

∴ Potencial energético de membranas semipermeables de lámina plana en procesos de ósmosis retardada

Michelle Montero, Francisco Herrera, Edgar Eduardo Quiñones
Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena
Cartagena, Colombia

Recibido: 17 de mayo de 2019 | Aceptado: 21 de junio de 2019

Resumen

El componente primordial para el proceso de la ósmosis por presión retardada (PRO) es la membrana. Esta investigación se basó en la determinación del potencial energético de tres referencias de membranas semipermeables de lámina plana mediante un sistema PRO a escala de laboratorio. El proceso se dividió en cuatro fases: la primera consistió en un inventario de membranas comerciales clasificadas de acuerdo a su uso; la segunda, en la construcción del reactor osmótico; luego, en la fase tres fue evaluado el tipo de agua; por último, se establecieron experimentalmente las características operacionales de las referencias pre-seleccionadas. Respecto a los resultados, las membranas Ge Osmonics SE, Dow filmtec SW30HR y Toray 82V obtuvieron una densidad de energía de 2,09; 0,390; y 2,93 W/m² respectivamente, para una concentración de sal de 34,0 g/l. Sin embargo, la densidad alcanzada no resulta ser competitiva frente a la producción de energía convencional.

Palabras clave: Membranas osmóticas, ósmosis por presión retardada, densidad de energía, gradiente de salinidad.

* mmoneroa@unicartagena.edu.co; fherreraa@unicartagena.edu.co; equinoneb@unicartagena.edu.co

¿Cómo citar en APA?

Montero, M., Herrera, F. y Quiñones, E. E. (2019). Potencial energético de membranas semipermeables de lámina plana en procesos de ósmosis retardada. *Expresiones, Revista Estudiantil de Investigación*, 6(12), 16-22.

Introducción

La energía consumida a nivel mundial proviene principalmente de los recursos fósiles que, aunque abastecen a la gran mayoría de la población, son contaminadores de la atmósfera. En los últimos años, el interés por la implementación de energías renovables, como la energía solar, eólica, hidráulica y la biomasa, ha aumentado significativamente (Fernández-Ladreda, 2015). Sin embargo, a pesar de que estas son energías prometedoras, no todas las regiones o zonas cuentan con los entornos mínimos para su operación (Aristizábal, 2018), por lo que solo se logra mitigar una pequeña parte de la crisis total de energía.

Por lo tanto, se propone evaluar una nueva energía amigable con el medio ambiente y con amplias posibilidades para el futuro denominada energía osmótica, cuyo principal recurso de aprovechamiento son los mares y océanos (Nagy *et al.*, 2016). Dentro de los procesos osmóticos se encuentra la ósmosis directa (FO), ósmosis inversa (RO) y la ósmosis por presión retardada (PRO). Esta última aprovecha el gradiente de salinidad presente entre dos fluidos para la generación de energía. Se trata de una técnica amigable con el medio ambiente que no deja huella de dióxido de carbono, pues su proceso se basa en la obtención del potencial osmótico mediante el paso de un solvente hacia un soluto (salino), a través de una membrana, y a través de la aplicación de presión para liberar energía cuando estas dos aguas entran en contacto (Vallejo, 2013).

Para su implementación, se requiere el uso de membranas semipermeables como elemento de separación de las aguas (solvente y soluto); sin embargo, las membranas utilizadas en su desarrollo son diseñadas para los procesos RO o FO, lo que repercute posiblemente en el rendimiento de la densidad potencial (Touati y Tadeo, 2017). Por otro lado, para que un sistema osmótico pueda ser funcional es necesario que el potencial energético producido por las membranas sea mayor a $5,0 \text{ W/m}^2$, puesto que los costos de producción a esta capacidad permitirían que PRO sea competitivo frente a otras fuentes renovables (Aristizábal, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, es pertinente preguntarse ¿qué tanto potencial energético pueden generar las membranas semipermeables de lámina plana diseñadas para sistemas osmóticos RO o FO en procesos de ósmosis por presión retardada? Así, con este proyecto se logró evaluar las características operacionales de tres referencias de membranas semipermeables de lámina plana, permitiendo seleccionar la que representó mayor eficiencia energética en el sistema PRO.

