

## Desalinización de agua de rechazo de ósmosis inversa mediante electrodiálisis

Reverse osmosis rejection water desalination by electro dialysis

Juan Medina Collana<sup>1</sup>, Jorge Rojas Ramos<sup>2</sup>

### Resumen

En el presente trabajo se ha construido un equipo de electrodiálisis tipo filtro prensa a nivel piloto y se ha evaluado su operatividad en la desalinización de agua de rechazo de un equipo de ósmosis inversa. Las experiencias se realizaron con muestras de 2000 y 1400  $\mu$  S/cm de conductividad eléctrica. Se ha evaluado la influencia de la conductividad, potencial eléctrico con respecto al porcentaje de separación de iones en los compartimientos de diluido y concentrado del equipo de electrodiálisis. Se comprobó que existe una marcada diferencia en el porcentaje de separación de iones en los compartimientos de diluido y concentrado cuando el equipo opera a 40 V con respecto a 10 V. A 40 V, 2000  $\mu$  S/cm y flujo de 150 mL/min, se obtuvo 99,7 % de separación de iones en el compartimiento diluido.

**Palabras clave:** desalinización, ósmosis inversa, membrana de intercambio iónico, electrodiálisis, conductividad.

### Abstract

In the present work has been built a press type electro dialysis equipment a pilot level and his operability has been evaluated in the water desalination of rejection of an equipment of reverse osmosis, the experiences were held with samples of 2000 and 1400  $\mu$  S/cm of electrical conductivity. The influence of the electrical potential conductivity was evaluated with respect of the separation percentage of ions in the dilute compartments and the electro dialysis equipment concentrate. The investigation found that there is a marked difference in the percentage of separation of ions in the concentrate and the dilute compartments when the device operates at 40 volts with respect to 10 volts. In 40 volt, 2000  $\mu$  S/cm and 150 mL/min of flow a 99,7 % of ions removal in the dilute compartment was obtained.

**Key words:** desalination, inverse osmosis, ion-exchange membrane, electro dialysis, conductivity.

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química. Av. Juan Pablo II 306-308, Callao, Perú.

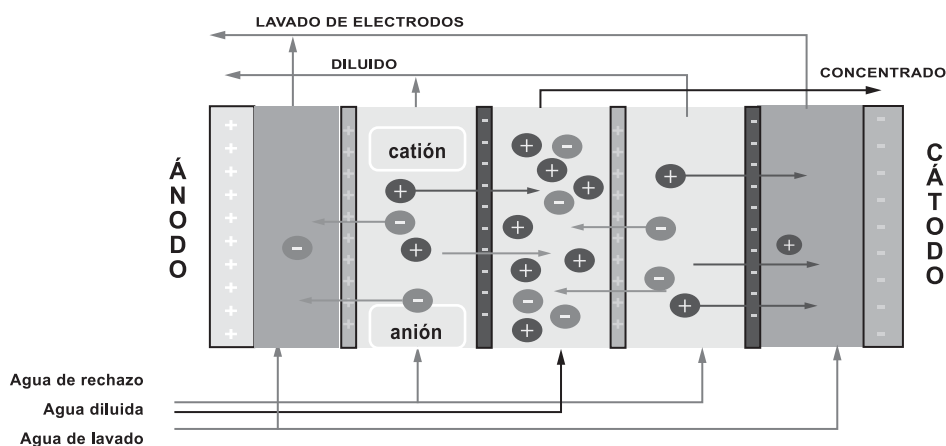
<sup>2</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

