

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS CONDUCTORAS PREPARADAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA Y POLIPIRROL COMO USO POTENCIAL EN EL DESARROLLO DE UN ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO DE CARGA

Á. Arrieta¹, A. Jaramillo², O. Fuentes³. Grupo de Investigación DANM/Desarrollo y Aplicación de Nuevos Materiales-Universidad Pontificia Bolivariana, Montería.

J. Mendoza⁴. Grupo de Investigación OPUREB/Optimización de procesos y uso racional de la energía y biomasa -Universidad Pontificia Bolivariana, Montería.

Recibido febrero 25 de 2014 – Aceptado marzo 5 de 2014

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v8n1.a01>

Resumen — En la actualidad, existe la necesidad de desarrollar nuevos dispositivos capaces de almacenar energía, que sean ligeros, flexibles y amigables con el medio ambiente. En este trabajo se presentan la síntesis y caracterización de películas conductoras de almidón de yuca y películas de polipirrol; las cuales serán utilizadas en el desarrollo de un acumulador electroquímico. Las películas de almidón fueron sintetizadas químicamente a partir de almidón nativo de yuca y la adición de plastificantes y perclorato de litio. Por otro lado, las películas de polipirrol (PPy) fueron dopadas con Indigo Carmin (IC) y ácido p-toluensulfónico (pTS) y se sintetizaron electroquímicamente en una celda electroquímica de tres electrodos (trabajo, referencia y auxiliar). La caracterización se llevó a cabo empleando las técnicas electroquímicas de voltametría cíclica (VC) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE). Los resultados indican un buen comportamiento electroquímico de las películas de almidón, con conductividades aproximadas de $3 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ y una buena actividad redox que permitirá la acumulación de carga en el dispositivo armado. Por otra parte, las películas de polipirrol, presentaron propiedades redox que permiten su oxidación y reducción reversible lo que muestra su excelente comportamiento como material de electrodos.

Palabras claves — Batería Polimérica, electrodos de polipirrol, películas de almidón.

Abstract— Currently, there is a need to develop new devices capable of storing energy, which are lightweight, flexible and friendly to the environment. In this paper we present the synthesis and characterization of conductive films and cassava starch polypyrrole films,

which will be used in the development of an electrochemical battery. The starch films were chemically synthesized from native starch and cassava adding plasticizers and lithium perchlorate.

Moreover, polypyrrole films were doped with p-toluenesulfonic acid (pTS) and Indigo Carmin (IC) and synthesized electrochemically in an electrochemical cell of three electrodes (working, reference and auxiliary). The characterization was carried out using electrochemical techniques of cyclic voltammetry (CV) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The results indicate excellent electrochemical behavior of starch films with conductivities of approximately $3 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ and a good redox activity which allow the accumulation of charge in the device assembly. Moreover, polypyrrole films presented redox properties that allow reversible oxidation and reduction which shows excellent performance as electrode material

Key words — Polymeric battery, polypyrrole electrodes, starch films

I. INTRODUCCIÓN

Como una manera de contribuir con el desarrollo de tecnologías limpias e independizarnos de las fuentes petroquímicas, se están llevando a cabo investigaciones encaminadas hacia la producción y almacenamiento de energía con fuentes alternativas y utilizando nuevos materiales biodegradables, con el fin de mejorar el futuro energético y los problemas de contaminación que ocasionan su producción [1]. En este sentido, la tecnología de las baterías tiene un futuro promisorio en el camino hacia la sostenibilidad, siendo el desarrollo de baterías poliméricas, las que recientemente han ganado gran interés por la comunidad científica y la industria, principalmente por la posibilidad de fabricar dispositivos flexibles y amigables con el medio ambiente, puesto que los materiales de electrodos empleados para su elaboración, podrían ser más adecuados que los electrodos con sustratos metálicos [2], [3].

Este trabajo es postulado dentro del marco del Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Agricultura - CIIMCA 2013 -

¹ Á. Arrieta, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, alvaro.arrieta@upb.edu.co; alvaroangel.arrieta@gmail.com.

² A. Jaramillo, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, andresja27@hotmail.com.

³ O. Fuentes, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, oscar.fuentes.amin@gmail.com.

⁴ J. Mendoza, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, jmmf@gmail.com.

