

Proyecto de Tesis de Maestría (Gustavo Fimbres)

Título: Control de la operación de sistemas integrados de desalinización por ósmosis inversa con energía solar fotovoltaica.

Problema a resolver: El agua es un recurso crítico para México, especialmente en las regiones áridas tales como el noroeste del país [1]. Las sistemas de separación basados en membranas son la tecnología dominante para tratamiento de aguas en Europa y muchas otras regiones del mundo, incluyendo a México [2]. La OI tiene altos requerimientos energéticos. Es necesario elevar la presión del agua de alimentación a más de 50 atm, consumiendo alrededor de 3.5 kWh/m³ de agua marina desalinizada [3]. El uso de energías renovables para la desalinización es una opción razonable y técnicamente madura [4].

La energía eólica y la solar fotovoltaica (FV) son las tecnologías más maduras para aplicación en desalinización. La energía solar FV es particularmente útil para regiones aisladas o de baja densidad poblacional con escasez de agua y lejos de las redes de distribución eléctrica. Sin embargo, los sistemas de desalinización FV resultan en un alto costo de producción de agua debido a los altos requerimientos energéticos y costos de capital y mantenimiento [5]. Es por esto que la integración de energía FV sistemas de desalinización requiere ser optimizada para reducir sus costos y aumentar su efectividad y utilidad. Por ejemplo, es posible aprovechar la energía solar térmica enfriando los paneles FV con el agua de alimentación a la unidad de OI [6], ya que la eficiencia de los paneles solares FV disminuye al aumentar su temperatura. Dada la baja eficiencia de los paneles FV (actualmente 5–17%) se han reportado ejemplos de dicho método de aumento de eficiencia con resultados muy prometedores de reducción de consumo de energía cercanos al 40% [6, 7]. No obstante, los beneficios de dicha operación conllevan a dificultades de operación debido a variaciones en la irradiación solar y la temperatura del agua de alimentación, por lo que el control del sistema integrado es más complejo que el control de la generación de energía y la desalinización por separado. El control de sistemas convencionales de OI ha sido estudiado usando PID, control difuso, programación matricial dinámica, control tolerante a fallas y control predictivo basado en modelos [8-11], pero hay pocos estudios que investiguen el control de sistemas integrados FV-OI [6].

Esta investigación propone utilizar técnicas de modelación y control no-lineal para desarrollar una estrategia de control aplicable a sistemas integrados de desalinización FV-OI, esto con el objetivo de maximizar la productividad y rentabilidad de dichos sistemas. Específicamente, se desarrollarán modelos dinámicos para cada componente del sistema integrado FV-OI (panel solar, sistema de enfriamiento, bombeo, módulos de membranas), se propondrá un esquema de control, y se implementará dicho esquema en la planta piloto del nuevo Laboratorio de Química, utilizando energía de paneles FV enfriados con agua de alimentación. Se investigará el uso de motores de corriente directa y alterna para el bombeo, así como estrategias de mezclado y bypass para el control de la temperatura.

Productos académicos comprometidos: 1 artículo de conferencia internacional arbitrada publicado y 1 artículo de revista indexada sometido, ambos antes del 31 de agosto de 2019

Estancia del estudiante: En el CSIR-CSMCRI en la India, con la Dra. Subarna Maiti, 2 semanas en 2019.

Conferencia del estudiante: 2019 Annual Meeting of the North American Membrane Society (NAMS 2019), o en su defecto el 8vo 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] AMTA, Membrane Desalination Power Usage Put in Perspective, in, American Membrane Technology Association, 2009.
- [4] M.A. Eltawil, Z. Zhengming, L. Yuan, A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009) 2245-2262.
- [5] E.S. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis, V. Belessiotis, A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems — a technical and economical experimental comparative study, *Desalination*, 221 (2008) 17-22.
- [6] L.C. Kelley, S. Dubowsky, Thermal control to maximize photovoltaic powered reverse osmosis desalination systems productivity, *Desalination*, 314 (2013) 10-19.
- [7] H.D. Raval, S. Maiti, Ultra-low energy reverse osmosis with thermal energy recovery from photovoltaic panel cooling and TFC RO membrane modification, *Desalination and water treatment*, (2014) 1-10.
- [8] I. Alatiqi, H. Ettouney, H. El-Dessouky, Process control in water desalination industry: an overview, *Desalination*, 126 (1999) 15-32.
- [9] A. Abbas, Model predictive control of a reverse osmosis desalination unit, *Desalination*, 194 (2006) 268-280.
- [10] A.R. Bartman, A. Zhu, P.D. Christofides, Y. Cohen, Minimizing energy consumption in reverse osmosis membrane desalination using optimization-based control, *Journal of Process Control*, 20 (2010) 1261-1269.
- [11] S. Sobana, R.C. Panda, Modeling and control of reverse osmosis desalination process using centralized and decentralized techniques, *Desalination*, 344 (2014) 243-251.