## Introducción

La desalinización es el proceso por medio del cual se separan las sales disueltas en el agua de mar o salobres, a fin de obtener agua dulce apta para el consumo. La desalación representa en la actualidad la alternativa, en algunos casos única, para el suministro esencial de agua en determinadas zonas del planeta (Ochoa Gómez, J.1996). Uno de los aspectos ambientales relevantes en los procesos de la desalinización es el de los vertidos de salmueras o concentrados. En los últimos años, se han incrementado los esfuerzos en hacer que estas descargas tengan en el menor impacto posible y su probable aprovechamiento industrial por la vía de la extracción de sales u otros productos químicos (Shaposhinik, V.A., Zubets, N.N and Mill, B.E. 2001). La ósmosis inversa (OI) es la tecnología de desalinización basada en membrana más ampliamente utilizado a nivel mundial. Las membranas actúan como barreras permeables selectivas que permiten que algunas sustancias (como el agua) pasen a través de ellas mientras retiene otras sustancias disueltas (como los iones), produciendo una solución concentrada y una corriente de agua casi pura (Mohammadi, T. and Kaviani, A. 2003).

La electrodiálisis es un proceso de separación electroquímico en el que los iones son transferidos a través de membranas selectivas de

intercambio iónico, las membranas se colocan alternativamente entre el cátodo y el ánodo<sup>1</sup>. Cuando una diferencia de potencial es aplicada entre los dos electrodos, los cationes se mueven hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo (Mohammadi, T. and Kaviani, A. 2005). El resultado global es el incremento de concentración en compartimentos alternados y la disminución de la concentración iónica en los compartimentos restantes, dando lugar a disoluciones concentradas y diluidas respectivamente como se muestra en la figura 1. El desarrollo de membranas de intercambio iónico con mejores selectividades, menor resistencia eléctrica y con propiedades térmicas, químicas y mecánicas mejoradas, ha generado recientemente un gran interés en las aplicaciones de la ED, especialmente en las industrias de la alimentación, medicamentos y procesos químicos, así como en biotecnología y en el tratamiento de aguas residuales (Banasiak, L.J., and Kruttschnitt, T.W. 2007). En el presente trabajo experimental se estudió la influencia de los parámetros de operación del módulo de electrodiálisis con respecto al porcentaje de separación de iones del agua de rechazo procedente de un equipo de ósmosis inversa, planteando una alternativa de solución al problema de los rechazos de agua salobre de este proceso.



**Figura 1. Esquema del sistema de electrodiálisis modo Batch**  
Fuente: elaboración propia

## Material y método

### Muestra

Las muestras utilizadas fueron agua de rechazo recolectadas de un sistema de ósmosis inversa (800 GPD) a las conductividades de 2000 y 1400  $\mu$  S/cm.

### Materiales y equipos

- Fuente de alimentación de laboratorio Brielco 1728, capaz de administrar un potencial de hasta 40 V y una corriente eléctrica máxima de 10 A.
- Módulo de electrodiálisis (diseño propio) tipo filtro prensa, construido con dos placas de material de acrílico de 15 x 20 cm<sup>2</sup> sobre el que se ensamblan dos compartimentos donde se colocan los electrodos, tanto el ánodo y cátodo de acero inoxidable de 3 x 10 cm<sup>2</sup>. (figura 2).
- Dos membranas de intercambio catiónico FTAM-E y una membrana de intercambio aniónico FTAM-E con un área efectiva de 90 cm<sup>2</sup>. Situado alternadamente y separadas por un conjunto de marcos de material acrílico y espaciadores con juntas de jebe de 2 cm de lado para evitar fugas y permitir el flujo uniforme, constituyendo así las celdas de diluido y concentrado. El módulo está sujeto con 8 pernos distribuidos de manera que permitan un buen ensamble y garanticen hermeticidad. (figura 3).
- 3 bombas centrífugas marca Diaphragm pump, con 110V que alimentan a los tres circuitos: diluido, concentrado y de lavado.
- Medidor de conductividad, sólidos totales disueltos y temperatura marca Lamotte (USA) modelo ec/tds/salt tracer.
- Ph-metro modelo ad 12, Adwa.

### Método de análisis

La medida de la conductividad del agua de rechazo, compartimento de concentrado, diluido y lavado de electrodos se realizó cada 10 min. Utilizando un conductímetro (Hanna, modelo HI 8633, Portugal).

