

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES ELECTROQUÍMICOS CON FLUJO HELICOIDAL MODIFICADO

Burgos, Tomás; Vilchez, Matias

PRELINE, Facultad de Ingeniería Química, UNL

Director: Bisang, José M.

Codirector: González Pérez, Omar

Área: Ingeniería

Palabras claves: Reactor electroquímico, Transferencia de materia, Promotores modificados.

INTRODUCCIÓN

Los reactores electroquímicos con flujo helicoidal representan una alternativa prometedora en la ingeniería electroquímica debido a sus óptimas condiciones para la transferencia de materia. No obstante, estos sistemas presentan una distribución del coeficiente local marcadamente heterogénea en la dirección axial. En este estudio, se examina el uso de contraelectrodos centrales modificados, tales como metal desplegado o perfiles helicoidales, con el fin de evaluar su impacto tanto en la uniformidad de la transferencia de materia como en el coeficiente global para diferentes configuraciones del contraelectrodo.

OBJETIVOS

- Evaluar los efectos de diferentes contraelectrodos modificados sobre la uniformidad de la transferencia de materia en la dirección axial y en el coeficiente global.
- Comparar los resultados obtenidos con estudios previos para evaluar la influencia de estas estructuras en el desempeño del reactor electroquímico con flujo helicoidal.

METODOLOGÍA

Los experimentos se realizaron con un reactor electroquímico de configuración cilíndrica con entrada y salida tangencial del electrolito para generar un flujo helicoidal. El equipo se armó uniéndolo, mediante una unión roscada, dos bloques paralelepípedicos de acrílico. El electrodo de trabajo está formado por 20 segmentos cilíndricos, aislados entre sí por un disco plástico. Cada segmento presenta una conexión eléctrica externa a un resistor, de baja resistencia, que posibilita determinar la distribución de corriente mediante un adquisidor de datos comandado por computadora. Además, el reactor tiene dos puertos, en su parte inferior y superior, para conectar sendos electrodos de referencia. El potencial del

Título del proyecto: "Evaluación experimental y teórica de reactores electroquímicos con condiciones hidrodinámicas mejoradas para el procesamiento de sistemas bifásicos (gas-líquido)"

Instrumento: CAI+D, Proyecto: 50620190100002LI

Año convocatoria: 2020

Organismo financiador: Universidad Nacional del Litoral

Director: BISANG, José M.



electrodo de trabajo se controla con un potenciostato con respecto al electrodo inferior y también se mide con el superior para garantizar que todo el sistema se encuentre en condiciones de corriente límite. Como contraelectrodo se usan dos tipos de estructuras. La primera fue metal desplegado soportado sobre un cilindro de teflón que al ser rotado permite analizar la influencia de los nervios sobre la transferencia de materia. La segunda son perfiles helicoidales, impresos en PET, que soportan un alambre helicoidal de níquel. Así, se analizan cinco tipos de contraelectrodos modificados: (i) malla de metal desplegado favoreciendo el flujo helicoidal de la solución, denominada promotor directo (MDD), (ii) con la misma malla atenuando el flujo, denominada promotor invertido (MDI), (iii) helicoide de 6 vueltas (H6), (iv) helicoide de 9 vueltas (H9), y (v) helicoide de 12 vueltas (H12).

El reactor está intercalado en un circuito de recirculación que incluye: una bomba, un termostato para el mantenimiento de la temperatura (así como un termómetro para visualizarla), válvulas y un caudalímetro (rotámetro) para el control del caudal (Q), y un tanque de almacenamiento para la solución.

Para la determinación del coeficiente de transferencia de materia local, k_m , se utiliza la técnica electroquímica descrita por Böhm de Bordenave (1986), mediante la siguiente ecuación:

$$k_m = \frac{I_{lim}}{v_e F A c} \quad (1)$$

donde I_{lim} es la corriente límite del segmento, v_e es el número de electrones intercambiados, F es la constante de Faraday, A es el área del electrodo y c es la concentración del reactante. El coeficiente global se calcula como el promedio de los coeficientes locales. Detalles del equipo y procedimiento pueden obtenerse de Contigiani y col. (2018).