Metodología

La fase preliminar del proyecto se basó en realizar un inventario de la información encontrada en la página *web* de la Corporación Sterlitech sobre membranas de lámina plana, clasificándolas según su uso en RO, FO, y PRO. Luego, fueron seleccionadas tres referencias de membranas considerando su

fuente de alimentación, el porcentaje de rechazo a la sal, resistencia a la presión y el tipo de polímero.

La segunda fase consistió en la construcción de un reactor osmótico basado en el ciclo cerrado de plantas hidro-osmóticas desarrollado por Sharif *et al.* (2014). Este fue constituido por una celda osmótica de referencia CF016D-FO con dimensiones externas de 12,7 x 10 x 8,3 cm y un área activa de membrana de 20,6 cm² compuesta de dos circuitos cerrados; uno de alta presión (solución de extracción o agua salada) y otro de baja presión (solución de alimentación o agua dulce), para la determinación del potencial energético. Posteriormente, en la tercera fase, se realizó una salida de campo en el sector los Morros 3 del corregimiento de La Boquilla en la ciudad de Cartagena, con la finalidad de extraer agua de mar y establecer la concentración de cloruro de sodio presente en la muestra.

Por último, en la cuarta fase, se evaluó la eficiencia de las membranas mediante pruebas operacionales, utilizando el sistema osmótico construido y agua sintética preparada en el laboratorio con una concentración de sal de 34 g/l que fue determinada en la salida de campo. Se realizaron dos tipos de ensayo: una prueba de permeabilidad con agua potable en ambas soluciones, variando la presión de 10 a 40 psi para establecer la cantidad de agua que traspasaba la membrana en un periodo de 20 minutos; y otra con agua salina en la solución de extracción y agua potable en la solución de alimentación, utilizando presiones de 10 a

40 psi. Así, se puede establecer el caudal permeado y evaluar teóricamente el potencial energético generado por las tres membranas mediante las ecuaciones de Van't Hoff:

$$W = Jw * \Delta P \quad (\text{Ec.1})$$

Donde: la densidad de potencia se expresa por W , la cual se define como la fuerza de salida por unidad de área de membrana (W/m^2). Matemáticamente se calcula como el producto del flujo del agua a través de la membrana (Jw) y la diferencia de presión hidráulica (ΔP) (Achilli, Cath, y Childress, 2009).

Por su parte, el flujo del agua a través de la membrana depende del coeficiente de permeabilidad de la membrana (A) y la diferencia de presiones del sistema. Esto se expresa de la siguiente manera:

$$Jw \text{ (ms}^{-1}\text{)} = A (\Delta\pi - \Delta P) \quad (\text{Ec.2})$$

Donde: ($\Delta\pi$ y ΔP) su unidad es Bar; A ($m/s * bar^{-1}$)

Al combinar las ecuaciones 1 y 2, la densidad de potencia queda expresada de la siguiente manera:

$$W = A (\Delta\pi - \Delta P) * \Delta P \quad (\text{Ec.3})$$

Resultados

La Corporación Sterlitech presenta a su disposición 4 grupos de membranas RO; estas se clasifican en Dow Filmtec, Ge-Osmonic, Toray y Trisep. En el caso de las membranas

FO, la Corporación tiene dos referencias: Aquaporin Inside y FTS H2O, las cuales no se encontraban disponibles. Por último, las membranas PRO no se encuentran en el mercado. Por lo anterior, se seleccionaron las referencias Dow Filmtec, Ge-Osmonic, y Toray que tienen un mejor desempeño por su alto porcentaje de rechazo a la sal (>98 %) y por el tipo de fuente de alimentación aplicada.

Con respecto al montaje (figura 1), este estuvo compuesto por: una celda osmótica CF016D-FO; una electrobomba JET JSW1B de 0,48 kW y un tanque de 60 litros para la solución de alimentación; una bomba Autocebante JET JSW1B de 0,55 kW y un tanque de 200 litros para el circuito de extracción; dos medidores de flujo para medir el caudal; dos manómetros de presión; válvulas de acero inoxidable de ½”; y tubería de polietileno y de PVC de ½”.



