

# Electrodialysis Processes Assisted by Photovoltaic Panels. Concentration Control

P. E. Troncoso, R. J. Mantz and P. E. Battaiotto

**Abstract**— This paper deals with the water desalination processes powered by renewable energy resources. An autonomous system based on electrodialysis technology and fed from photovoltaic panels is analyzed. Mathematical models for the several components, putting particular attention in the electrodialysis process, are developed. A control strategy based both in supervision control ideas and concepts of sliding modes is proposed. This allows guaranteeing the water quality beyond perturbations in the concentration and in the water flow in the cells input, as well as solar radiation fluctuations. Simulation results, which show the performance of the proposal, are presented.

**Keywords**— Sliding Modes, isolated systems, water desalination.

## I. INTRODUCCIÓN

LA DISPONIBILIDAD de agua es uno de los limitantes más serios para el desarrollo sustentable de regiones aisladas. En muchas situaciones este recurso existe pero se presenta con altos porcentajes de concentración salina que no lo hacen apto para su consumo. En estos casos, pueden aplicarse técnicas de desalación como la ósmosis inversa, la destilación súbita multietapa, la electrodiálisis, etc. Si bien estas tecnologías han alcanzado un alto grado de desarrollo, las que despiertan más interés son la ósmosis inversa cuyo grado de industrialización ha permitido reducir los costos significativamente, y la electrodiálisis que se caracteriza por la pureza del agua procesada. En todos los casos el consumo energético que demanda la desalación es importante y en los últimos años ha surgido un marcado interés en impulsar tecnologías de desalación basadas en recursos renovables [1]-[5]. Las fuentes de energías renovables como la eólica, la solar, o incluso la energía que se puede aprovechar del océano, suelen estar a disposición en lugares donde las redes de distribución aún no han llegado.

Hoy en día, se pueden encontrar una gran cantidad de trabajos [1]-[6], donde se estudia la problemática y se plantean bases desde distintos puntos de vista. Plantas de desmineralización de aguas asistida por sistemas de conversión de energías renovables se estudian desde el punto de vista económico y de factibilidad [1], [3], [6], desde el punto de vista de la obtención del recurso [2], del máximo aprovechamiento de los procesos cercanos [2], [5] y el impacto que pueda traer en la calidad de vida [3] y en

proyectos futuros [4]. En este trabajo se presentan aspectos del modelado y control de un sistema autónomo de potabilización por electrodiálisis a partir de energía fotovoltaica [7]. El control, basado en conceptos de supervisión y regímenes deslizantes mejora el uso del recurso energético para garantizar la potabilidad del agua mas allá de perturbaciones de la concentración de entrada, del flujo del agua e incluso de las fluctuaciones del recurso solar.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. En la sección II se describe el sistema y el funcionamiento del mismo. En la sección III se presentan las ecuaciones que describen los principales componentes del sistema haciendo hincapié en el electrodiálizador. Posteriormente en la sección IV se propone el control y en la sección V se hace una evaluación de la propuesta a través de simulaciones. Finalmente se presentan las conclusiones.

## II. ESQUEMA DEL PROCESO.

El sistema esquematizado en la Fig.1 utiliza un arreglo fotovoltaico, un electrodiálizador, dos convertidores DC/DC, un banco de baterías, un sistema de control de dos niveles y componentes auxiliares.

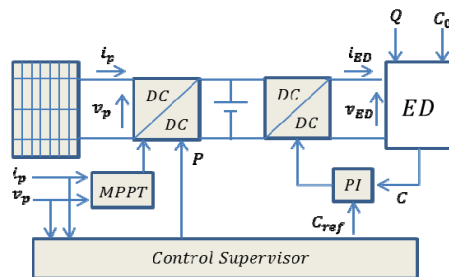


Figura 1. Esquema clásico sin conexión a red;

El panel fotovoltaico proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del sistema. El uso de esta energía se enmarca dentro de los sistemas de conversión de energías renovables, cada vez más difundidos y aceptados. El control supervisor es el encargado de definir los modos de operación y de establecer las referencias para los lazos locales de los dos convertidores DC/DC, con el objetivo de resolver el mejor compromiso entre el intermitente recurso solar y la calidad del agua desalada. Se asume que se disponen medidas de las variables del sistema y las variables atmosféricas.

