

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE MASA EN UN HIDROCICLÓN MODIFICADO PARA APLICARLO AL TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE EFLUENTES

Resio, Luis C.

Área de Ingeniería Electroquímica del Programa de Electroquímica Aplicada e Ingeniería Electroquímica (PRELINE), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral.

Área: Ciencias Exactas
Sub-Área: Química
Grupo: X

Palabras clave: efluentes, hidrociclón, electroquímica.

INTRODUCCIÓN

Las reglamentaciones para el vertido de efluentes son cada vez más severas con el fin de preservar al medio ambiente. Ello requiere el desarrollo de nuevos procedimientos químicos y tecnológicos para procesar a los contaminantes y dar cumplimiento a las normativas establecidas. El tratamiento de los efluentes por vía electroquímica se presenta como una alternativa promisoriosa que ofrece como ventaja comparativa, respecto a otras tecnologías, no sólo la posibilidad de remover la sustancia nociva sino transformarla en una especie con valor comercial. De ese modo se logra un auténtico reciclado.

En la Cientibeca se propone para estos fines estudiar el tratamiento de efluentes incorporando electrodos a un hidrociclón para configurar un reactor electroquímico. Con ello se pretende aprovechar las buenas condiciones de transferencia de masa, que tiene este equipo, para la conversión electroquímica del contaminante y simultáneamente, en caso de transformarlo en un sólido, posibilitar su separación de la fase líquida.

El objetivo de esta comunicación es la caracterización de la transferencia de masa en el interior del hidrociclón mediante el empleo de la técnica electroquímica, que permite determinar el coeficiente local. Ello posibilitará establecer las zonas más activas en el equipo y así definir un reactor electroquímico con buen desempeño.

PARTE EXPERIMENTAL

Los experimentos se realizaron con un reactor electroquímico basado en un hidrociclón modificado, como se muestra en la **Figura 1**. La longitud del cuerpo cilíndrico fue 78 mm y 113 mm para la parte cónica con un ángulo de 18,6°. A la pared interna se adosó el cuerpo catódico de acero inoxidable 316 formado por 6 segmentos, 40 mm de diámetro y 12 mm de alto, en la región cilíndrica y 6 segmentos de 18 mm de alto en la zona cónica. Los segmentos fueron aislados entre sí por un anillo de poliamida de 1 mm de espesor. Como ánodo se usó un tubo de acero inoxidable 316, 25,5 mm de diámetro externo y 40 mm de largo, adosado a la parte externa del tubo de salida del equipo. Las salidas superior e inferior fueron de 7 mm y 3 mm, respectivamente. La superficie del cátodo fue pulida con lija al agua 2500. Resistores calibrados, 0,025 Ω , fueron insertados entre la parte posterior de cada segmento y el alimentador de corriente catódico. Midiendo la caída óhmica en los resistores se determinó la distribución de corriente axial, $I_{lim,i}$, y se calculó el coeficiente de transferencia de masa local, $k_{m,y}$ con la ecuación:

Proyecto: Modelado y estudio experimental de reactores electroquímicos gas-líquido. CAID 2011, 63-046

Director del proyecto: Ing. José M. Bisang

Director y Codirector del becario: Ing. José M. Bisang, Dr. Omar González Pérez

$$k_{m,y} = \frac{I_{lim,i}}{nFA_i c} \quad (1)$$

donde n es el número de electrones intercambiados, F la constante de Faraday, c la concentración y A_i el área del segmento i -ésimo en la posición axial y . Los datos experimentales fueron obtenidos con un adquisidor multicanal comandado por computadora.

