

Proyecto de Tesis de Maestría (Gustavo Fimbres)

Título: Análisis y control de sistemas de membranas con perturbaciones para la maximización de su productividad.

Problema a resolver: El agua es un recurso crítico para México, especialmente en las regiones áridas tales como el noroeste del país [1]. Las operaciones de separación mediante membranas tales como la desalinización están comenzando a tomar un papel más importante en el abastecimiento de agua para México [2]. A pesar de mucho trabajo y mejoras en el diseño y operación de los sistemas de membranas [3], su productividad se ve mermada por el ensuciamiento [4, 5]. De los mecanismos que se han propuesto para reducir el ensuciamiento de las membranas, la reducción de la concentración en la superficie de la membrana es de los más prometedores [6].

Esta investigación se apoya en simulación de dinámica de fluidos por computadora (CFD, por sus siglas en inglés) [7, 8] así como en experimentos en el laboratorio [9], para investigar los mecanismos y generar conocimiento sobre el mejoramiento de la transferencia de masa en módulos de membranas. En particular, este proyecto analiza el efecto de perturbaciones en el flujo sobre la capa límite de transferencia de masa, para promover el mezclado y reducir la polarización de la concentración (la acumulación de fluido con alta concentración de sales cerca de la superficie de la membrana) [10, 11]. El efecto de varios parámetros operacionales sobre la transferencia de masa, así como la dinámica de la respuesta a los cambios y perturbaciones, serán investigados. Estudios sobre perturbaciones similares pero causadas por flujo electro-osmótico han empleado modelos de orden reducido [12], y se sabe que el sistema de membranas es levemente no-lineal, pero con características lineales a ciertas condiciones, lo que permite el uso de técnicas de respuesta a frecuencia [13].

Este proyecto investiga técnicas para promover el mezclado dentro de la capa límite de concentración basadas en el uso de flujo pulsátil. Actualmente, el efecto de dichas inestabilidades en el flujo no es comprendido en su totalidad y las condiciones óptimas de operación se desconocen. Además, existen pocos estudios numéricos sobre flujos pulsátiles en sistemas de membranas [14], y su enfoque no ha sido en los mecanismos de mejoramiento de transferencia de masa [15]. En particular, los datos numéricos y experimentales ayudarán a desarrollar nuevas estrategias de control para incrementar la eficiencia de las operaciones de separación mediante membranas [12, 16, 17].

Productos académicos comprometidos: 1 artículo de conferencia internacional arbitrada publicado y 1 artículo de revista indexada sometido, ambos antes del 31 de agosto de 2017

Estancia del estudiante: En el Instituto Tecnológico de Tijuana con el Dr. Sergio Pérez Sicaños (SNI I), 1 mes en 2017.

Conferencia del estudiante: 2017 International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2017), o en su defecto el 7mo Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Membranas (SMCyTM).

REFERENCIAS

- [1] UNDP, Human Development Report 2006 - Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis, in: K. Watkins (Ed.), United Nations Development Programme (UNDP), New York, USA, 2006.
- [2] IDA, Desalination Yearbook, International Desalination Association, United Kingdom, 2008.
- [3] A.G. Fane, R. Wang, M.X. Hu, Synthetic Membranes for Water Purification: Status and Future, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 54 (2015) 3368-3386.
- [4] Q. She, R. Wang, A.G. Fane, C.Y. Tang, Membrane fouling in osmotically driven membrane processes: A review, *J. Membr. Sci.*, 499 (2016) 201-233.
- [5] E. Drioli, A. Criscuoli, F. Macedonio, Membrane-Based Desalination: an Integrated Approach (MEDINA), IWA Publishing, London, UK, 2011.
- [6] F. Zamani, J.W. Chew, E. Akhondi, W.B. Krantz, A.G. Fane, Unsteady-state shear strategies to enhance mass-transfer for the implementation of ultrapermeable membranes in reverse osmosis: A review, *Desalination*, 356 (2015) 328-348.
- [7] H.K. Versteeg, W. Malalasekera, An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method, Prentice Hall, London, 1995.
- [8] G.A. Fimbres-Weihs, D.E. Wiley, Review of 3D CFD modelling of flow and mass transfer in narrow spacer-filled channels in membrane modules, *Chem. Eng. Process.: Process Intens.*, 49 (2010) 759-781.
- [9] C. Rodrigues, M. Rodrigues, V. Semiao, V. Geraldes, Enhancement of mass transfer in spacer-filled channels under laminar regime by pulsatile flow, *Chem. Eng. Sci.*, 123 (2015) 536-541.
- [10] Y.Y. Liang, G.A. Fimbres Weihs, D.E. Wiley, CFD modelling of electro-osmotic permeate flux enhancement in spacer-filled membrane channels, *J. Membr. Sci.*, 507 (2016) 107-118.
- [11] Y.Y. Liang, G.A. Fimbres Weihs, R. Setiawan, D.E. Wiley, CFD modelling of unsteady electro-osmotic permeate flux enhancement in membrane systems, *Chem. Eng. Sci.*, 146 (2016) 189-198.
- [12] R. Setiawan, P. Ratnayake, J. Bao, G.A. Fimbres Weihs, D.E. Wiley, Reduced-order model for the analysis of mass transfer enhancement in membrane channel using electro-osmosis, *Chem. Eng. Sci.*, 122 (2015) 86-96.
- [13] P. Ratnayake, R. Setiawan, J. Bao, G. Fimbres-Weihs, D.E. Wiley, Spatio-temporal frequency response analysis of forced slip velocity effect on solute concentration oscillations in a reverse osmosis membrane channel, *Computers & Chemical Engineering*, 84 (2016) 151-161.
- [14] G.A. Fimbres Weihs, J. Álvarez Sánchez, Synergies between pulsatile flow and spacer filaments in reverse osmosis modules, in: J. Fried (Ed.) Proceedings of the 5th Congress of the Mexican Society of Membrane Science and Technology, Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Membranas, 2015.
- [15] Z. Jalilvand, F. Zokaei Ashtiani, A. Fouladitajar, H. Rezaei, Computational fluid dynamics modeling and experimental study of continuous and pulsatile flow in flat sheet microfiltration membranes, *J. Membr. Sci.*, 450 (2014) 207-214.
- [16] H. Ouyang, J. Bao, G.A. Fimbres Weihs, D.E. Wiley, Control study on mixing enhancement in boundary layers of membrane systems, *Journal of Process Control*, 23 (2013) 1197-1204.
- [17] P. Ratnayake, R. Setiawan, J. Bao, Analysis of flow control by boundary-layer manipulation using 2D frequency response, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 10 (2015) 512-525.