Como reacción test se usó la reducción de ferricianuro empleando soluciones de ferricianuro de potasio 0.01 M, ferrocianuro de potasio 0.1 M, y como electrolito soporte carbonato de potasio 0.65 M. Antes de cada experimento se introdujo nitrógeno gaseoso en el reservorio para eliminar el oxígeno disuelto en la solución y disminuir las interferencias en las mediciones por la reducción de esta especie.

Determinación de las curvas de polarización

Mediante un electrodo de disco rotatorio se trazaron las curvas de polarización para diferentes velocidades de rotación. Se determinó que la reacción de reducción de ferricianuro está controlada por transferencia de materia en el rango de potenciales de -0.7 V a -1.1 V respecto al electrodo de calomel saturado en KCl.

Procedimiento experimental

Cada experimento consistió en fijar un caudal, ajustar el flujo mediante el uso de válvulas y el rotámetro hasta alcanzar el valor deseado, controlar el potencial en el rango de trabajo arriba citado mediante el potenciostato, y medir la caída óhmica en el resistor de cada anillo (se realizan 4-5 mediciones con el adquisidor y una manual). Adicionalmente, en cada caso se monitorea la diferencia de potencial aplicada al reactor y la temperatura de trabajo. Posterior a cada corrida se corrobora el caudal midiendo el tiempo que tarda en llenarse un

dispositivo con 1 dm³ de solución y se toma una muestra del reservorio (~2 cm³) para su análisis mediante espectrofotometría UV-VIS usando una celda de cuarzo a una longitud de onda de 422 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1 y 2 se muestran curvas típicas de distribuciones del coeficiente de transferencia de materia local para el contraelectrodo de metal desplegado y para el uso de perfiles helicoidales, respectivamente, para caudales similares. Puede observarse en ambos casos un comportamiento cualitativo análogo, el coeficiente decrece con la posición axial y es fuertemente influenciado por los efectos hidrodinámicos de entrada y salida al reactor.

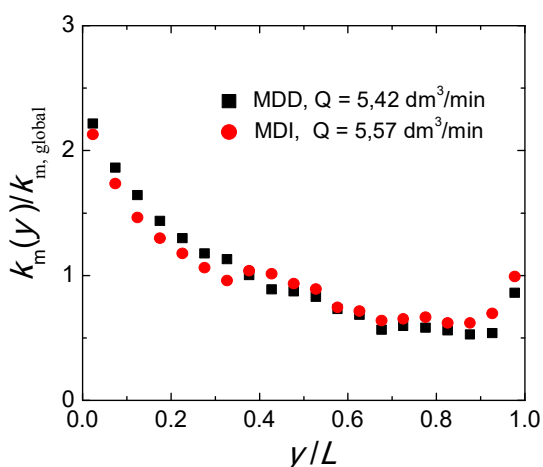


Figura 1: Distribución del coeficiente de transferencia de materia local para metal desplegado.

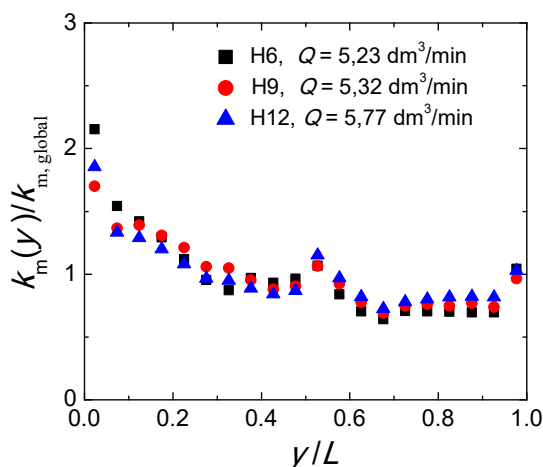


Figura 2: Distribución del coeficiente de transferencia de materia local para estructuras helicoidales.

