

Construcción de un electrodo combinado POSAI-POSAI para microvaloraciones ácido-base

Elaboration of a POSAI-POSAI combined electrode for acid-base microtiter

*José de Jesús Pérez-Saavedra¹
Sonia Rincón-Arce²
Humberto Tenorio-Mora³*

*Fecha de recepción: 23 de enero del 2013
Fecha de aprobación: 14 de abril del 2013*

*Pérez, J; Rincón, S; Tenorio, H. Construcción de un electrodo combinado POSAI-POSAI para microvaloraciones ácido-base. *Tecnología en Marcha*. Vol. 26, N° 4. Pág 3-12*

- ¹ Químico Farmacéutico, Biólogo. Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan-UNAM. México. Tel. 52 (55)56232013. Correo electrónico: quimicaa@unam.mx.
- ² Licenciada en Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan-UNAM. México. Tel. 52 (55)56232013. Correo electrónico: rincon@unam.mx.
- ³ Licenciado en Ingeniería Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan-UNAM. México. Tel. 52 (55)56232013. Correo electrónico: betocles_87@hotmail.com.

Palabras clave

Microvaloraciones; potenciometría; ácido-base; OSAl.

Resumen

Se presenta el diseño, construcción y ensayo de un electrodo combinado constituido por dos electrodos de Película de Óxidos Sobre Acero Inoxidable (POSAl), uno funcionando como electrodo indicador y el otro como electrodo de referencia. Este electrodo combinado se utiliza para realizar microvaloraciones potenciométricas ácido base (ácido acético y ácido fosfórico con hidróxido de sodio, acetato de sodio con ácido nítrico). A los resultados obtenidos se les aplica la "prueba estadística t de Student", la cual muestra que no existe diferencia significativa con las microvaloraciones llevadas a cabo con un electrodo convencional de vidrio.

Key word

Micropotentiometry; potentiometric; acid/base; POSAl.

Abstract

We present the design, construction and testing of a combined electrode oxide films over stainless steel (POSAl) as indicator electrode and reference electrode. This electrode is used to make micropotentiometry acid/base (acetic acid and phosphoric acid with sodium hydroxide, sodium acetate with nitric acid). A "t Student test" was applied, showing that there is no significant difference with micropotentiometry carried out with a conventional glass electrode.

Introducción

Las innovaciones potenciométricas, como toda área científica, se encuentran en constante evolución, y más en esta época de grandes cambios y profunda evolución tecnológica. Una revisión de la literatura actual nos muestra como científicos de diversos países están desarrollando electrodos selectivos de iones para cuantificar metales y metaloides, tales como el mercurio (Abdelhameed, 2006), arsénico (Barrado, Rodríguez, Quinaz y Lima, 2006), plomo (Yanping, Wanzhi, Xiaohua, Jinxiang y Jian, 2007), aluminio (Guptam, Jain y Maheshwari, 2007), arseniato (Mazloum, Karimi, Mashhadizadeh, Pesteh y Kazemian, 2007), cobre (Lukomska y Plewka, 2009), plomo y cadmio (Bas, Jakubowska, Jez y Ciepiela, 2010); así como la proporción de Fe^{III}/Fe^{II} en tintas de manuscritos antiguos (Burgaud, Rouchon, Wattiaux, Bleton, Sabot y Refait, 2010); haciendo ajustes potenciométricos de fuerza iónica y pH para absorber, mediante resinas de intercambio iónico (amberlita), residuos de herbicidas tales como alaclor, trifluralina y prometrina (Kyriakopoulos, Doulia y Hourdakakis, 2006); o biosensores de peroxidasa

para determinar el efecto que ejercen los residuos de petróleo sobre los peces (Bulukin, Bagni, Jonsson, Baussant y Mascini, 2006). Por otro lado, se fabrica y caracteriza electroquímicamente un electrodo "nano-gold modified glassy carbon", que se utiliza para la determinación de nitritos en agua de lluvia (útil para determinar la acidez de la lluvia) encontrando su uso simple, rápido y exacto (Na-Jiang Y, Qun-Luo H. y Nian-Bing, 2007)

Otros investigadores realizan trabajos para que, mediante titulaciones potenciométricas, se pueda cuantificar la absorción de metales tales como Cd, Ca, Cu, Pb, Sr y Zn a través de consorcios bacterianos, modificando el pH (Johnson, Szymanowski, Borrok, Terriy y Jeremy, 2007).