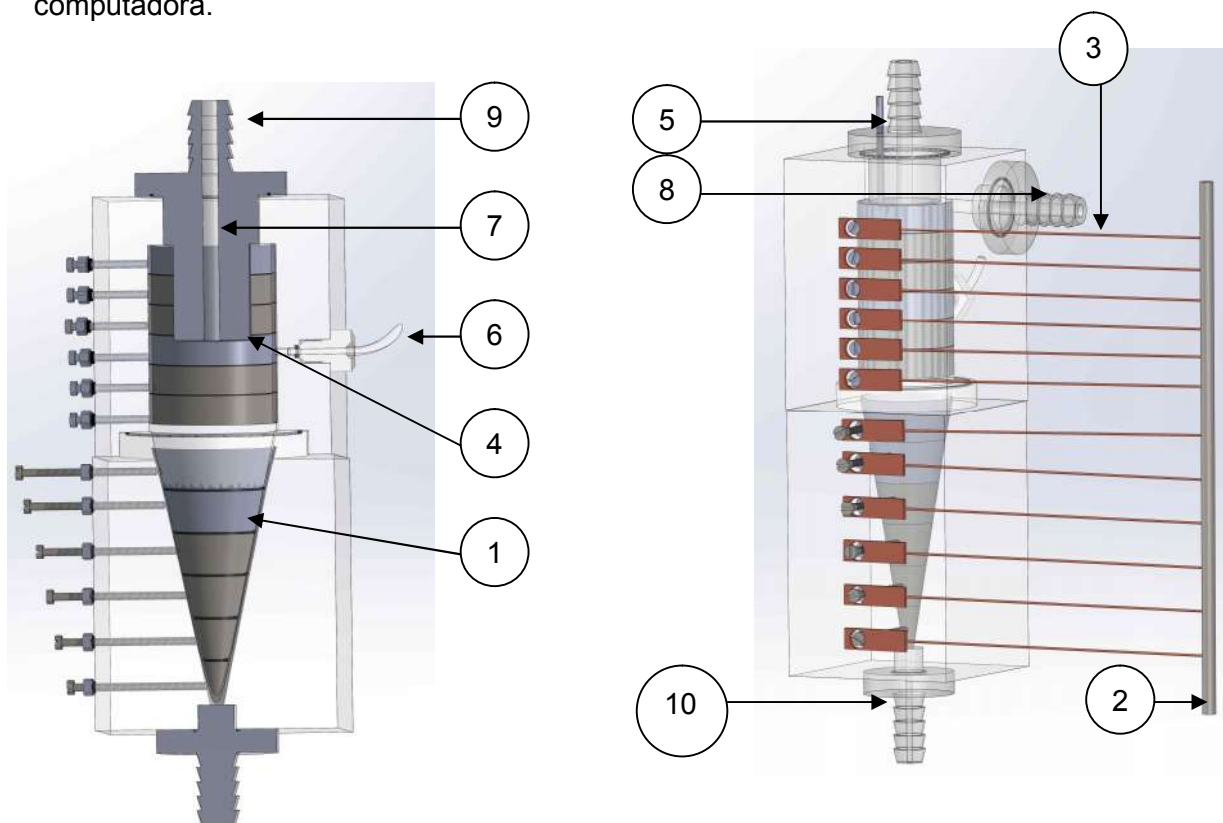


Figura 1. Representación esquemática del hidrociclón modificado. (1) Cátodo segmentado; (2) alimentador de corriente catódico; (3) resistores; (4) ánodo; (5) conexión eléctrica anódica; (6) capilar Luggin; (7) vortex finder; (8) entrada del electrolito; (9) salida superior; (10) salida inferior.