Es común utilizar el almidón en la elaboración de biopelículas para empaques comestibles, pero han surgido también investigaciones encaminadas hacia el desarrollo y estudio de las propiedades conductoras que este material puede llegar a adquirir [4], [5]. En la mayoría de estudios que se han hecho, las películas de almidón son no conductoras, pero los estudios que se han hecho como biopolímero conductor (conductor iónico sólido) han atraído la atención porque se obtienen propiedades eléctricas y mecánicas favorables y además, porque el almidón es un polímero natural, abundante, renovable, económico y biodegradable.

La conducción en este biopolímero es por movilidad iónica, es decir, el transporte de carga tiene lugar mediante el salto de los iones (átomos cargados positiva o negativamente) a posiciones vecinas accesibles en la estructura del material. Para que tenga lugar, por tanto, el transporte o difusión de iones en estos materiales, se deben satisfacer algunas características. Los sólidos conductores iónicos deben presentar una estructura que sostenga mecánicamente al material pero que a su vez tenga posiciones accesibles a los iones que están vacías, para permitir un desplazamiento de iones portadores de carga a través de la estructura del material [6].

La capacidad de conducir la electricidad mediante conducción iónica, hacen a los biopolímeros conductores muy atractivos para el desarrollo de nuevas tecnologías, es el caso de los acumuladores electroquímicos de carga, que necesitan un medio que transporte iones para su funcionamiento [7]. Por ello en esta investigación se propone su uso para esa finalidad.

Los polímeros conductores tales como polipirrol (PPy), polianilina (Pani), etc., también han sido estudiados ampliamente en las últimas tres décadas, debido a sus potenciales aplicaciones en sensores, dispositivos ópticos, y pilas recargables. Ya que estos experimentan un proceso de reducción/oxidación a medida que intercambian iones con el medio [8]. Muchos trabajos han mostrado que el polipirrol es un excelente material para ser empleado como electrodo de dispositivos de almacenamiento de carga con electrolito de litio. Aunque son muy escasos los avances donde se emplea junto con biopolímero de almidón.

El propósito principal por el cual se ha llevado a cabo este trabajo, es desarrollar un acumulador electroquímico de carga a partir de un biopolímero, en el cual se utilizan electrodos de polipirrol, y como medio electrolítico sólido el almidón de yuca. Buscando disminuir de esta forma, los agentes

contaminantes que están involucrados en la obtención de las baterías, y que son muy comunes en el uso de nuestro diario vivir, además de ser una solución alternativa frente a los problemas energéticos y ambientales descritos anteriormente.

Inicialmente se sintetizaron las películas de almidón de yuca por medio del método de síntesis química. En general los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión, conductividad y resistencia, entre otros, por ello fue necesario hacer la síntesis de las películas de almidón a través de la adición de algunos agentes (glutaraldehído, glicerol y polietilenglicol). De otra parte, se sintetizaron las películas de polipirrol (PPy) con los contra aniones (pTS) e (IC), y se realizó la caracterización electroquímica de cada uno de estos materiales empleando las técnicas electroquímicas de voltametría cíclica (VC) y espectroscopia de impedancia (EIE), para evaluar su desempeño como materiales con potencial para ser utilizados en un acumulador electroquímico.

II. METODOLOGÍA

El almidón de yuca fue extraído mediante el método tradicional, que comprende las operaciones básicas de lavado, pelado, rallado, decantación, secado y molienda. La calidad del producto fue evaluada mediante la norma técnica ISO 6647 [9]. El glicerol (GLY), glutaraldehído (GLU), polietilenglicol (PEG) y perclorato de litio (LP) fueron adquiridos de Sigma-Aldrich. Para la síntesis de las biopelículas fue necesario adecuar el agua aumentándole su pH hasta 9. La adición de GLY, GLU, PEG y LP, se realizó a temperatura ambiente y agitación constante. Las disoluciones fueron calentadas a una temperatura controlada de 70.0 ± 5.0 °C durante 15 min y luego fueron vertidas en bandejas de teflón, para calentarlas en una estufa a 70°C durante 48 h. En esta investigación se emplearon tres mezclas diferentes cambiando la concentración de LP, debido principalmente a que estas proporcionan excelentes propiedades eléctricas descritas en investigaciones anteriores [4].

