representativo de la distribución del trazador comparado con el modelo de Tanques en serie y de Dispersión, con un 99.68% de estadígrafo de regresión. El modelo de flujo fue intermedio entre flujo Pistón y Mezclado, correspondiente a flujo no ideal.
4. Se obtuvo un 11 % de zonas muertas en el sistema como consecuencia de la presencia de lodos (o nivel de arena alto), así como cortocircuitos hidráulicos o canalizaciones en interacción con pulpas de baja densidad, provocando que el tiempo de retención experimental resultada menor al teórico calculado.
5. El análisis de las extracciones de los metales y la prueba para determinar la eficiencia del sistema de lixiviación son variables a tener en cuenta para el análisis de la curva de distribución del tiempo de retención.

Bibliografía

1. Rojas, V. A. "Análisis de la curva de distribución del tiempo de residencia en un sistema de lixiviación.". Proceso editorial, revista Tecnología Química.
2. Arroyave, D., G.; González, M., A.; Gallego, D., S. "Evaluación del comportamiento hidráulico un reactor USAB utilizado para el tratamiento de aguas residuales". Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de minas. http://www.ciiq.org/variop/peru_2005/Trabajos/III/3/3.3.11.pdf. margoiq@yahoo.com. [consulta: 11 ene. 2008].
3. Martín, A. D.; Tzatchkov, V. G. Modelación del Flujo en unidades de tratamiento de agua potable. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexicon/R-0189.pdf>. [consulta: 15 ene. 2008]
4. Levespiel, O. "Ingeniería de las reacciones químicas". Ciudad de La Habana, Editorial Pueblo y Educación, 1974, pp. 277-347.
5. Morgan, J. M. et Al. "Un nuevo índice para la interpretación de las curvas de distribución de tiempos de residencia en tanque para el tratamiento de agua". Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.femisca.org/publicaciones/XIcongreso/XICNIS017.pdf>. [consulta: 11 ene. 2008]
6. Viera, B. R; Soler, S. Diseño y análisis de reactores químicos. T. I, III y IV. La Habana, Ediciones ENPES, 1998.