Los experimentos se condujeron potencioestáticamente a un potencial en el rango $-0,7$ V a $-0,85$ respecto a un electrodo de calomel saturado, conectado a un capilar Luggin en la parte media del cuerpo catódico cilíndrico. El reactor se insertó en un circuito de flujo provisto de reservorio, bomba y elementos para control de temperatura y caudal. Se operó a 30 °C con caudales de entrada en el rango de 6 a 10 $\text{dm}^3 \text{min}^{-1}$ y caudales de salida inferior entre 0 y $1,7$ $\text{dm}^3 \text{min}^{-1}$. Se usó como reacción test la reducción de ferricianuro desde soluciones con $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6] \cong 0,05$ mol dm^{-3} , $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6] \cong 0,1$ mol dm^{-3} , en $1,75$ mol dm^{-3} of K_2CO_3 como electrolito soporte, mientras que la reacción inversa ocurrió en el ánodo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **Figura 2** muestra curvas típicas de la distribución del coeficiente de transferencia de masa local en función de la posición axial en el hidrociclón para las condiciones

extremas de caudal analizadas en este trabajo. En cada caso se han realizado 10 determinaciones experimentales independientes, la línea continua une los valores medios y los segmentos representan las desviaciones estándar. Se observa una excelente coincidencia en todos los puntos de medida a excepción del segundo segmento en donde se detecta una alta dispersión de los resultados experimentales, que puede atribuirse al efecto de la entrada sobre la estabilidad de las condiciones fluidodinámicas.

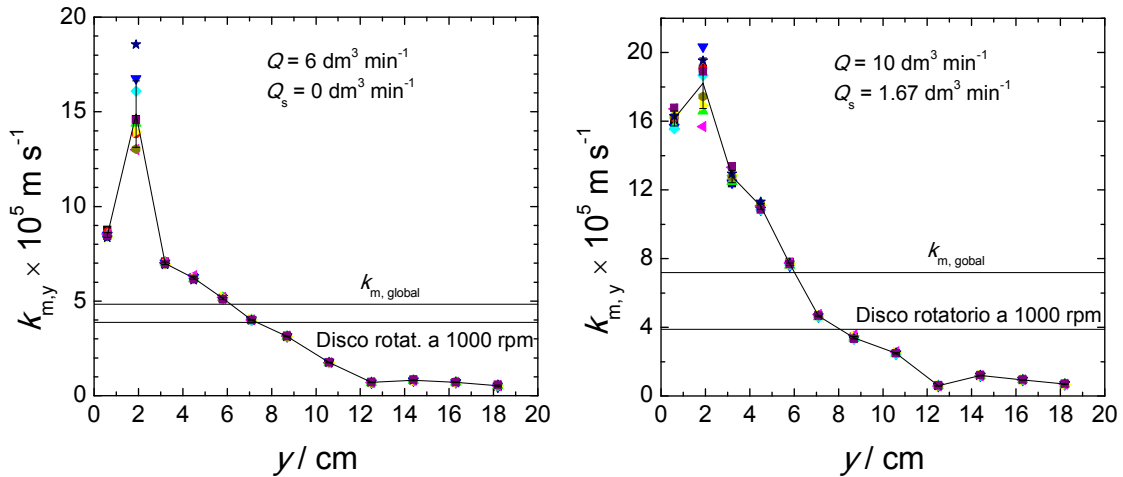


Figura 2. Coeficiente de transferencia de masa local en función de la posición axial.

En esta figura se informa también el coeficiente de transferencia de masa global, o medio, calculado en base a la **Ecuación 2**:

$$k_{m, \text{global}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} k_{m,y} A_i}{\sum_{i=1}^{12} A_i} \quad (2)$$

Este coeficiente global es comparado con el valor obtenido empleando la relación de Levich , **Ecuación 3**, para un disco rotatorio a una velocidad angular de 1000 rpm:

$$k_m = 0,62D^{2/3} \nu^{-1/6} \omega^{1/2} \quad (3)$$

siendo D el coeficiente de difusión, ν la viscosidad cinemática de la solución y ω la velocidad angular. Puede observarse que la transferencia de masa en el hidrociclón es aún superior a la del disco rotatorio, que es considerado un sistema muy eficiente. La **Figura 2** también revela que los segmentos de la zona cilíndrica son más activos que los de la región cónica, los cuales contribuyen escasamente a la corriente total. No obstante, la zona cónica resulta importante para la separación de los sólidos en suspensión, en el caso de usar el equipo para el tratamiento de efluentes.