Medicamentos tales como los antibióticos (amoxicilina) y el citrato de sildenafil (Viagra) son materia de investigación por potenciometría o electrodos selectivos de iones (Altiokka, Nafiz y Hassan, 2007) y algunos investigadores (Sakandar, Nawaz, Kalsoom, Muhammad y Khalid, 2007) elaboran sensores potenciométricos de glucosa con base en una

mezcla óxido de estaño/óxido de estaño-indio y un mediador enzimático, por medio del cual la señal obtenida es asociada con el pH del medio de medida (Cheng-Wei, Jung-Chuan, Tai-Ping, Shen-Kan y Jui-Hesiang, 2007), o bien determinan la glucosa utilizando un electrodo basado en el uso de nanocinturones de cobre (Ting-Kai, Kuan-Wen, Sze-Ping, Ta-Ming, I-Chun, You-Zung, Chi-Young y Hsin-Tien, 2009), otros metabolitos determinados por potenciometría son la dopamina (Lupu, Del Campo y Muñoz, 2010) y la úrea (Xin, Zhengpeng y Shihui, 2009), esta última utilizando una película de TiO_2 .

Hay grupos de investigación que utilizan los métodos potenciométricos para determinar la cantidad de acidez en la lluvia (Campos, Costa, Tavar y Tania, 2007), por ejemplo, en Recôncavo, Bahía, Brasil, los cuales reportan una variación de 1% hasta 88%, dependiendo del lugar donde se tome la muestra.

Con esta breve revisión del quehacer científico se puede percibir que las innovaciones potenciométricas son tema de actualidad para diversos grupos de investigadores en diferentes partes del mundo; así como la alta versatilidad en cuanto a análisis y matrices por estudiar mediante técnicas potenciométricas, que tienen en común el hecho de que sus proyectos son caros y sofisticados.

Nuestro grupo de investigación ha desarrollado sensores de pH, en base a películas de óxidos sobre acero inoxidable 316 (POSAI-316) (Pérez, García y Márquez, 1997), (Pérez y Rosales, 1998), (Cerón, Rosal, Pérez y Galán, 1999), (Pérez y Rincón, 2003), (Pérez, Rincón, Hernández y Romero, 2011), (Romero, López, Rincón, Pérez, Pescador y Pérez, 2012), sencillos de elaborar, de bajo costo y con una gran versatilidad en su diseño estructural. En continuidad con estos trabajos, en este artículo presentamos los resultados obtenidos en la valoración potenciométrica de ácido acético y ácido fosfórico con hidróxido de sodio y de acetato de sodio con ácido nítrico utilizando un electrodo combinado POSAI-POSAI y la comparación estadística con los resultados obtenidos de las mismas valoraciones, utilizando un electrodo comercial de vidrio para medir el pH.

Objetivo general

Diseñar una arquitectura para elaborar un electrodo combinado POSAI-POSAI con el cual se puedan llevar a cabo microvaloraciones ácido-base.

Objetivo específicos

- Generar una metodología, con base en referencias bibliográficas, para estructurar un electrodo combinado POSAI-POSAI, con el fin de utilizarlo en microvaloraciones ácido-base.
- Comprobar el funcionamiento del electrodo combinado POSAI-POSAI en microvaloraciones ácido-base y comparar los resultados obtenidos estadísticamente con los del electrodo comercial de membrana de vidrio.

