

CORRELACION ENTRE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA  
EXPERIMENTALES Y ESTIMADOS PARA LA CEMENTACION DE COBRE SOBRE  
GRANULOS DE ZINC

LUIZ ALBERTO MEZA SAUCEDO<sup>1</sup>

RESUMEN

Se determinó experimentalmente los coeficientes de transferencia de masa para la cementación de cobre sobre gránulos de zinc considerando que tal proceso sigue una ecuación de primer orden, si - multáneamente se hizo un estimativo de tales coeficientes para el mismo sistema de cementación en base a un tratamiento semi-teórico y se encontró que las desviaciones está en el rango del 11-22%, operando bajo las condiciones de 0.5 gr/l de concentración inicial de cobre en la solución sulfato, el tamaño de los gránulos de zinc fue de 0.07195 cm, temperatura 25°C, agitación entre 180 - 1220 rpm y el volumen inicial de solución de sulfato de cobre fue de 4000 cm<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Profesor Asociado, Facultad Nacional de Minas , Universidad Nacional de Colombia, Medellín, COLOMBIA.

## INTRODUCCION

La cementación se emplea ampliamente como un método de recuperación de cobre, cadmio, oro y plata. También se emplea como una técnica de purificación en sistemas de recuperación electrolítica, por ejemplo, en la remoción de cobre, cadmio, cobalto, níquel y otros elementos a partir de soluciones cargadas de zinc.

En los sistemas de cementación metálica el transporte de masa externa es el efecto combinado de gradiente de difusión, el transporte convectivo y la migración de los iones en un campo eléctrico. El flujo de masa total será el resultante de todos los flujos de masa locales integrado sobre el área del metal precipitante. El flujo de masa esperado ha sido teóricamente determinado para algunas configuraciones geométricas específicas, tales como, una placa plana o un disco rotatorio en flujo laminar<sup>(1)</sup>. Otra configuración geométrica comúnmente empleada es un cilindro rotatorio para cual se ha establecido correlaciones empíricas para la transferencia de masa<sup>(2)</sup>.

Ya que a escala industrial los procesos de cementación se realizan en reactores agitados con polvo o gránulos metálicos, la cementación sobre partículas suspendidas es de mayor importancia que la cementación sobre placas planas, discos o cilindros rotatorios. Aunque el tratamiento teórico de transferencia de masa sobre partículas suspendidas en un reactor agitado no se ha desarrollado completamente, el coeficiente de transferencia de masa se puede estimar sobre una base semi-teórica para partículas esféricas de tamaño uniforme a partir de las propiedades físicas de la fase sólida y acuosa y el coeficiente de difusión del reactante<sup>(3,4)</sup>. Por tanto, el objetivo de este trabajo es determinar la correlación entre los coeficientes de transferencia de masa experimentales y los estimados para el sistema de cementación Cobre-Zinc empleando partículas suspendidas.

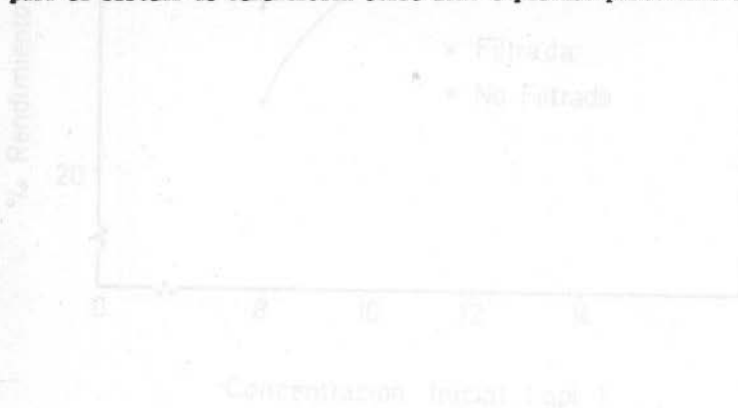


Figura 5

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1. Determinación de los Coeficientes de Transferencia de Masa Experimental.

Para el cálculo experimental de los coeficientes de transferencia de masa para un sistema de cementación se procede de la siguiente forma:

Virtualmente todas las reacciones de cementación siguen una ecuación cinética de primer orden de la forma siguiente<sup>(5,6,7)</sup>

$$-\frac{dN}{dt} = KAC \quad (1)$$

La expresión integrada en términos de la concentración del metal noble es:

$$Vt \log(C_0/C_t) = KA/2.303 \quad (2)$$

Donde:

$C_0$  y  $C_t$  = Concentración inicial y concentración al tiempo del ión de metal noble.