El proceso de electrodiálisis depende de variables constructivas y operativas. Estas últimas, derivan de procesos anteriores o paralelos, como puede ser el filtrado de la solución a tratar y el sistema de bombeo. Una variación en el caudal de entrada al proceso y en la concentración de entrada de sales en la solución puede alterar la calidad del producto

P. E. Troncoso, LEICI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, troncosopablo08@yahoo.com.ar

R. J. Mantz, LEICI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, CIC, mantz@ing.unlp.edu.ar.

P. E. Battaiotto, LEICI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, pedro@ing.unlp.edu.ar.

final. Estas perturbaciones pueden atenuarse mediante el control de la concentración final de la solución.

### III. MODELO DEL SISTEMA.

En esta sección se exponen los principales aspectos del modelado del sistema en estudio poniendo énfasis en el proceso de electrodiálisis.

#### A. Panel fotovoltaico.

El arreglo fotovoltaico puede modelarse por un generador de corriente, dependiente de la irradiación, la temperatura y el voltaje aplicado en sus terminales [8],

$$i_p = N_p I_L - N_p I_0 \left( e^{\frac{V+i_p R}{nN_p V_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

con

$$I_0 = I_{0r} \left( \frac{T}{T_r} \right)^3 e^{\left( \frac{qE_{g0}}{BK} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right)} \quad (2)$$

$$I_L = (I_{sc} + k_i (T - T_r)) \frac{G}{G_r} \quad (3)$$

donde  $i_p$  es la corriente del módulo,  $V$  es la tensión del módulo,  $I_0$  es la corriente de saturación,  $T$  es la temperatura,  $V_T = KT/q$ ,  $k_i$  es el coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito,  $G$  y  $G_r$  la radiación incidente y de referencia,  $I_{0r}$  es la corriente de saturación inversa,  $I_L$  es la corriente fotogenerada,  $E_{g0}$  es la energía de la banda prohibida,  $n$  y  $B$  coeficientes de idealidad,  $T_r$  la temperatura de referencia,  $I_{sc}$  corriente de saturación a  $T_r$  y  $G_r$ ,  $R$  es la resistencia en serie del módulo,  $K$  la constante de Boltzmann,  $q$  la carga del electrón,  $N_p$  es el número de paneles series conectados en paralelo y  $N_s$  es el número de celdas de cada arreglo serie.

En la Fig.2 se observa como varía la potencia del panel en función del voltaje aplicado, teniendo la irradiación y la temperatura como parámetros. Es esta sensibilidad con respecto a la radiación y la temperatura la que pone en manifiesto la necesidad de controlar el voltaje de polarización del arreglo fotovoltaico para garantizar la eficiencia de conversión mediante algoritmos MPPT.

#### B. Convertidores DC/DC.

Para poder controlar los voltajes aplicados, tanto al panel fotovoltaico como al proceso de electrodiálisis, se dispone de convertidores DC/DC controlados por corriente, esquematizados en la Fig. 3.

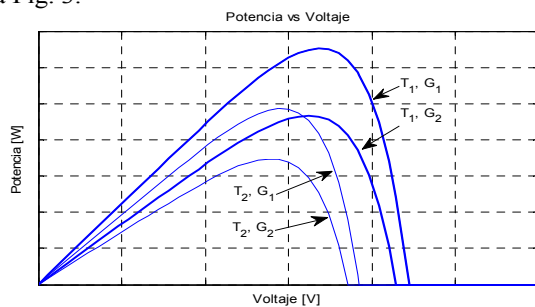


Figura 2. Variación de la Potencia del arreglo fotovoltaico;

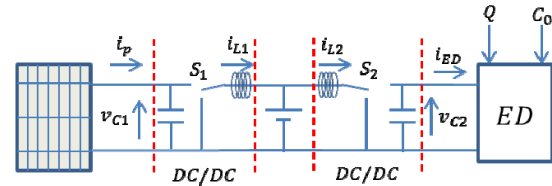


Figura 3. Esquema del sistema donde se exponen los componentes;

El primer convertidor puede modelarse como

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{L1} \\ v'_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -V/L_1 \\ i_p(v_{C1}, T, G)/C_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{C1}/L_1 \\ -i_{L1}/C_1 \end{bmatrix} u_1 \quad (4)$$

donde  $i_{L1}$  representa la corriente por el inductor del convertidor,  $v_{C1}$  representa el voltaje sobre el capacitor del convertidor e  $i_p(v_{C1}, T, G)$  la corriente generada por el panel fotovoltaico.