Metodología y resultados

Tratamiento de dos alambres de acero 316

Con pinzas se cortan dos alambres de acero 316, calibre 14 3/4 (equivalente a 75 milésimas) de 6 cm cada uno; se sumergen en una mezcla de trióxido de cromo (CrO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) por 17 minutos a 70°C (Pérez et al., 1998) con la película de óxido sobre ellos y se almacenan en una solución de hidróxido de sodio 0.1 M.

Determinación experimental de la Linealidad y el Tiempo de Recuperación de los POSAI

Con el aditamento mostrado en la figura 1 y conectando los POSAI elaborados como se muestra en la figura 2 se mide, por duplicado, el potencial de cinco soluciones buffer (pH 2, 4, 7, 10 y 12); con los resultados obtenidos se determina la pendiente, correlación y ordenada al origen. Se repite el procedimiento pero invirtiendo el orden de las medidas de las soluciones buffer (pH 12, 10, 7, 4 y 2). Esto se repite por tres días consecutivos y los resultados se muestran en la cuadro 1.

Estructuración del electrodo combinado POSAI-POSAI

El electrodo combinado POSAI-POSAI se construye conectando uno de los alambres como electrodo indicador (cátodo) y el otro como electrodo de referencia (ánodo) hacia el cable coaxial, que a su vez se conecta al potenciómetro (como se muestra en la figura 3) para la toma de lectura.

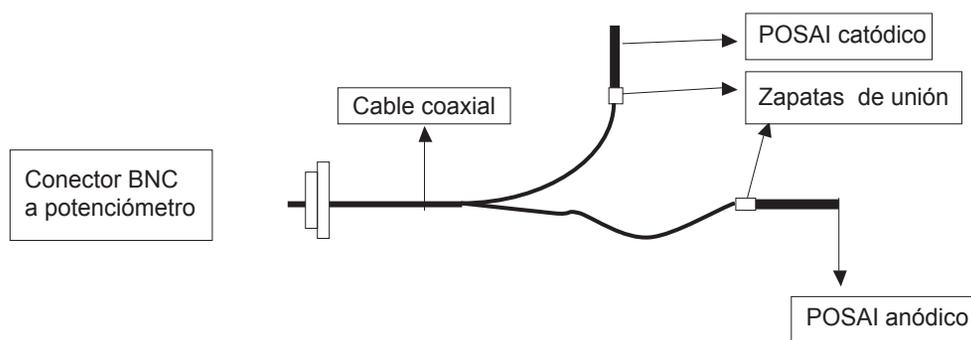


Figura 1. Aditamento utilizado para la conexión de los electrodos POSAI-POSAI al potenciómetro.

1. y 7 Caimanes
2. Electrodo POSAI indicador
3. Electrodo POSAI referencia
4. Puente salino agar-agar
5. Vaso de vidrio de fondo cóncavo
6. Solución Buffer pH variable
8. Potenciómetro Oakton
9. Agitador magnético
10. Barra magnética de 5 x 2mm
11. Solución de Buffer pH constante
12. Vaso de vidrio de fondo cóncavo

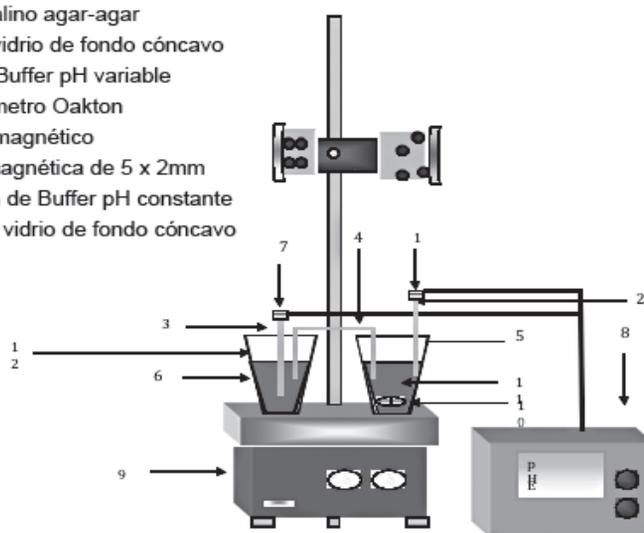


Figura 2. Montaje experimental utilizado para determinar la linealidad y tiempo de recuperación del electrodo POSAI-POSAI elaborado.