Para la síntesis electroquímica del polipirrol (electrodos para el acumulador), se empleó la cronoamperometría sobre una placa de acero inoxidable pulido de dimensión 2 cm x 2 cm. Las películas de polímero se electrodepositaron sobre estas placas. Las películas de PPy/pTS fueron sintetizadas a partir de una disolución de 0.1 mol l^{-1}

de pirrol y 0.1 mol l^{-1} de pTS. El proceso de polimerización se llevó a cabo a temperatura ambiente a un potencial de 0.8 V durante 5000 s, empleando un electrodo de referencia de Calomel KCl saturado, y como contraelectrodo y sustrato se utilizaron placas de acero inoxidable de 2 cm x 2 cm.

Una vez sintetizadas las películas de PPy, estas fueron lavadas con agua ultrapura (Milli-Q) y luego introducidas en una solución 0.1 M LiClO_4 para la polarización de los electrodos. Este proceso fue llevado a cabo a un potencial de 0.5 V durante un tiempo de 600 s, convirtiendo la película de PPy/pTS en una película totalmente oxidada (cátodo). Por otro lado, las películas de PPy con indigo carmín (PPy/IC) fueron sintetizadas mediante un procedimiento similar al descrito para las películas de PPy/pTS, con la única diferencia de que para estas películas la polarización fue llevada a cabo a -1.3 V durante un tiempo de 600 s, lo que nos permitió tener una película totalmente reducida (ánodo).

III. RESULTADOS

1. Síntesis química de las películas de almidón

Durante el proceso de síntesis de las películas de almidón, fue observado que las condiciones ambientales de humedad, afectan significativamente la estabilidad de las películas haciéndolas más flexibles a mayor humedad en los primeros 3 días. En el momento en que las películas de almidón son sintetizadas tienen un comportamiento flexible, que se le atribuye a la adición de plastificante (glicerol), debido a la capacidad que tiene éste de reducir los enlaces de hidrogeno entre las cadenas de glucosa del almidón y de aumentar el espacio entre las moléculas [10], [11].

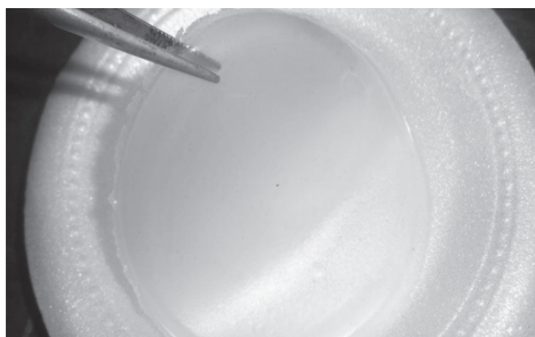


Fig. 1. Apariencia física de una película de almidón de yuca

Una vez sintetizadas las biopelículas presentan una apariencia completamente transparente como se puede apreciar en la figura 1, pero a partir del tercer

día estas toman un color amarillento y opaco, además de que exudan un líquido sobre su superficie, esto es quizás debido al exceso en la concentración de plastificante, lo cual provoca la separación de las fases y la exclusión física de dicha sustancia [12].

2. Síntesis electroquímicas de las películas de polipirrol

Durante el proceso de electropolimerización de las películas de PPy se generaron curvas cronoamperométricas, las cuales son típicas en este tipo de procesos [13]. En la Fig. 2., se presenta la curva de electropolimerización cronoamperométrica de una película de PPy/pTS, en esta se observan tres zonas; una primera zona I que corresponde al aumento abrupto de la corriente atribuido a procesos como la oxidación de los electrodos metálicos, debido al medio acuoso y a la oxidación de los monómeros. Un segundo proceso (Zona II) donde tiene lugar el fenómeno de nucleación del polímero (adherencia del polipirrol sobre el electrodo de acero) y finalmente un tercer proceso debido al crecimiento continuo y gradual de la película de polipirrol (Zona III).