En forma similar, el segundo convertidor se puede modelar como

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{L2} \\ v'_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V/L_2 \\ -i_{ED}(v_{C2}, C, C_0, Q)/C_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -v_{C2}/L_2 \\ i_{L2}/C_2 \end{bmatrix} u_2 \quad (5)$$

donde  $i_{L2}$  representa la corriente por el inductor del convertidor,  $v_{C2}$  representa el voltaje sobre el capacitor del convertidor, e  $i_{ED}(v_{C2}, C, C_0, Q)$  es la corriente del electrodiálisis que es una función no lineal de la concentración de sales, el caudal de entrada, la concentración de entrada y el voltaje de polarización. Ambos convertidores son controlados mediante una acción discontinua  $u_i \in [0, 1]$  definida por el estado de las llaves  $S_i$ .

#### C. Proceso de Electrodiálisis.

Una celda de electrodiálisis consiste en una serie de membranas interpuestas entre el ánodo y el cátodo entre las cuales circula el agua a desalar (Fig. 4). Cuando un potencial DC es aplicado entre ambos electrodos, los cationes con cargas positivas se mueven hacia el cátodo a través de la membrana con carga negativa y son retenidos entre las membranas con distinta carga. De la misma forma, los aniones con cargas negativas, se mueven hacia el ánodo a través de la membrana con carga positiva y son retenidos entre las membranas. De este modo, la solución concentrada en sales queda aislada del agua desalada como se ejemplifica en la Fig. 4.

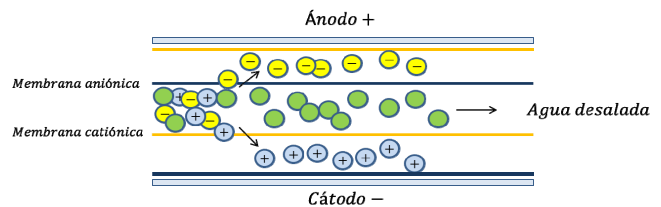


Figura 4. Sección de una celda de electrodiálisis;

Para el desarrollo de un modelo, se toma un elemento diferencial de la solución donde se plantea el balance de masa de los iones como se muestra en la Fig. 5.

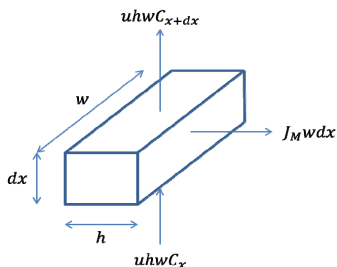


Figura 5. Esquema del elemento diferencial;

Así

$$u h d C = -J_M d x \quad (6)$$

donde  $J_M$  es el flujo molar,  $h$  es la separación entre las membranas,  $u$  la velocidad del fluido y  $C$  es la concentración iónica. Si se expresa el flujo molar en función de la densidad de corriente sobre la membrana, la Eq. (6) se puede escribir como

$$u h d C = -\frac{\eta}{F} \frac{i_{ED}}{A_M} d x \quad (7)$$

donde  $\eta$  es la eficiencia de corriente,  $F$  es la constante de Faraday,  $i_{ED}$  es la intensidad de corriente y  $A_M$  es el área efectiva entre las membranas (para una mejor comprensión, se suprime la dependencia de los parámetros de la corriente del electrodializador en la notación). La eficiencia de corriente puede expresarse en función de la velocidad de fluido como

$$\eta = \alpha \delta u^{1/3} \quad (8)$$

donde  $\alpha$  y  $\delta$  son parámetros cinemáticos que se ajustan de manera polinómica. Los aspectos relacionados con los parámetros eléctricos se basan en la ley de Ohm

$$i_{ED} = \frac{v_{C2}}{NR} \quad (9)$$

donde  $v_{C2}$  es el voltaje aplicado al proceso,  $R$  es la resistencia del proceso y  $N$  es la cantidad de celdas anidadas. La principal componente óhmica del sistema es aportada por la solución líquida, ya que las membranas tienen una muy baja resistencia eléctrica. De esta manera, se puede expresar  $R$  en función de la concentración de la solución de la siguiente manera

$$R = \frac{h}{\kappa A_M} \quad (10)$$

donde  $\kappa$  es la conductividad de la solución y se puede expresar en función de la concentración y de la conductividad molar  $\Lambda_M$  como

$$\kappa = \Lambda_M C \quad (11)$$

A su vez, a bajas concentraciones,  $\Lambda_M$  puede expresarse como

$$\Lambda_M = \Lambda_M^0 - AC^{0.5} \quad (12)$$

donde  $\Lambda_M^0$  es la conductividad molar límite y  $A$  una constante. Ambos parámetros son propios de los iones a estudiar.