Cuadro 1. Determinación experimental de la Linealidad y Tiempo de Recuperación de los POSAI.

EVENTO/DÍA	1	2	3	PROMEDIO	S
R ² (IDA) *	0,995	0,999	0,997	0,997	0,003
R ² (VUELTA)*	0,97	0,971	0,989	0,977	0,0168
m (IDA)*	-26,2	-22,878	-22,629	-23,9	2,038
m (VUELTA)*	-26,531	-24,981	-24,021	-25,18	2,208
b (IDA)*	100,26	15,033	6,248	40,51	60,83
b (VUELTA)*	93,627	26,911	14,431	44,98	59,39

*Promedio de dos medidas.

Nota: Todos los datos de los cuadros presentados se obtuvieron experimentalmente.

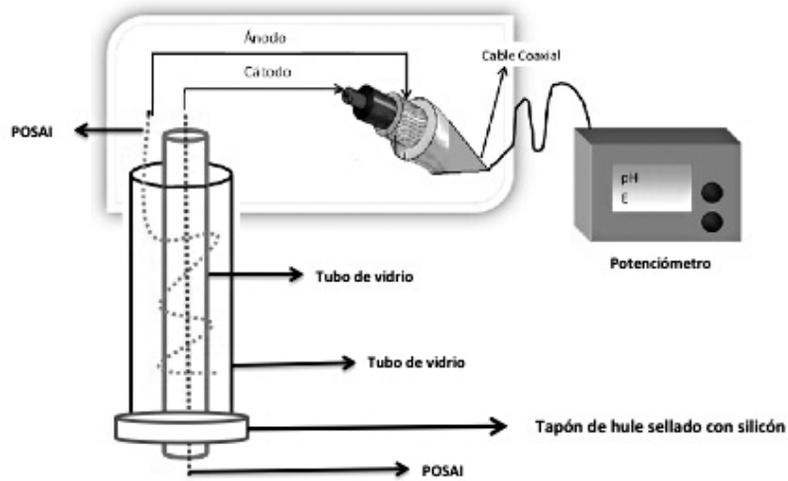


Figura 3. Esquema del electrodo combinado POSAI-POSAI.