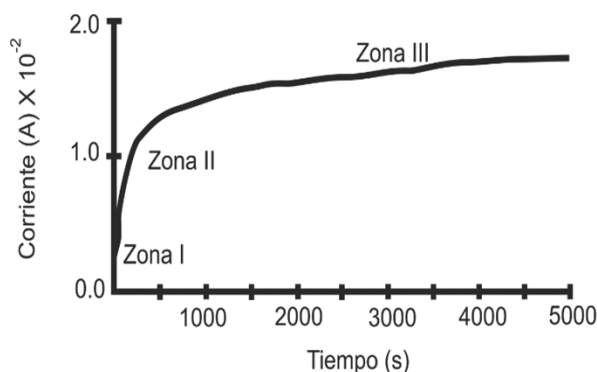


Fig. 2. Electropolimerización de polipirrol (Py) dopada con pTS (PPy/pTS) a un potencial de 0.8 V durante 5000 s

Los espesores para las películas de pirrol dopadas con pTS fueron aproximadamente de $48.5 \mu\text{m}$, mientras que para las películas de pirrol dopadas con IC los espesores fueron aproximadamente a $47.68 \mu\text{m}$. Los espesores se determinaron a partir de la siguiente ecuación (1), correspondiente a la derivada de la primera ley de Faraday:

$$d = \frac{QM}{2F\rho M} \quad (1)$$

Donde Q es la carga específica por unidad de área polimerizada, M es la masa molar del pirrol ($67 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$), F la constante de Faraday y ρM la

densidad másica del pirrol (1500 kg/m^3). Esto implica una proporcionalidad directa entre la carga consumida y la cantidad de polímero depositado, asumiendo que en el proceso está implicado un mecanismo de 2 electrones de la molécula de monómero y que la eficiencia de la corriente es 100% [13], [14]. Al momento de la electropolimerización, el polipirrol depositado se va oxidando a medida que crece más polímero sobre él, es decir, después de la electropolimerización el polipirrol obtenido queda en un estado levemente oxidado.

El tiempo de polimerización condiciona de forma importante la resistencia final de la película de polipirrol. Puesto que las películas sintetizadas con tiempos de polimerización bajos, poseen una elevada resistencia producto a la menor cantidad de polímero depositado en los sustratos [15].

El polipirrol como material electroactivo puede ser oxidado o reducido alcanzando diferentes estados redox. Esta propiedad es importante en la aplicación de este material como electrodo, debido a que permite oxidarlo o reducirlo pudiendo ser utilizado como ánodo o cátodo. Al mantener la película de polipirrol a un potencial negativo de voltaje esta es reducida, en el caso de aplicar un potencial positivo de voltaje es oxidada. Por ello, al aplicar potenciales negativos a las películas de PPy/IC, los cronogramas comienzan con corrientes negativas y van evolucionando hacia corrientes cero, momento en el cual indica que la película se ha reducido totalmente. Caso contrario para los potenciales positivos aplicados a las películas de PPy/pTS, en este caso los cronogramas comienzan con corrientes positivas y van aumentando hasta llegar a una corriente cero, lo que indica el estado de oxidación completo de la película.

3. Análisis de las propiedades electroquímicas de las películas de almidón de yuca

El análisis electroquímico de las películas de almidón fue realizado para cada una de las mezclas utilizadas y para las películas de almidón preparadas como blanco (con solo un componente) y las sustancias puras. Como resultado de este estudio, se observó una ausencia de electroactividad con movimiento de cargas (no farádico) en las películas sintetizadas solo con almidón (Fig. 3. a.). Cuando se prepararon películas de almidón con alguno de los componentes (glicerol, polietilenglicol o perclorato de litio) las voltametrías registradas mostraron un proceso redox en las películas (Fig. 3. b.). Sin

embargo, cuando se hizo este mismo análisis sobre cada uno de los componentes de manera independiente, no se observó ningún tipo de actividad redox.

Este comportamiento puede ser debido a que la adición de componentes en las películas de almidón genera una reacomodación de las cadenas poliméricas produciendo posibles cambios en la estructura y por ende en sus propiedades electroquímicas. Estos resultados no han sido reportados en la literatura y ameritan ser foco de futuras investigaciones con técnicas espectrofotométricas y espectroscópicas para dilucidar el mecanismo redox en mención y los posibles cambios estructurales.