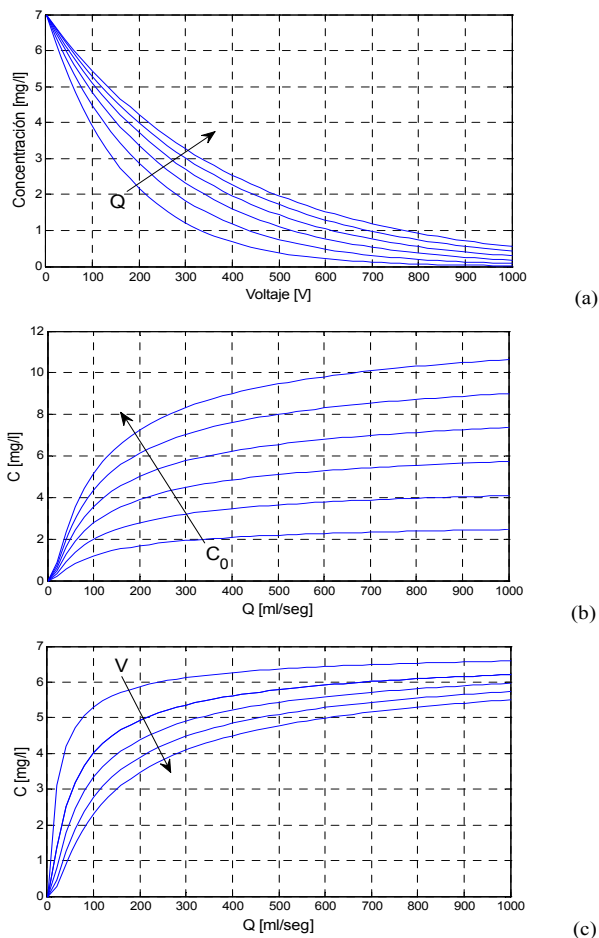


Figura 6. Variación de la característica del ED con el caudal (a), variación de la característica del ED con la concentración de entrada (b) y con el voltaje (c) como parámetros;

La Fig. 6 resume las ecuaciones previas, mostrando la dependencia de la concentración de salida con la tensión, el caudal y la concentración de entrada.

Si se reemplaza Eq. (8), (9), (10), (11) y Eq. (12) en la Eq. (7) se obtiene

$$\frac{-Q^{2/3} h^2 FN}{\beta v_{C_2} A_M^{2/3}} f(C, C_0) = l \quad (13)$$

donde  $\beta = \alpha \delta$ ,  $u = Q / A_M$ ,  $Q$  es el caudal de entrada y para  $x = 0 \rightarrow C = C_0$ .

La función integral que se expone en Eq. (13) es

$$f(C, C_0) = \int_{C_0}^C \frac{dC}{C(\Lambda_M^0 - AC^{0.5})} \quad (14)$$

Puede notarse que las curvas características del electrodiálisis constituyen una herramienta gráfica que permite interpretar como la tensión en bornes de entrada puede ser manejada a los fines de rechazar perturbaciones en la concentración de entrada y las variaciones de caudal.

#### IV. ESTRATEGIAS DE CONTROL.

El subsistema de desalación debe ser controlado para proveer agua con una concentración de sales que garantice su potabilidad independientemente de las perturbaciones en la concentración de entrada y del caudal bombeado. A su vez debe procurar el suministro de agua mas allá de las condiciones ambientales lo cual requiere la optimización del recurso FV. Por razones de espacio, este trabajo describe en mayor detalle el control del subsistema de desalación.

##### A. Control supervisor.

Para lograr el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, se propone el uso de un control supervisor que, teniendo en cuenta variables del sistema y variables atmosféricas, aplica reglas según el estado de funcionamiento.

*Modo A:* el recurso solar es suficiente como para asistir el proceso de electrodiálisis y, además, almacenar la energía en las baterías.

*Modo B:* el recurso solar solo abastece el proceso de electrodiálisis y procesos paralelos (ej. sistemas de bombeo). Puede ocurrir que solo se necesite para abastecer el proceso o solo alcance para ello.