### Experimento y análisis del método

Las pruebas experimentales se efectuaron con

dos tipos de agua de rechazo de ósmosis inversa con 2000 y 1400  $\mu$  S/cm de conductividad y para cada tipo de agua se efectuaron ensayos con los potenciales eléctricos de 10, 20, 30 y 40 voltios, manteniendo constante el flujo de las corrientes de diluido, concentrado y lavado de electrodos a 150 mL/min. Para calcular el porcentaje de separación de iones, se ha utilizado la siguiente relación:

$$S = \left( \frac{C_{t=0} - C_{t=t}}{C_{t=0}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde,  $C_{t=0}$  = 0 y  $C_t$  conductividad en la alimentación en  $t = 0$  y conductividad en el tiempo  $t$ , respectivamente.

### Procedimiento experimental

Determinación de la corriente límite en la celda de electrodiálisis.

Para la celda de electrodiálisis es importante determinar el voltaje máximo a aplicar para que el gasto de energía no sea elevado, por ello se hizo una curva de polarización<sup>8</sup>. Este sistema consta de dos compartimentos para las soluciones de diluido y concentrado, uno para la solución de lavado o enjuague. La solución utilizada para los compartimentos diluido y concentrado fue agua de rechazo a una conductividad de 1400  $\mu$  S/cm. Se aplicó una diferencia de potencial de 0 hasta 23 V a intervalos de 10 minutos y se midió la corriente resultante. Para la determinación de corriente límite se realizó una curva de polarización: voltaje aplicado vs intensidad de corriente eléctrica.

### Efecto de la concentración de alimentación en la celda de electrodiálisis.

Una vez que la celda ha sido ensamblada, se procede al llenado de 500 mL de muestra en cada compartimento con la muestra de 1400  $\mu$  S/cm para cada experiencia, y luego a 2000  $\mu$  S/cm con una duración por cada experimento de 2 horas. Finalmente, a tiempo cero, se conectan el generador de corriente continua. Al finalizar la electrodiálisis, las soluciones de trabajo diluida y concentrada son colectadas y analizadas.

## Resultados

Los resultados se pueden dividir en tres partes: El diseño y la construcción del equipo de electrodiálisis tipo filtro prensa (figura 4), determinación de corriente límite y la desalinización de agua de rechazo del equipo de ósmosis inversa.

En la figura 2 se observan las placas de material de acrílico utilizadas con sus respectivas entradas y salidas para los compartimientos de concentrado, diluido y lavado de los electrodos. En la figura 3 se observa el modulo filtro prensa ensamblado con sus respectivas conexiones de entrada y salida del equipo.

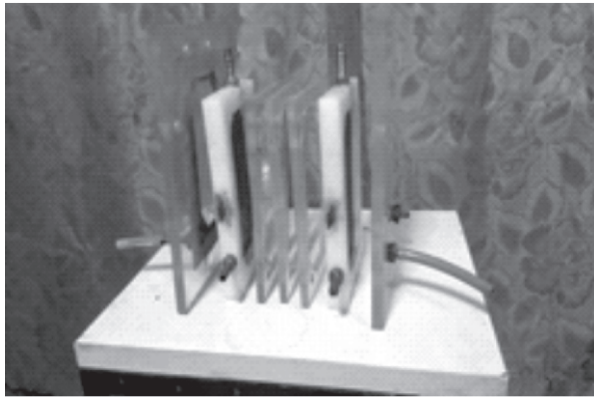


Figura 2. Ensamblaje del equipo de electrodiálisis.

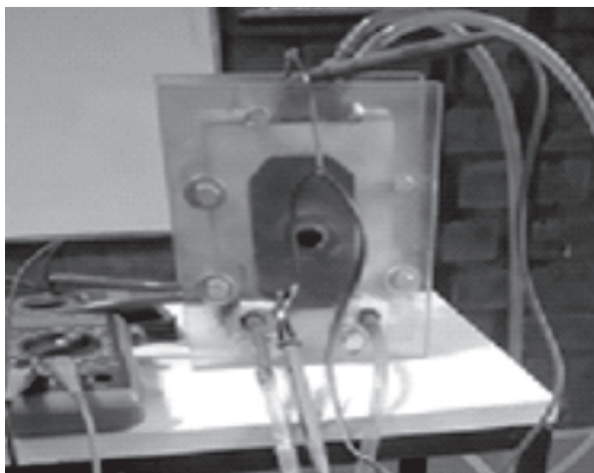


Figura 3. Módulo de electrodiálisis tipo filtro prensa.

