

# ANÁLISIS DE REDES ELÉCTRICAS CONSIDERANDO INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE EL MECANISMO PRO

Alejandro Pizano-Martínez<sup>1</sup>, Mario Llamas-Rivas<sup>2</sup>, Luis Ramón Merchan-Villalba<sup>1</sup> y José Merced Lozano-García<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Guanajuato, apizano@ugto.mx, lr.merchanvillalba@ugto.mx, jm.lozano@ugto.mx

<sup>2</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, mario.llamas@umich.mx

## Resumen

Por sus características, la energía producida mediante el mecanismo de ósmosis retardada por presión (PRO), a partir del gradiente de salinidad, debe integrarse para su consumo en redes eléctricas de distribución. Este trabajo presenta la integración de un modelo de generación de energía, en base al mecanismo PRO, en el análisis de estado estacionario de redes eléctricas de distribución. Esto permite determinar la respuesta de estado estacionario de la red eléctrica ante la integración de la energía producida mediante dicho mecanismo. Aspecto aún no abordado en la literatura existente.

## Modelo de generación PRO

Con la finalidad de producir energía eléctrica a partir del gradiente de salinidad existente entre dos cuerpos de agua (por decir, el mar y el río), el mecanismo PRO aprovecha la presión osmótica producida al ingresar y separar, en un recipiente, los cuerpos de agua con alta y baja concentración salina mediante una membrana semipermeable. Este recipiente es denominado módulo de membranas. La presión osmótica provoca la existencia de un caudal permeado presurizado a través de la membrana semipermeable, capaz de impulsar una turbina acoplada a un generador eléctrico, dando lugar a la producción de potencia eléctrica. La Figura 1 muestra el esquema básico de una planta PRO, en la que se muestran los elementos primordiales mencionados en el mecanismo de generación PRO antes descrito.

Este mecanismo de generación de potencia se modela por medio de un conjunto de ecuaciones algebraicas no lineales, cuya evaluación recursiva permite estimar la potencia eléctrica (compleja)  $S_{abc}$  y las corrientes eléctricas trifásicas  $I_{abc}$  que se inyectan a la red eléctrica. Los efectos de polarización y variación espacial del gradiente de

salinidad, así como los parámetros específicos del módulo de membranas son considerados en el modelo (Llamas et al., 2019). En este sentido, la estimación de la potencia  $S_{abc}$  y las corrientes  $I_{abc}$  a partir del modelo queda en función de la concentración salina  $C_m$  y  $C_r$  del agua de alta y baja concentración salina, respectivamente, y de la tensión trifásica (voltaje trifásico)  $V_{abc}$  en las terminales del generador eléctrico (Ver Figura 2). Este modelo puede incorporarse en la determinación del estado estacionario de redes eléctricas para considerar la integración de energía producida por el mecanismo PRO.

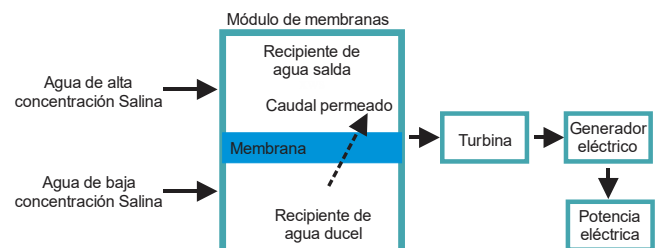


Figura 1. Representación básica de una planta de generación PRO.

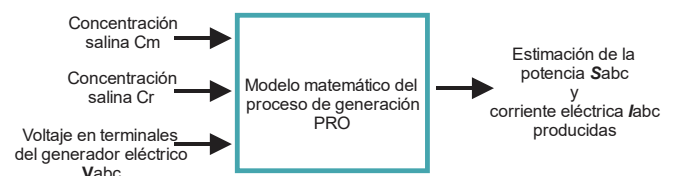


Figura 2. Estimación de la producción de potencia eléctrica  $S_{abc}$ .

## Técnica de análisis

La técnica de barrido hacia adelante y hacia atrás (FBS, por sus siglas en inglés) es comúnmente utilizada para la determinación del estado estacionario de redes de distribución radiales o ligeramente malladas, bajo condiciones desbalanceadas, diversidad de fases y en el dominio trifásico. Con el fin de determinar esta condición de

operación considerado la penetración de la potencia producida mediante el mecanismo PRO, se integró el modelo de generación descrito en la sección anterior en la técnica FBS. Esta integración es directa y se logra al considerar en la técnica FBS las corrientes eléctricas  $I_{abc}$  estimadas a partir de la evaluación del modelo para valores especificados de las concentraciones salinas  $C_m$  y  $C_r$ , así como del voltaje trifásico  $V_{abc}$  en las terminales del generador eléctrico (punto de conexión a la red eléctrica).