*Modo C:* el recurso solar está por debajo de los requerimientos y necesita la asistencia del banco de baterías.

*Modo D:* el recurso es insuficiente, y toda la carga recae sobre el banco de baterías.

En los *Modos A y B*, la concentración a la salida del proceso se puede setear en los valores deseados, mientras que en los *Modos C y D*, la referencia de concentración se relaja (sin afectar la potabilidad) para que el consumo de energía se reduzca, ahorrando carga en las baterías.

##### B. Arreglo fotovoltaico.

A través del convertidor  $C_1$  el arreglo fotovoltaico es controlado para regulación de potencia o en un modo MPPT acorde a [8], [9]. Los algoritmos conocidos como MPPT polarizan los paneles para operar con máxima eficiencia. El considerado en este trabajo consiste en un algoritmo iterativo de ajuste de la tensión (perturbación) y medida de la potencia (observación) que permite converger al punto de máxima captación de la energía solar.

Las principales características del método son que opera a lazo cerrado, permite la convergencia en pocas iteraciones, no depende de los parámetros característicos del arreglo y que no requieren medición ni de la irradiación ni de la temperatura. Como contrapartida pueden presentar oscilaciones si las ganancias o periodos de ajuste no son correctamente ajustados.

##### C. Control del Electrodiálisis.

El objetivo del control es regular la concentración salina del agua a la salida. La acción de control se ejerce a través del ciclo de trabajo del convertidor que afecta la tensión de entrada al electrodiálisis. Por sencillez el control se plantea en términos de un lazo interno operando en modos deslizantes y un lazo externo de concentración.

Cálculos simples muestran que la tensión  $v_{C_2}$  no puede ser controlada en forma directa, ya que si bien es una variable de grado relativo uno, no garantiza la estabilidad de la dinámica corriente (dinámica escondida). Por este motivo, se plantea una superficie de corriente

$$\sigma = i_{L_2} - i_{ref} \quad (15)$$

con  $i_{ref}$  una señal de referencia sintetizada por un control PI.

Para calcular el rango disponible de tensiones de operación para la acción de control puede hacerse uso de las condiciones de invariancia,

$$\sigma = 0 \quad \text{y} \quad \dot{\sigma} = i_{L_2}' = \frac{v_{C_2} u_{eq} - V}{L_2} = 0 \quad (16)$$

y de la condición necesaria y suficiente que garantiza el régimen deslizante

$$u^- = 0 < u_{eq} = V / v_{C_2} \leq u^+ = 1 \quad (17)$$

siendo  $u_{eq}$  el control equivalente (es decir la señal continua ficticia que garantiza el mismo comportamiento que la acción discontinua).

Para que el régimen pueda establecerse, la señal continua  $u_{eq}$  se debe poder construir con las conmutaciones de  $u_2$ , o lo que es lo mismo pedir que se mantenga en los límites  $u_{eq} \in [0,1]$ , lo que equivale a

$$0 < V < v_{C_2} \quad (18)$$

Dado que el electrodiálisis presenta un comportamiento no lineal fuerte, es importante verificar que la dinámica escondida (es decir la dinámica de la tensión de entrada del electrodiálisis) sea estable. Con este fin se analiza

$$\dot{v}_{C_2} = \frac{-1}{R_d(C_{ref})C_2} v_{C_2} + \frac{V}{v_{C_2} C_2} i_{ref} \quad (19)$$

donde  $R_d(C_{ref})$  es la resistencia del electrodiálisis que depende de la concentración de la solución según Eq.(10) e  $i_{ref}$

es la corriente que circula por la bobina dado que la dinámica cero debe verificarse una vez establecido el régimen deslizante.

El punto de equilibrio para la dinámica escondida corresponde a

$$v_{C2} = \sqrt{i_{ref} V R_d (C_{ref})} \quad (20)$$

Si evaluamos la derivada segunda de la dinámica escondida en el punto de equilibrio para analizar la estabilidad se obtiene

$$\ddot{v}_{C2} = \frac{-2}{R_d (C_{ref}) C_2} < 0 \quad (21)$$

Con lo que se puede concluir, que el punto de equilibrio en régimen deslizante es estable. Debe notarse que el punto de equilibrio puede variar con la concentración de iones en la solución pero no así, su condición de estabilidad (ver Fig.7).