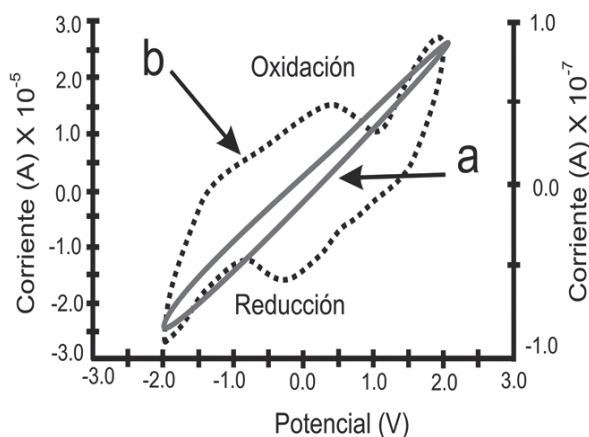


Fig. 3. Voltamograma película de almidón (a) sin aditivos (b) almidón más glicerol (b)

En los voltamogramas de las películas de almidón elaboradas con todos los componentes, se observó que a medida que aumenta la cantidad de éstos, los picos correspondientes a los procesos de oxidación y reducción se registran más agudos, quizás debido a un aumento de las interacciones entre las moléculas de los aditivos y la cadena polimérica de almidón.

Para evaluar la estabilidad electroquímica de las películas, se evaluó su comportamiento voltamétrico durante 10 días seguidos y se observaron cambios en su comportamiento hasta el sexto días. Los voltamogramas registrados en los primeros días muestran picos anchos y poco definidos, mientras que del sexto día en adelante, los picos se presentan mejor definidos y con mayor intensidad. Este fenómeno puede ser debido a que las películas recién sintetizadas pasan por un proceso de reacomodamiento de carga en la matriz polimérica, lo cual genera una mayor eficiencia en el transporte de éstas, lo que explica la mayor intensidad en las señales y el cambio de la electroactividad. (Fig. 4.).

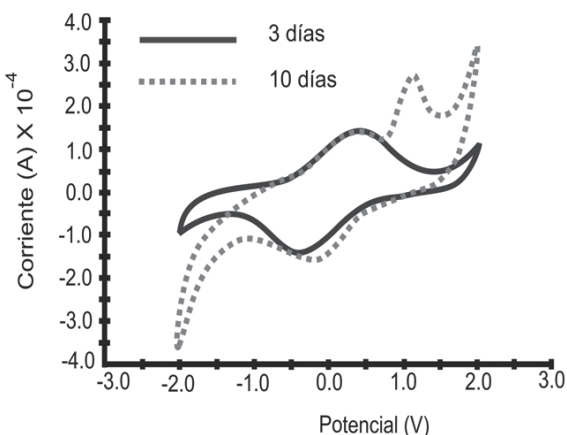


Fig. 4. Voltamograma película de almidón composición 1 espesor 1.2 mm

Por otra parte, al realizar el análisis de EIE a las películas sintetizadas con almidón y sin aditivos se observó una alta resistencia eléctrica (6.50×10^6 ohm). Mientras que las películas sintetizadas con todos los aditivos glicerol, glutaraldehído o polietilenglicol, mostraron una disminución de la resistencia eléctrica en dos órdenes de magnitud (8.69×10^4 ohm) con respecto a la sintetizada sin ellos. Adicionalmente, en la película sintetizada con almidón y perclorato de litio la resistencia eléctrica bajo cuatro órdenes de magnitud respecto a la que contiene solo almidón (1.59×10^2 ohm). Este cambio significativo de la conductividad eléctrica es debido a que los aditivos mejoran las propiedades de transporte de carga en la matriz polimérica y en el caso del perclorato de litio, la naturaleza iónica de esta sal hace que la conductividad se incremente drásticamente [7].

Adicionalmente, el análisis de EIE mostró un cambio en los mecanismos de transporte de carga. El mecanismo de las películas sintetizadas únicamente con almidón, presenta un mecanismo típico compuesto por una resistencia debida al paso de electrones del sustrato a la película a un sistema de condensador en serie con una resistencia y una resistencia de Warberg, producidas por las resistencias de paso de las cargas a través de la matriz polimérica (Fig. 5.a.). Las películas sintetizadas con aditivos, mostraron un comportamiento semejante a las sintetizadas solo con almidón. Sin embargo, las películas sintetizadas con perclorato de litio como aditivo, presentaron un comportamiento drásticamente diferente, mostrando un mecanismo de tipo resistivo, compuesto por una resistencia debida al paso de electrones del sustrato a la película y un elemento de fase constante producto posiblemente de la formación de capacitancia

generadas por rugosidades o superficies heterogéneas en la película (Fig. 5.b.). Este cambio en el mecanismo de transporte es evidencia de que la adición de sal de litio aumenta la conductividad y la cinética de movimiento de cargas en la matriz polimérica debido a la presencia de iones.