Figura 1. Montaje final. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en la visita realizada frente al edificio los Morros 3 del corregimiento de la Boquilla de Cartagena, la salinidad establecida fue de 34,0 g/l a una temperatura de 30,7 °C. Cabe añadir que este valor es muy cercano al encontrado en el estudio de Vives (2016) con 35,3 g/l de NaCl a una temperatura de 25 °C. Luego, aplicando las ecuaciones de Van’t Hoff, se calculó

Tabla 1.

Características comerciales de cada referencia de membrana seleccionada.

Tipo de membrana	Dow filmtec SW30HR	Ge Osmonics SE	Toray 82V
Dimensiones	305 mm x 305 mm	305 mm x 305 mm	470 mm x 470 mm
Fuente de alimentación	Agua de mar	Agua industrial/ agua residual	Agua de mar
Característica	Alto porcentaje de rechazo	Resistencia al cloruro y altas presiones	Alto rechazo y bajo energía
Rango de pH a (25C)	2-11	1-11	2-11
Flujo a través de la membrana (gfd)/psi	17-24/800	22/421	27/798
Porcentaje de rechazo de sal (%)	99,60	98,9	99,7
Polímero	Poliamida (TFC)	Poliamida (TFC)	Poliamida (TFC)

Fuente: elaboración propia.

el caudal permeado y la permeabilidad; estos valores se representan en las figuras 2 y 3, respectivamente.

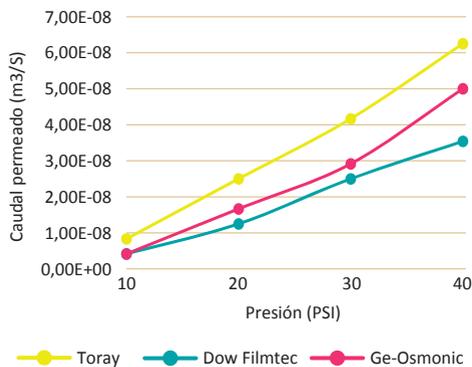


Figura 2. Resultados experimentales de caudal permeado bajo la condición de PRO. Fuente: elaboración propia.

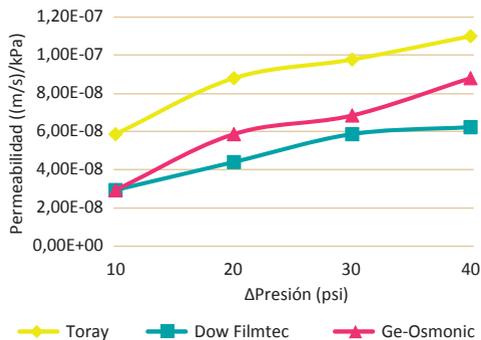


Figura 3. Resultados experimentales de permeabilidad bajo la condición de PRO. Fuente: elaboración propia.

El promedio de la permeabilidad calculada mediante la ecuación de Van't Hoff en cada membrana fue de $6,11 \times 10^{-8}$; $4,86$

$\times 10^{-8}$; $8,86 \times 10^{-8}$ (m/s*kPa) para las referencias Ge-Osmonic, Dow Filmtec y Toray respectivamente. La membrana Toray fue la que logró el promedio máximo de permeabilidad; su valor es superior comparado con los datos de Achilli, Cath, y Childress (2009), quienes utilizaron una membrana de celulosa de triacetato (CTA) de la empresa Hydration Tecnology Innovations empleada para procesos FO.

Por otro lado, como se muestra en la figura 4, la densidad de potencia máxima determinada fue de 2,09; 0,390; 2,93 W/m² a una concentración de 34,0 g/l, para las membranas Ge-Osmonic, Dow Filmtec y Toray respectivamente. La mayor densidad de energía la obtuvo la membrana Toray, sin embargo, el valor obtenido está por debajo de los 5,0 W/m² necesarios para producir energía de forma sostenible a través de reactores osmóticos (Klaysom *et al.*, 2013).