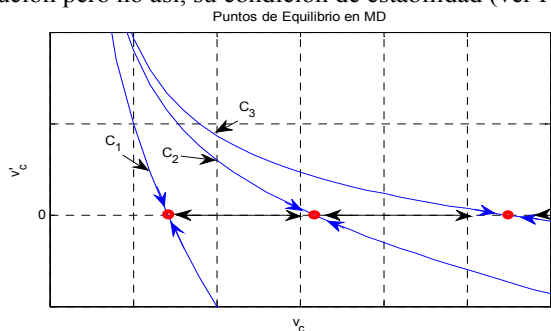


Figura 7. Traslación del punto de equilibrio en régimen deslizante;

A los efectos de garantizar el objetivo propuesto la referencia de corriente es fijada a través de un lazo externo de concentración con controlador PI

$$i_{ref2} = k_{p2}(C - C_{ref}) + k_{i2} \int (C - C_{ref}) dt \quad (22)$$

Dadas las características no lineales del proceso, las ganancias del controlador se calculan para un modelo linealizado del peor caso garantizando una respuesta dinámica para garantizar la potabilidad del agua mas allá de un transitorio posterior a una perturbación.

## V. SIMULACIONES.

Se trabaja con una solución con concentración de entrada de  $5mg/l$ , perturbaciones de  $2mg/l$  a la entrada y un caudal de mil litros por hora. La concentración de referencia se fija debajo del límite considerado para el agua potable, con  $C_{ref} = 2.8mg/l$ . Para las simulaciones se toma un electrolizador con un área efectiva de  $2.2 m^2$ , un espesor entre membranas de 5 cm y una celda.

En la Fig. 8 se observa como la potencia extraída se adecua según el modo de operación. Mientras el recurso (irradiación) no es suficiente para entregar la energía necesaria, la asistencia recae sobre el banco de baterías (Modo D). La concentración

de referencia se cambia de  $C_{ref} = 2.8mg/l \rightarrow 3.2mg/l$  (tomando esta concentración como límite permitido), para luego pasar a la primera cuando la energía disponible sea suficiente.

El exceso de potencia se almacena en las baterías (Modo A), mientras el control realiza un balance de requerimientos y el panel entrega la energía necesaria para el proceso, aumentando la exigencia en la concentración (Modo A, B). Las simulaciones contemplan los modos de funcionamiento, con una curva de irradiación modelo que representa la irradiación a lo largo de un día soleado.

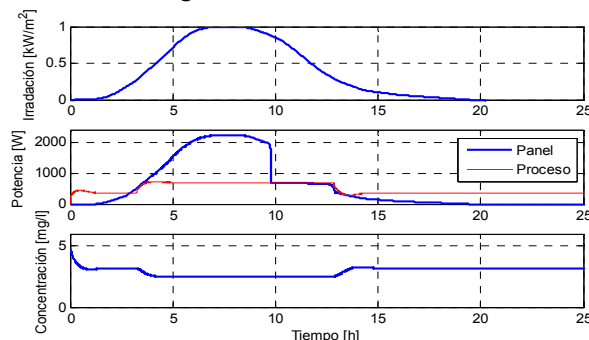


Figura 8. Funcionamiento del Control Supervisor;

Para verificar el funcionamiento de las demás estrategias, se puede contemplar que la energía suministrada es siempre igual o incluso mayor que la necesaria. De este modo, se analiza el desempeño de los controladores frente a perturbaciones.

Con fines comparativos, se considera primero un proceder convencional consistente en garantizar la potabilidad del agua a partir de fijar el voltaje de alimentación del electrolizador en un valor máximo, 250 V, para así poder absorber la degradación que produzcan las perturbaciones (de concentración de entrada en este caso). Como se observa en la Fig.9, si bien la concentración a la salida del proceso está por debajo de la referencia, esto es a costa de un exceso de consumo de potencia por encima del estrictamente necesario para garantizar la potabilidad del agua. Sin embargo, proponer un voltaje mayor es necesario para cumplir las especificaciones.