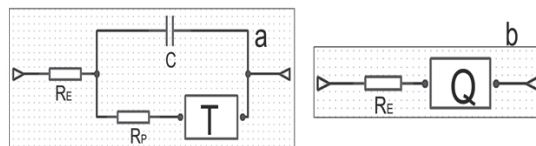


Fig. 5. Circuito equivalente: (a) película solo de almidón, (b) película de almidón con litio.

En cuanto a las diferencias producidas por las diferentes proporciones de mezclas, no se apreciaron diferencias significativas entre éstas.

4. Análisis de VC y EIE de las películas de polipirrol

En cuanto al análisis de VC de los electrodos de polipirrol realizados en una solución 0.1 M de LiClO_4 polimerizado en disco de platino, se puede observar claramente dos procesos redox tanto para el ánodo como el cátodo, pero en el caso de la onda anódica (oxidación o proceso I) de ambos electrodos, no se aprecian con claridad los dos procesos, se observa un pico ancho (pico I), donde posiblemente se solapa dos fenómenos de oxidación.

Caso contrario en la onda catódica (proceso II) de la película de PPy/pTS, se puede observar los dos procesos (pico 2 y pico 3) bien definidos y que corresponden a dos procesos de reducción de PPy. (Fig. 6).

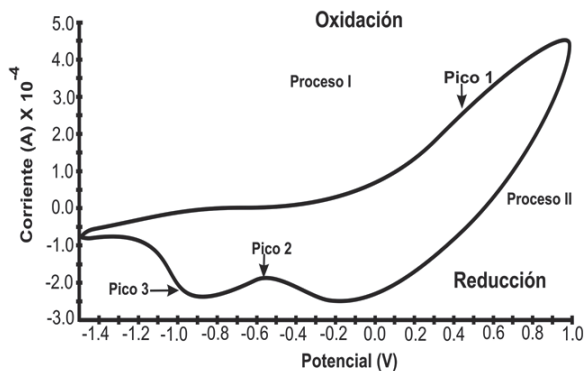


Fig. 6. Voltamograma película de PPy - pTS empleado como cátodo del acumulador

De la misma forma en la Fig. 7. se muestra el Voltamograma de la película de PPy dopada con IC, en este caso tanto en la onda anódica (proceso I) como en la onda catódica (proceso II), no se puede observar con claridad estos dos procesos, pero si se puede ver un pico ancho que igual al caso anterior posiblemente estos dos procesos se sobreponen.

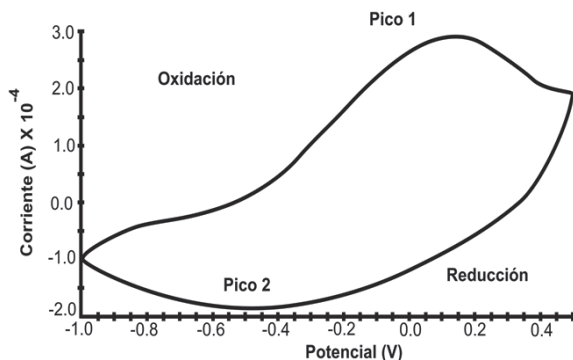
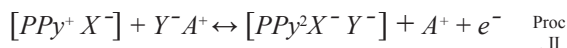
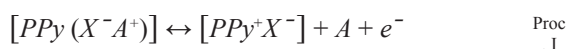


Fig. 7. Voltamograma película de PPy - IC empleado como ánodo del acumulador

La naturaleza de los procesos electroquímicos que tienen lugar durante la oxidación/reducción de las películas de pirrol no ha sido aún determinado, aunque se puede interpretar con el modelo del polarón/bipolarón, según el cual la oxidación parcial de la cadena polimérica conduce a la formación de un polarón, es decir, una asociación de un electrón no localizado y una carga positiva. Al eliminar un segundo electrón (segunda oxidación) de la misma sección de cadena polimérica, puede formarse un segundo polarón independiente del ya existente, o puede ocurrir que se elimine el electrón deslocalizado para formar un dicatión o bipolarón.