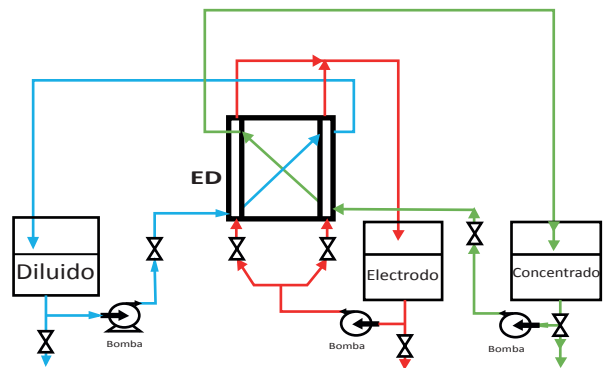


Figura 4. Diagrama del módulo de electrodiálisis.  
Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se muestra la gráfica de la curva de polarización, que nos permite determinar que la corriente límite es 20,4 V y 185 mA.

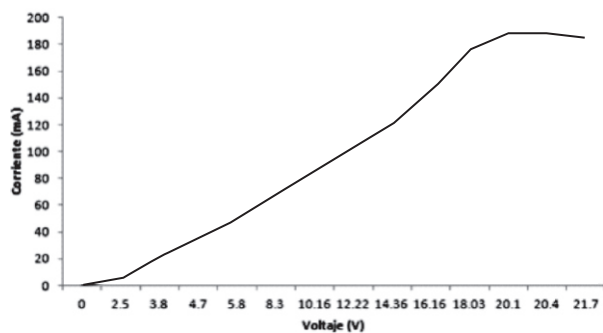
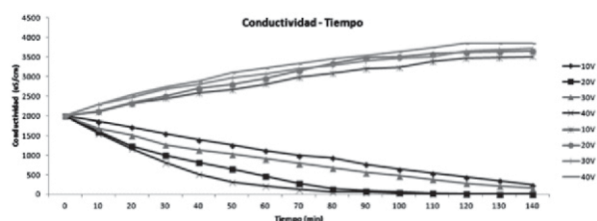


Figura 5. Curva de Polarización para determinar la corriente límite a un flujo de 150 mL/min.

Fuente: elaboración propia.

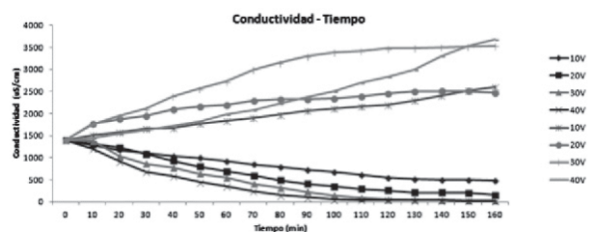
En la figura 6 se observa la reducción de la conductividad en el compartimiento diluido y aumento de la conductividad del compartimiento de concentrado en función del tiempo. A partir de la muestra de  $2000 \mu\text{S/cm}$  se observa que a 40 V se obtiene mayor porcentaje de separación tanto del compartimiento diluido y concentrado. También se observa que a 10 V la transferencia de iones disminuye en el compartimiento diluido y concentrado.