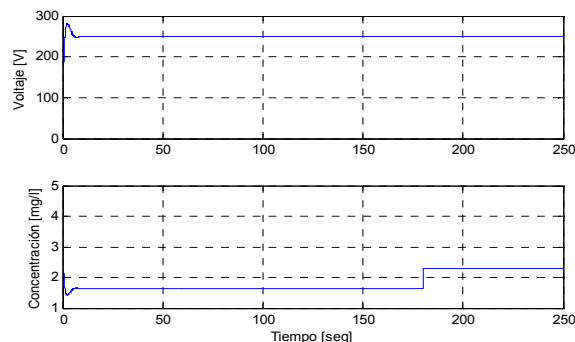


Figura 9. Voltaje en ED y concentración a la salida sin control;

Considérese ahora el control propuesto en el presente trabajo. En la Fig.10 se observa como el voltaje responde a la perturbación en la concentración de entrada, aplicada a los 180

segundos. La concentración final se ve modificada, pero después de un transitorio, se estabiliza en la referencia de 2.8mg/l.

En la Fig.11 se puede observar como la estrategia logra llevar al sistema al punto de trabajo B desde A, modificando el voltaje aplicado sobre el electrodiálizador.

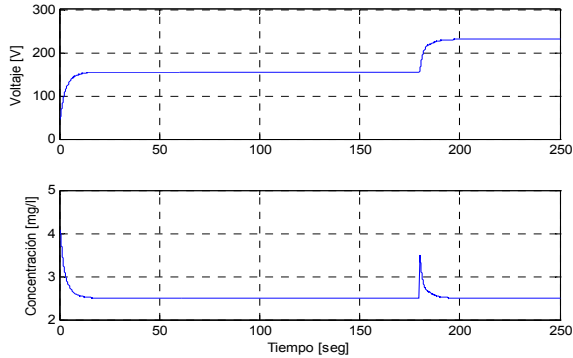


Figura 10. Voltaje sobre el electrodiálizador y concentración a la salida;

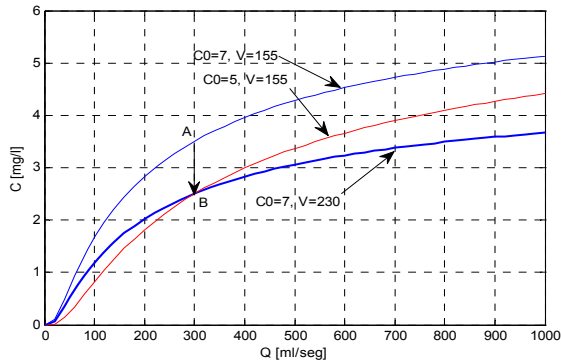


Figura 11. Variación de la curva C vs Q del ED mediante el control;

Puede notarse, como se expone en la Fig.12, que el control por realimentación de concentración mejora considerablemente el uso del recurso energético, al variar el voltaje de alimentación. Efectivamente, utilizando el control por concentración, se logra un ahorro de hasta el 50% de la energía consumida por el proceso.

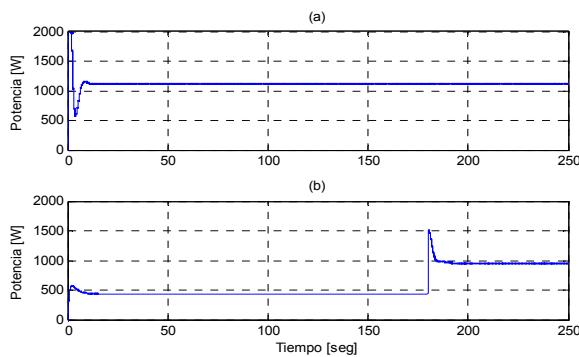


Figura 12. Potencia requerida sin control de concentración (a) y potencia requerida con control de concentración (b);

Del mismo modo, las variaciones en el caudal de entrada al proceso puede modificar la calidad del producto final. El

control permite rechazar ambas perturbaciones de manera efectiva. En la Fig.13 se observa como la estrategia responde a variaciones en el caudal, del mismo modo que a variaciones en la concentración de entrada.

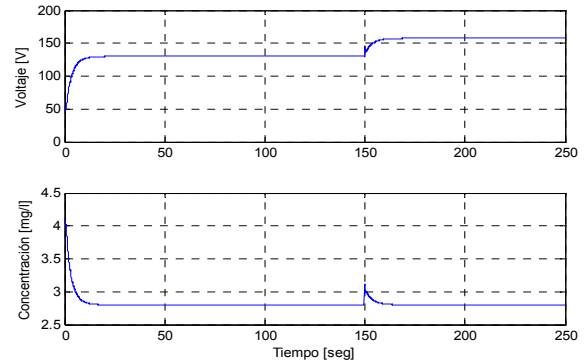


Figura 13. Voltaje sobre el electrodiálizador y concentración a la salida;