$K$  = Coeficiente de transferencia de masa

$Vt$  = Volumen de solución a tiempo  $t$

$t$  = Tiempo de cementación

$A$  = Área superficial del metal cementante.

Para el caso de cementación de cobre sobre granulos de Zinc esta ecuación toma la forma:

$$Vt, \log (Cu^{++})_0 / (Cu^{++})_t = KA/2.303 \quad (3)$$

Se asume en esta investigación que  $Vt$  = Volumen promedio, ya que el cambio volumétrico total durante cada experimento es menor de 0.5% del volumen original.

La superficie de reacción del Zinc granular se puede estimar por la siguiente ecuación<sup>(8)</sup>

$$A = 6X/do dp \quad (4)$$

Donde:

$x$  = peso total de los granulos de Zinc

$do$  = densidad del Zn

$dp$  = diámetro promedio de las partículas de Zn

Así, para determinar la velocidad de cementación, es necesario medir el consumo de cobre a intervalos de tiempo definido durante el curso de la reacción. Los datos experimentales se comparan con una ecuación cinética de primer orden. Si tales datos concuerdan razonablemente con una línea recta de  $Vt \log (Cu^{++})_0 / (Cu^{++})_t$  versus  $t$  que pasa por el origen, entonces el modelo cinético de primer orden se considera correcto. La pendiente de la línea resultante es igual  $KA/2.303$  a partir de la cual es posible calcular, el coeficiente de transferencia de masa  $K$ .

Las pruebas experimentales se realizaron en un reactor agitado con los aditamentos mostrados en el figura 1. Las condiciones del proceso de cementación para determinación experimental del coeficiente de transferencia de masa fueron los siguientes:

- Concentración inicial de cobre: 0.5 gr/l
- Tamaño de gránulos de Zinc : -20 + 28 mallas ( $d_p = 0.07195$  cm)
- Temperatura 25°C
- Velocidad de agitación en el rango de 180-1220 rpm
- Volumen inicial de solución de sulfato de Cobre = 4000 cm<sup>3</sup>

Los resultados se presentan en la Tabla 1.

## 2.2 Estimación de los Coeficientes de Transferencia de Masa

El coeficiente de transferencia de masa para cementación de Cobre sobre gránulos de Zinc puede estimarse sobre una base semi-teórica para partículas de tamaño uniforme a partir de las propiedades físicas de las fases acuosa y sólida, el coeficiente de difusión del reactante y bajo condiciones de estado estacionario usando la ecuación (3,4):

$$Sh = 2.0 + 0.6Re^{0.5} Sc^{0.33} \quad (5)$$

Donde:

$Sh = Km d_p / D =$  Número de Sherwood

$Re = d_p v / \nu =$  Número de Reynold

$Sc = \nu / D =$  Número de Schmidt

$Km =$  el coeficiente de transferencia de masa estimado

$d_p =$  diametro promedio de las partículas

$\nu =$  viscosidad de fluido

$D =$  el coeficiente de difusión del reactante

$d' =$  densidad del fluido

$v =$  velocidad del fluido relativo a la partícula

De la ecuación 5 se puede estimar el coeficiente de transferencia de masa para la cementación de cobre sobre Zinc granular con las siguientes suposiciones:

- Se asume que las partículas de Zinc son esféricas y mantienen su dimensión original durante el proceso de cementación.
- El proceso ocurre sobre una partícula única de Zinc en una gran cantidad de una solución de sulfato de Cobre.
- La velocidad del fluido relativa a la partícula es igual a la velocidad del fluido.
- La reacción ocurre a condiciones de estado estacionario sobre cualquier lapso de tiempo.

El coeficiente de transferencia de masa para el sistema de cementación Cu - Zn se estimó para las mismas condiciones dadas en la experimentación con los siguientes datos tomados de la literatura:

- Densidad de la solución de sulfato de Cobre:  $1.0051 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$  (9)
- $D =$  Coeficiente de difusión del ion cobre =  $7.3 \times 10^{-6} \text{ (cm}^2\text{/seg)}$  (10)
- $u =$  viscosidad de la solución de sulfato de cobre =  $8.9 \times 10^{-3} \text{ (gr/cm seg)}$  (10)

Los resultados estimados también se presentan en la Tabla 1 en donde se correlacionan con los coeficientes de masa experimentales. La desviación esta en el rango de 11 a 22%. Esta desviación es razonable ya que la ecuación 5, se determinó para una sola partícula esférica en una gran cantidad de fluido. También se asumió que la velocidad del fluido relativa a la partícula es igual a la velocidad del fluido y que la reacción ocurre bajo condiciones de estado estacionario. Como puede notarse los coeficientes de transferencia de masa experimental son un poco más grandes que los estimados a partir de condiciones estacionarias debido a los efectos de turbulencia ocasionados por la agitación. Por tanto, se sugiere que la discrepancia entre los valores experimentales y estimados de los coeficientes de transferencia de masa se debe principalmente a alguna contribución de las condiciones de estado no estacionario. Sin embargo, considerando los errores asociados con la medida de transferencia de masa y la incertidumbre en los datos físicos, particularmente la difusividad, la concordancia en general es satisfactoria.