La **Figura 3**, parte (a) permite observar que el coeficiente de transferencia de masa global es independiente del caudal de salida inferior. Las líneas discontinuas muestran el valor promedio para distintos caudales de alimentación, detectándose una fuerte influencia de esta variable. Así, en la parte (b) se representa en coordenadas doble logarítmicas el coeficiente global en función del caudal de salida inferior.

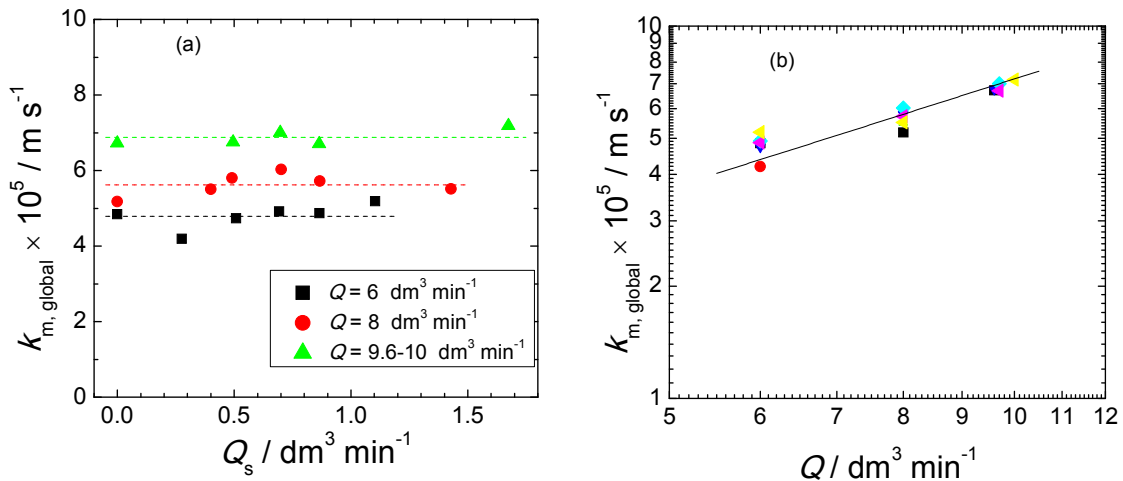


Figura 3. Coeficiente de transferencia de masa en función del caudal de salida inferior, Parte (a), y en función del caudal de alimentación, Parte (b).

Los resultados experimentales de la **Figura 3**, parte (b), fueron correlacionados dando la siguiente ecuación empírica para el coeficiente de transferencia de masa global

$$k_{m, global} \times 10^5 = 1,324 Q^{0,71} \quad (4)$$

Análogamente, la **Ecuación 5** informa este coeficiente para la parte cilíndrica

$$k_{m, global} |_{\text{Parte cilin.}} \times 10^5 = 1,770 Q^{0,79} \quad (5)$$

El alto valor en el exponente del caudal, superior a 0,7, corrobora las buenas condiciones de transferencia de masa del hidrociclón. Este exponente concuerda con lo informado por Dhamo (1994) y Yu y col. (2014).

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que el hidrociclón exhibe excelentes condiciones de transferencia de masa, principalmente en la zona cilíndrica. Así, un hidrociclón modificado se presenta como un equipo promisorio para el tratamiento electroquímico de efluentes, que será investigado en el período remanente de esta beca.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Dhamo N., 1994. An electrochemical hydrocyclone cell for the treatment of dilute solutions: approximate plug-flow model for electrodeposition kinetics, *Journal of Applied Electrochemistry*, 24, 745-750.

Yu B.-C., Kim S.-K., Sohn J.-S., Kim B.-S., Rhee K.-I., Sohn H.-J., 2014. Electrochemical behaviour and electrowinning of rhodium in acidic chloride solution, *Journal of Applied Electrochemistry*, 44, 741-745.