## VI. CONCLUSIONES.

En este trabajo se analiza un sistema autónomo de desalación del agua. Se presenta un modelo en el que se pone de manifiesto la dependencia de la concentración de sales en el agua procesada con respecto a la tensión aplicada y a perturbaciones como el caudal y la concentración de entrada. Se propone un control de dos niveles (supervisión y controles locales). El control supervisor habilita al mejor balance energético entre generación y consumo, imponiendo estrategias y modos de operación sobre los paneles FV y el electrodiálizador. El control de este último se realiza vía un control por régimen deslizante con un lazo externo de concentración que actúa sobre el convertidor correspondiente. Se presentan simulaciones que muestran la viabilidad y la buena performance del control propuesto. En particular se muestra que el control propuesto puede presentar una sustancial reducción del consumo energético frente a la operación convencional. Hecho que es de vital importancia en un sistema autónomo.

## REFERENCIAS

- [1] P. Compain, Solar Energy for Water Desalination, International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry, 2011.
- [2] Xiu-Wei Li and Xiao-Song Zhang, Photovoltaic-electrodialysis regeneration method for liquid desiccant coolin system, Solar Energy, Science Direct, 2009.
- [3] A. M. Bilton, R. Wiesman, A. F. M. Arif, and S. M. Zubair, On the feasibility of community-scale photovoltaic-powered reverse osmosis desalination system for remote locations, Renewable Energy, Science Direct, 2011.
- [4] Chennan Li, Yogi Goswami, and E. Stefanakos, Solar assisted sea water desalination: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Sci Verse, Science Direct, 2013.
- [5] S. Karellas, K. Terzis, and D. Manolakos, Investigation of an autonomous hybrid solar thermal ORC-PV RO desalination, Renewable Energy, Science Direct, 2011.
- [6] R. D. Tabors, S. Nagendraprasad, J. A. Brant, "The Manufacture of Potable Water: Case Analyses of Electric System Alternatives", Hawaii International Conference on System Sciences, 2012.
- [7] Jing Guolin, Liu Yang, and Han Chunjie, "Mathematical modeling for desalination by electrodiálisis", Daqing Petroleum Institute, IEEE, Daqing, China, 2009.

- [8] Wen-Jung Chiang and Hurng-Liahng Jou, “*Maximum Power Point Tracking Method for the Voltage-Mode Grid-Connected Inverter of Photovoltaic Generation System*”, ICSET, IEEE, 2008.
- [9] Yuncong Jiang and J. A. Abu Qahouq, “Study and Evaluation of Load Current Based MPPT Control for PV Solar Systems”, University of Alabama, Department of Electrical and Computer Engineering, USA, 2011.
- [10] Dexinghui Kong, and K. E. Holbert, “Solar Thermal Electricity Generation and Desalination in the Southwestern United States”, Arizona State University, USA.



**Pablo E. Troncoso** es estudiante de posgrado, desarrollando su beca doctoral en el marco del Doctorado en Ingeniería, en la Universidad Nacional de La Plata, con financiación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET. Pertenece al Instituto LEICI (Instituto de Investigaciones en Electrónica, Control y Procesamiento de Señales) de la Facultad de Ingeniería (UNLP). Su campo de interés aborda temas de control no-lineal, regímenes deslizantes y control de sistemas de conversión de energías renovables.



**Ricardo J. Mantz** es Profesor de Control Automático en el Departamento de Electrotecnia de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) e Investigador Principal de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICpBA), Argentina. Pertenece al Instituto LEICI (Instituto de Investigaciones en Electrónica, Control y Procesamiento de Señales) de la Facultad de Ingeniería (UNLP). Su campo de interés incluye temas de control no-lineal y su aplicación a sistemas de conversión de energías renovables. Es (co)autor de los libros: “Wind Turbine Control” y “Advanced control for constrained processes and systems”, 2006 and 2011, respectivamente.



**Pedro E. Battaiotto** es profesor en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Pertenece al Instituto LEICI (Instituto de Investigaciones en Electrónica, Control y Procesamiento de Señales) de la Facultad de Ingeniería (UNLP). Fue científico asociado en European Organization for Nuclear Research (CERN) y científico asociado a MicroLab – International Center for Theoretical Physics (ICTP), Italia. Su campo de interés es la Electrónica de Potencia y los sistemas de conversión de Energías renovables.