Durante el primer proceso de oxidación/reducción, que tiene lugar a más bajo potencial (Proceso I), el anión dopante se encuentra atrapado en la matriz polimérica, de modo que para mantener la electroneutralidad, el polímero intercambia cationes con el medio. En el segundo proceso de oxidación/reducción de la película (Proceso II), la matriz polimérica intercambia aniones con el medio y así mantiene su electroneutralidad [9]. El mecanismo propuesto se puede representar de la siguiente manera.



Los resultados de EIE realizado a las películas de pirrol y que se muestran en la Fig. 8., describe un

mecanismo de transferencia de iones equivalente a un circuito resistivo capacitivo para el cátodo y con tendencia más capacitiva para el ánodo. Lo que comprueba que ambos materiales son apropiados para ser empleado como electrodos del acumulador.

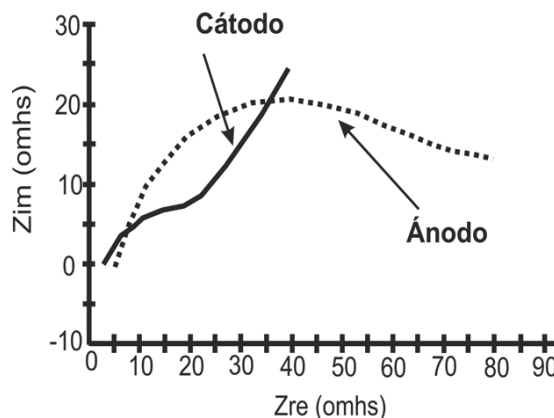


Fig. 8. EIE electrodos (cátodos y ánodo)

En la TABLA I se muestra los valores de conductividad de los electrodos, y que fue calculado a partir de los valores de resistencia de la gráfica de EIE. La conductividad de estos materiales es semejante a lo reportado en la literatura, mostrando una conductividad mayor para el cátodo en comparación con el ánodo.

TABLA I.
 CONDUCTIVIDAD DE LAS PELÍCULAS DE POLIPIRROL EMPLEADA COMO ELECTRODOS EN EL ACUMULADOR

Conductividad Películas de Polipirrol		
Electrodo	Resistencia [Ohm]	Conductividad [S cm ⁻¹]
PPy/pTS	5.397	2.22X10 ⁻⁴
PPy/IC	7.009	1.71X10 ⁻⁴

IV. CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron películas poliméricas con propiedades conductoras que variaron en un rango de 1.28x10⁻³ Scm⁻¹ a 8.61x10⁻⁴ Scm⁻¹ clasificándolo de acuerdo a la escala de conductividad como materiales semiconductores. Por otro lado presentaron comportamiento estable y homogéneo.

Para los ensayos de VC realizado a las películas de almidón se detalla la presencia de procesos redox

(Oxidación y reducción) que permite la acumulación de carga en el dispositivo armado, estos picos de potenciales se ven más definidos y estables a los 10 días de su elaboración. Con esto se garantiza la buena funcionalidad de estas películas como electrolito sólido polimérico del acumulador. De la misma manera los mecanismos de transferencia de carga cambian de resistivo-capacitivo a netamente resistivo según la composición del biopolímero, y se debe a la movilidad iónica del litio en la matriz del polímero,

Los electrodos de pirrol dopado con pTS e IC al igual que las películas de almidón presentan propiedades redox que permiten su oxidación y reducción reversible lo que muestra su excelente comportamiento como electrodos.