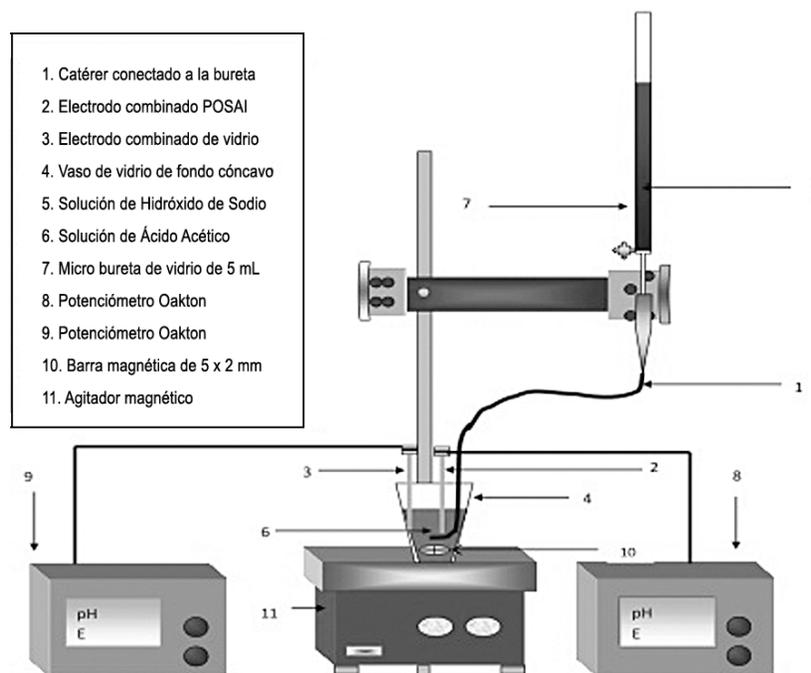


Figura 4. Montaje experimental utilizado para llevar a cabo las valoraciones ácido- base.

Microvaloraciones ácido-base

Se llevan a cabo cinco valoraciones de 4 ml cada una de ácido acético (CH_3COOH) 0.1 M con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M, empleando simultáneamente el electrodo combinado de vidrio y el electrodo POSAI-POSAI para dar seguimiento a la valoración, conectados de manera independiente a un potenciómetro según se muestra en la figura 4.

Mediante el mismo procedimiento se valoran acetato de sodio (CH_3COONa) 0.1 M con ácido nítrico (HNO_3) 0.1 M y ácido fosfórico (H_3PO_4) 0.1 M con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M. Los resultados se muestran en los cuadros 2, 3, 4, 5 y 6 y las figuras 5, 6 y 7.

Cuadro 2. Resultados de cinco valoraciones de 4 mL de ácido acético y ácido fosfórico 0.1 M con hidróxido de sodio 0.1 M y de 4 mL de acetato de sodio 0.1 M con ácido nítrico 0.1 M, utilizando como electrodo indicador un electrodo combinado de vidrio.

Valoración	1	2	3	4	5	Vpe (mL) Promedio	Desviación Estándar "s"
Ácido acético 0.1 M con hidróxido de sodio	3,9	4,15	4,15	4,15	4,15	4,11	0,089
Ácido fosfórico 0.1 M con hidróxido de sodio	4,17	4,125	4,05	4,05	4,05	4,09	0,057
Acetato de sodio 0.1 M con ácido nítrico	3,37	3,375	3,6	3,75	3,6	3,54	0,162

Vpe = Volumen de punto de equivalencia

Cuadro 3. Resultados de los miligramos recuperados de las valoraciones de 4mL de ácido nítrico 0.1 M con hidróxido de sodio 0.1 M y de 4 mL de hidróxido de sodio y acetato de sodio 0.1 M con ácido clorhídrico 0.1 M contra los miligramos esperados y su error porcentual, utilizando un electrodo combinado de vidrio.

Valoración	Volumen promedio obtenido (mL)	Normalidad experimental obtenida $N_1V_1=N_2V_2$	Volumen valorado (mL)	Milimoles experimentales obtenidos (1 X 2)	Milimoles teóricos	Peso molecular	mg esperados (4 X 5)	mg obtenidos (3 X 5)	% de error
Ácido acético con hidróxido de sodio	4,11	0,0973	4	0,388	0,4	60,05	24,02	23,29	3
Ácido fosfórico con hidróxido de sodio	4,09	0,0977	4	0,390	0,4	98	39,2	38,22	2,5
Acetato de sodio con ácido nítrico	3,54	0,1129	4	0,4516	0,4	136,08	54,43	61,45	12,89
Promedio									6,13

Cuadro 4. Resultados de las valoraciones de 4 mL de ácido acético y ácido fosfórico 0.1 M con hidróxido de sodio 0.1 M y de 4 mL de acetato de sodio 0.1 M con ácido nítrico 0.1 M, utilizando como electrodo indicador un electrodo combinado POSAI-POSAI.