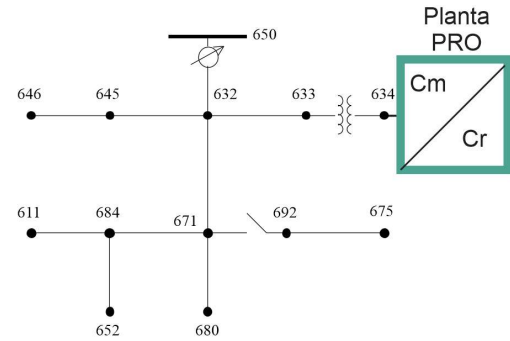


Figura 4. Potencia activa en función del valor de  $C_m$  y  $C_r$ .

## Resultados

Algunos de los resultados obtenidos a partir de la propuesta presentada son los siguientes.

### Caso I

Se ilustra primeramente la variación de la potencia activa (parte real de la potencia  $S_{abc}$ ) estimada en las terminales de una planta PRO en función de la variación de las concentraciones  $C_m$  y  $C_r$  de los cuerpos de agua de alta y baja concentración salina, respectivamente. El rango de variación de  $C_m$  es de 30 a 50 gr/lit, para  $C_r$  es de 0 a 10 gr/lit. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.

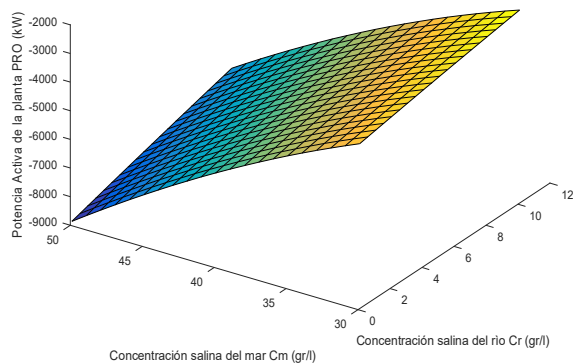


Figura 3. Potencia activa en función del valor de  $C_m$  y  $C_r$ .

### Caso II

Se aborda la determinación de la respuesta de estado estacionario del sistema de distribución de 13 nodos ilustrado en la Figura 4, integrado una planta PRO de capacidad de 7.5 kW, voltaje nominal de 480 V. Como resultado, se presenta la reducción de la cantidad potencia activa importada a través de la subestación de distribución (nodo 650) para abastecer la demanda del sistema al incrementar el número de módulos de membranas que componen la pila PRO (ver Figura 5).

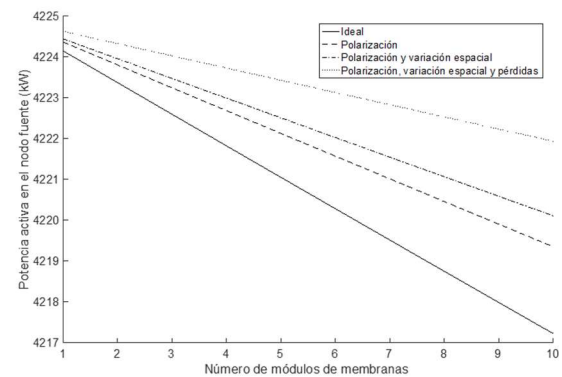


Figura 5. Potencia activa en función del valor de  $C_m$  y  $C_r$ .

## Conclusiones

Se formuló una propuesta para determinar la operación de estado estacionario de redes de distribución integrando generación de energía mediante el mecanismo PRO. Los resultados indican que la producción de potencia se incrementa con la diferencia de concentración salina. La importación de energía para abastecer la demanda eléctrica disminuye con la integración de la energía proveniente del gradiente salino.

## Referencias

M. Llamas-Rivas, A. Pizano-Martínez, C. R. Fuerte-Esquivel, V. J. Gutiérrez-Martínez, and L. R. Merchan-Villalba (2019). Model for evaluating the electric power output of pressure retarded osmosis generation plants. *European Wave and Tidal Energy Conference Series*, 1-6, Septiembre, 2019, Nápoles, Italia.



1er Congreso Internacional  
**CEMIE-Océano**