**TABLA 1. Correlación entre los Coeficientes de Transferencia de masa experimentales y teóricos a 25°C.**

Agitación (rpm)	Coef. de Transf. de masa teórico (K, cm/min)	Coef. de Transf. de masa Exp. (K, cm/min)	Desviación (%)
180	0.947	1.156	22.07
290	1.199	1.337	11.51
490	1.406	1.658	17.92
540	1.631	1.895	16.19
640	1.775	2.109	18.19
770	1.946	2.300	18.19
870	2.068	2.376	14.89
980	2.194	2.514	14.59
1100	2.322	2.657	14.43
1200	2.442	2.803	14.78

## REFERENCIAS

1. Levich, V.G., "Physicochemical Hydrodynamics", 700 pp, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1962
2. Eisenberg, M., Tobias, C., and Wilke, C., "Ionic Mass Transfer and Concentration Polarization at Rotating Electrodes", J. Electrochem. Soc. V. 101, 1954, p 306.
3. Meza, Luis A., "A Kinetic Study of Copper Cementation on Granular Zinc, Master's Thesis, U. of Idaho, Graduate School, Feb. 1977.
4. Szekeley, J., and Themelis, N.J., "Rate Phenomena in Process Metallurgy", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1971, pp 565-638.
5. Nadkarni, R.M., Jelden, C.E.; Bowles, K.C., Flanders, H.E., and Wadsworth, M.E., "A Kinetic Study of Copper Precipitation on Iron", Part I, Trans. Soc. AIME, V. 239, 1967, pp. 581-585
6. Miller, R.L. and Wadsworth, M.E., "Kinetics of Copper Cementation on Nickel", Presented at Annual Meeting of AIME Feb. 15-29, 1968, New York.
7. Mackinnon, D.J., and Ingraham, T.R., "Kinetics of Cu (II) Cementation on Pure Aluminum Disc in Acidic Sulfate Solutions," Can. Met. Quart. V. 9, 1970, pp 443-448.
8. Allen, T., "Particle Size Measurement", Chapman and Hall, Ltd., 1968, p 222.
9. Weast, A., "Handbook of Chemistry and Physics", The Chemical Rubber Co., 1970-71 p. D-183
10. Strickland, P.H., and Lawson, F., "Cementation of Copper with Zinc from Dilute Aqueous Solutions", Proc. Aust. Inst. Min. Met., V. 236. 1970, pp 25-33.

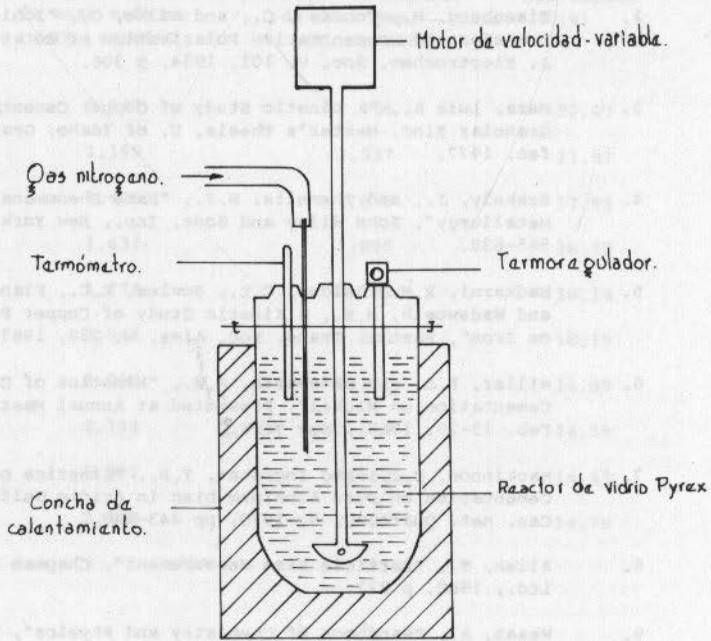


FIGURA 1 Representación esquemática del aparato de cementación.