En la Figura 3, Parte (a), se muestra el coeficiente global de transferencia de materia para los cinco casos examinados, mientras que en la Parte (b) se informa, mediante el parámetro estadístico desviación relativa media (drm), la tendencia hacia la uniformización en las distribuciones. En ambas figuras la línea continua en negro representa el comportamiento para flujo helicoidal amortiguado según Contigiani y col. (2018). Asimismo, los símbolos de un mismo tipo, pero con diferente relleno, corresponden a la repetición de experimentos para un mismo tipo de contraelectrodo; pudiéndose detectar una excelente reproducibilidad de los resultados experimentales. Puede observarse que el empleo de contraelectrodos modificados no mejora el coeficiente de transferencia global, pero las estructuras con perfiles helicoidales son relevantes para conseguir una mayor uniformidad en la distribución con respecto al caso testigo, que es más relevante para un número de vueltas mayor a 9.

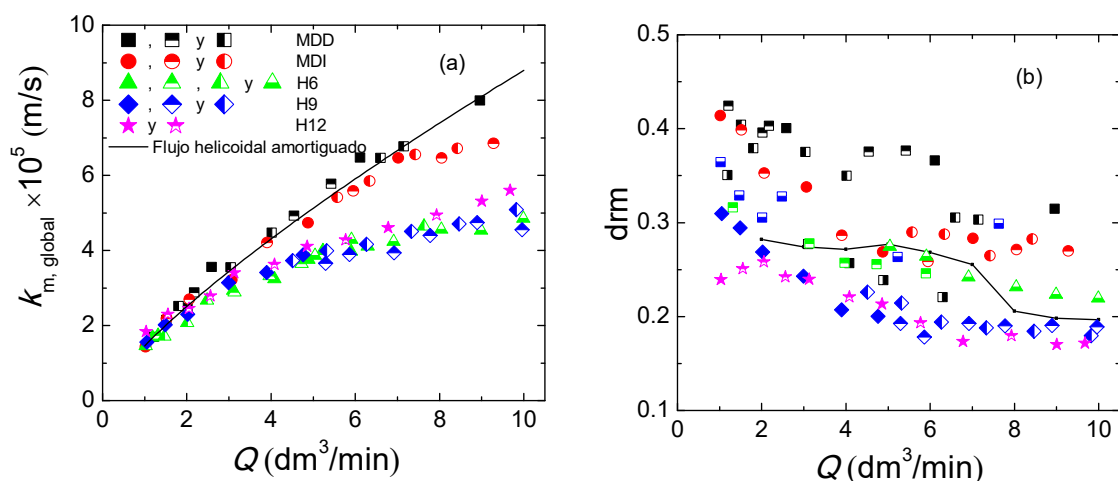


Figura 3. Coeficiente de transferencia de masa global, Parte (a), y desviación relativa media, Parte (b), en función del caudal.

CONCLUSIÓN

El uso de un contraelectrodo estructurado sobre la base de un perfil helicoidal permite uniformar la distribución de la transferencia de materia a lo largo del reactor respecto a un equipo con flujo helicoidal amortiguado. Este efecto beneficioso, que es contrarrestado por el decaimiento del coeficiente global, es más marcado al incrementar el número de vueltas del helicoide dando valores similares para 9 o 12 vueltas. Por otra parte, un contraelectrodo de metal desplegado presenta como aspecto favorable la posibilidad de aumentar el área específica, incrementando la productividad respecto a electrodos lisos, pero no mejora el desempeño del reactor en lo atinente a la transferencia de materia.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Böhm de Bordenave, Ú.C.E., 1986. La técnica electroquímica aplicada al estudio de la transferencia de materia, CAMAT. Métodos Experimentales para la Transferencia de Calor y Materia, pp. 115-143.

Contigiani, C.C.; González Pérez, O.; Bisang, J.M., 2018. Local mass-transfer study in a decaying swirling flow electrochemical reactor under single-phase and two-phase (gas-liquid) flow, Chem. Eng. J., 350, 233-239.