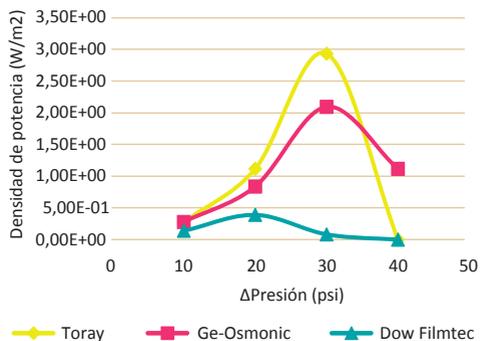


Figura 4. Resultados experimentales de permeabilidad bajo la condición de PRO. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se considera que el caudal permeado es directamente proporcional respecto a la permeabilidad; es decir, a mayor flujo, mayor será la permeabilidad y, por ende, también la eficiencia. Por otro lado, se determinó que el mayor potencial de energía fue de 2,93 W/m² para la membrana Toray. Sin embargo, esta resultó no ser competitiva desde una perspectiva económica ya que es necesario aumentar el área activa de la membrana para alcanzar los 5,0 W que se requieren, lo que incrementaría los costos de producción. A pesar de esto, es menester resaltar que la configuración de la membrana utilizada fue lámina plana, y, quizás, si se emplea otro tipo de configuración el potencial energético aumentaría, y podría ser sustentable.

Limitaciones

Una limitación encontrada en la investigación fue la sensibilidad de la balanza durante los ensayos; esta tenía una variación de ± 5 gramos, lo que dificultó la medición de la cantidad de agua que pasaba de la solución de baja concentración al tanque de alta concentración cuando los datos estaban en un rango de 0 a 5 g. Otra dificultad presentada en el desarrollo del estudio fue el rompimiento de las membranas luego de aplicar presiones superiores a 40 psi, por lo que la presión máxima del sistema fue de 40 psi.

Referencias

- Achilli, A., Cath, T. Y. y Childress, A. E. (2009). Power generation with pressure retarded osmosis: An experimental and theoretical investigation. *Journal of Membrane Science*, 343(1-2), 42-52.
- Aristizabal, C. (2018). Energía Azul: generación de potencia a través de la Ósmosis por Presión Retardada (PRO). *Ingenierías USBMed*, 9(1), 3-8. <https://doi.org/10.21500/20275846.3069>
- Fernández-Ladreda (2015). Energía potencial osmótica: Un buen sustituto de los combustibles fósiles. *MoleQla Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 19, 61-63. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5208932>
- Flat Sheet Membranes (s. f.). Sterlitech Corporation. <https://www.sterlitech.com/>
- Klaysom, C., Cath, T. Y., Depuydt, T. y Vankelecom, I. F. J. (2013). Forward and pressure retarded osmosis: potential solutions for global challenges in energy and water supply. *Chem. Soc. Rev*, 42, 6959-6989. <https://www.semanticscholar.org/paper/Forward-and-pressure-retarded-osmosis%3A-potential-in-Klaysom-Cath/b41d0299af11c-447deebd4e568e3748019930fcd>
- Nagy, E., Dudás, J. y Hegedüs, I. (2016). Improvement of the energy generation by pressure retarded osmosis. *Energy*, 116(2), 1323-1333. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544216309410>
- Sharif, A. O., Merdaw, A. A., Aryafar, M. y Nicoll, P. (2014). Theoretical and experimental investigations of the potential of osmotic energy for power production. *Membranes*, 4(3), 447-468. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4194044/>
- Touati, K. y Tadeo, F. (2017). Green energy generation by Pressure Retarded Osmosis: State

- of the art and technical advancement. *International Journal of Green Energy*, 14(4), 337-360. https://scholar.google.com/citations?user=5hnwu_UAAAAJ&hl=fr
- Vallejo, S. (2013). Generación de energía a partir de gradiente salino mediante Electrodiálisis Inversa (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Vives, L. C. (2016). Generación de presión osmótica mediante aprovechamiento del gradiente de salinidad en los procesos de ósmosis retardada y desalinización del agua de mar. (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. <https://studylib.es/doc/7391692/generacion-de-presion-osmotica-mediante-aprovechamiento-del>