V. REFERENCIAS

- [1] J. Padilla Martínez, R. García Valverde, A. J. Fernández Romero y A. Urbina Yeregui, Polímeros conductores Su papel en un desarrollo energético sostenible, Barcelona: Reverté, 2012, pp. 87-103.
- [2] I. Sultana, M. Mokhesur Rahman, J. Wang, C. Wang, G. G. Wallace y H.-K. Liu, «All-polymer battery system based on polypyrrole (PPy)/para (toluene sulfonic acid) (pTS) and polypyrrole (PPy)/ indigo carmine (IC) free standing films, » *Electrochimica Acta*, vol. 83, pp. 209-215, 2012.
- [3] L. Hu, H. Wu, F. La Mantia, Y. Yang, Y. Cui, «Thin, Flexible Secondary Li-Ion Paper Batteries,» *American Chemical Society*, vol. 4, n° 10, pp. 5843-5848, 2010.
- [4] A. A. Arrieta Almario, P. Gañán, S. Márquez y R. Zuluaga, «Electrically Conductive Bioplastics from Cassava Starch,» *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 22, n° 6, pp. 1170-1176, 2011.
- [5] Y. V. García Tejeda, P. B. Zamudio-Flores, L. A. Bello Pérez, C. A. Romero Bastida y J. Solorza Feria, «Oxidación del Almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de Materiales de Empaque Biodegradable: Caracterización Física, Química, Térmica, y Morfológica,» *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 12, n° 3, pp. 125-135, 2011.
- [6] F. Gray, *Solid Polymer Electrolytes, Fundamental and Technological Applications*, University of St. Andrews: VCH Publishers, 1991.
- [7] J. M. S. Prabaharan y S. Radhakrishna, «Effect of PEO addition on the electrolytic and thermal properties of PVDF-LiClO₄ polymer electrolytes, » *Solid State Ionics*, vol. 104, pp. 267-276, 1997.
- [8] F.D. Eramo, T.F. Otero, «Síntesis y almacenamiento de carga de la nueva aleación polipirrol/poli (ácido maleico-olefina),» *Cerámica y Vidrio*, vol. 39, pp. 377-381, 2000.
- [9] O. García, M. Pinzón, L. Sánchez, «Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, Manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles, » *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 11, pp. 13-21, 2013.
- [10] P.M. Forssell, S.H.D. Hulleman, P.J. Myllarinen, G.K. Moates, R. Parker, «Ageing of rubbery thermoplastic barley and oat starches, » *Carbohydr. Polym.*, vol. 39, pp. 43-51, 1999.

- [11] P. Myllarinen, R. Partanen, J. Seppala, P. Forssell, «Effect of glycerol on behaviour of amylose and amylopectin films, » *Carbohydr. Polym.*, vol. 50, pp. 355-361, 2002.
- [12] R. Velasco, M. Enriquez, A. Torres, L. Palacios, J. Ruales, «Caracterización morfológica de películas biodegradables a partir de almidón modificado de yuca, agente antimicrobiano y plastificante, » *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 10, pp. 152-159, 2012.
- [13] A. A. Arrieta, Tarazona R., «Study of kinetic formation and the electrochemical behavior of polypyrrole films, » *J. Chil. Chem. Soc.*, vol. 54, n° 1, pp. 14-19, 2009.
- [14] S. D. Bertel Hoyos y J. A. Segura Bermúdez, «Desarrollo y caracterización espectroscópica de un músculo artificial tricapa,» Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba, 2009.
- [15] A. GUADARRAMA, «Análisis sensorial del aceite de oliva virgen y de vinos de calidad mediante redes de sensores de polímeros conductores,» Tesis PhD, Universidad de Valladolid, 2001.

BIOGRAFÍA



Álvaro Ángel Arrieta Almario, Licenciado en Química y Biología de la Universidad de Córdoba/Montería. PhD. de la Universidad de Valladolid, Estudios en Química Avanzada. Postdoctorado Universidad de Valladolid. Docente interno del centro de Ciencia Básica de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería. Coordinador del grupo de

Investigación DANM de la Universidad Pontificia Bolivariana – Montería. Concejero de Colciencias.



Andrés Felipe Jaramillo Muñoz, Ingeniero Mecánico de la Universidad Pontificia Bolivariana, Miembro de apoyo del grupo de Investigación DANM/ Desarrollo y Aplicación de Nuevos Materiales. Con desempeño en la línea de investigación de acumuladores electroquímicos de carga a partir de biopolímeros de almidón de yuca.



Oscar Camilo Fuentes Amin, Ingeniero Electrónico. Joven investigador miembro de apoyo en los grupos DANM y GIE (Grupo de Investigación Electrónica) de la Universidad Pontificia Bolivariana – Montería. Con desempeño en la línea de investigación “narices y lenguas electrónicas”.



Jorge Mario Mendoza Fandiño, Ingeniero Mecánico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Candidato a doctor de la Universidad del Norte en el área de energías renovables a partir de la gasificación de biomasa residual. Miembro de apoyo del grupo de Investigación OPUREB/ Optimización

de procesos y uso racional de la energía y biomasa