**Figura 6. Variación de la conductividad en los compartimentos de diluido y concentrado a 2000  $\mu$  S/cm en función del potencial eléctrico a un flujo de 150 mL/min.**

Fuente: elaboración propia

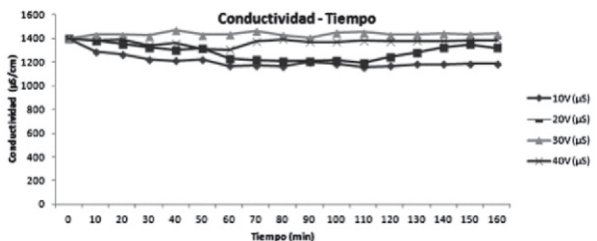
En la figura 7 se muestran los resultados obtenidos a partir de la muestra con conductividad inicial de 1400  $\mu$  S/cm y flujo de 150 mL/min. Se observa la reducción de la conductividad de la corriente del diluido y el aumento de conductividad eléctrica del concentrado, se observa que a 30 y 40 V no existe una variación significativa.



**Figura 7. Variación de la conductividad en los compartimentos diluido y concentrado a 1400  $\mu$  S/cm en función del potencial eléctrico a un flujo de 150 mL/min.**

Fuente: elaboración propia

En la figura 8 se observa que la conductividad no varía significativamente con respecto a los diferentes potenciales, en el compartimiento de lavado de electrodos.



**Figura 8. Variación de la conductividad en el compartimiento de lavado a 1400  $\mu$  S/cm a un flujo de 150 mL/min. Fuente: elaboración propia.**

## Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo, muestran que después del desarrollo experimental, la corriente límite obtenida experimentalmente para el módulo de electrodiálisis construido, resultó ser 185 mA y voltaje de 20,4V como se muestra en la figura 5. Los resultados muestran que el agua de rechazo, trabajando a 40 V y a una conductividad inicial de 2000  $\mu$  S, en el compartimiento diluido se ha alcanzado una conductividad de 5,3  $\mu$  S/cm, y el compartimiento concentrado 3 854  $\mu$  S/cm con un porcentaje de separación de 99,7 % en el tanque diluido. En la figura 8 se observa que la conductividad no varía significativamente con respecto a los diferentes potenciales, en el compartimiento de lavado de electrodos.

## Referencias bibliográficas

Ochoa J. (1996). “Electrosíntesis y Electrodiálisis” (Fundamentos, aplicaciones tecnológicas y tendencias), segunda edición, Cap.7; Mc Graw - Hill, Madrid, España, 199-237.

Zarzo D. y Campos E. (2012). “Proyectos de investigación sobre gestión y tratamientos de salmueras procedentes de plantas desaladoras”, presentación póster, III Seminario Internacional de Desalación Aladyr, Cataluña-España,

Shaposhinik V., Zubets N. and Mill B. (2001). “Demineralization of water by electrodiálisis with ion-exchange membranes, grains and nets, Desalination”, 133, 211-214.

Mohammadi T. and Kaviani A. (2003). “Water shortage and seawater desalination by electrodiálisis, Desalination”, 158, 267-270.

Mohammadi T. and Kaviani A. 2005, “Modeling of metal ion removal from wastewater by

electrodialysis”, Sep Purif. Technol, 41, 73-82.

Mohammadi T. and Kaviani A. (2007), “Separation of different Ions from wastewater at various operating conditions using electro dialysis”, Sep Purif. Technol, 54, 147-156.

Montalvo A., Rodríguez G., et. al. (1959) (2002). “Estudio de la densidad de corriente límite en una celda de electrodiálisis en función de la concentración y la velocidad. Facultad de Ingeniería” – Instituto de Metalurgia Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Cowan D., Brown H., “Efecto de la turbulencia en la corriente limite en las celdas de electrodiálisis”, Int Engng. Chem, 51, 1445.

Lee, H. Strathmann H., Moon S. (2006), Desalination, 190, 43.

Banasiak L., Kruttschnitt T. (2007), “Desalination using electro dialysis as a function of voltaje and salt concentration”, Desalination, 205, 38-46.

Sadrazadeh M., and Mohammadi T. (2008), “Sea water desalination using electro dialysis, Desalination”, 221, 440–447.

Correo electrónico: [jmedinaunac@yahoo.es](mailto:jmedinaunac@yahoo.es)