Valoración	1	2	3	4	5	Vpe (mL) promedio	Desviación estándar "s"
Ácido acético 0.1 M con hidróxido de sodio	3,95	4,15	4,15	4,15	4,15	4,11	0,089
Ácido fosfórico 0.1 M con hidróxido de sodio	4,17	4,12	4,05	4,05	4,05	4,09	0,057
Acetato de sodio 0.1 M con ácido nítrico	3,37	3,37	3,6	3,75	3,375	3,495	0,172

Cuadro 5. Resultados de los miligramos recuperados de las valoraciones de 4 mL de ácido nítrico 0.1 M con hidróxido de sodio 0.1 M y de 4 mL de hidróxido de sodio y acetato de sodio 0.1 M con ácido clorhídrico 0.1 M contra los miligramos esperados y su error porcentual, utilizando un electrodo combinado POSAI-POSAI.

Valoración	Volumen promedio obtenido (ml)	Normalidad experimental obtenida $n_1V_1 = n_2V_2$	Volumen valorado (ml)	Milimoles experimentales obtenidos (1 x 2)	Milimoles teóricos	Peso molecular	mg esperados (4 x 5)	mg obtenidos (3 x 5)	% de error
Ácido acético con hidróxido de sodio	4,11	0,0973	4	0,388	0,4	60,05	24,02	23,2994	3
Ácido fosfórico con hidróxido de sodio	4,09	0,0977	4	0,390	0,4	98	39,2	38,22	2,5
Acetato de sodio con ácido nítrico	3,495	0,1144	4	0,457	0,4	136,085	54,434	62,1908	14,24
Promedio									6,58

Cuadro 6. Cuadro comparativo que muestra los volúmenes de punto de equivalencia y porcentajes de error de recuperación de miligramos en las valoraciones del ácido acético, ácido fosfórico y acetato de sodio.

Electrodo POSAI-POSAI			Electrodo combinado de vidrio	
Valoración	Volumen promedio obtenido (mL)	% de Error	Volumen promedio obtenido (mL)	% de error
Ácido acético con hidróxido de sodio	4,11	3	4,11	3
Ácido fosfórico con hidróxido de sodio	4,09	2,5	4,09	2,5
Acetato de sodio con ácido nítrico	3,495	14,24	3,54	12,89

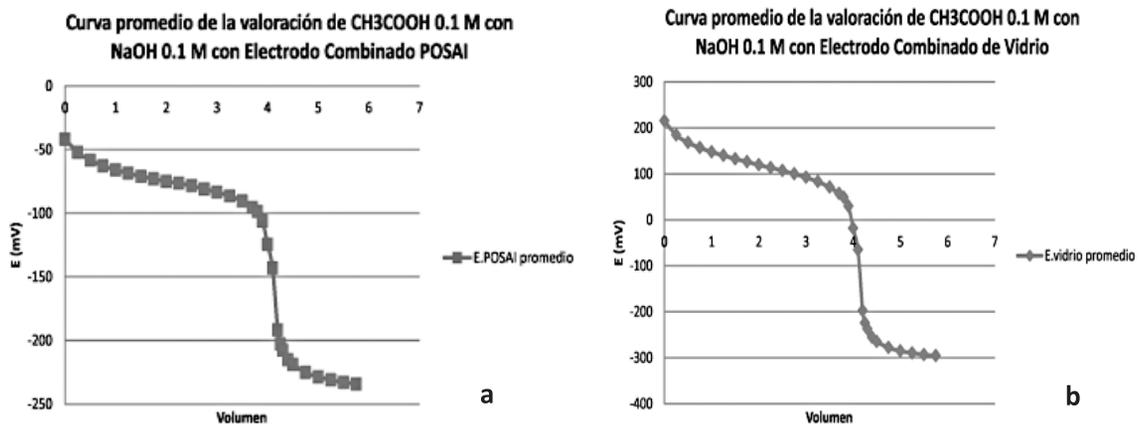


Figura 5. Microvaloraciones potenciométricas con electrodo combinado de vidrio y electrodo combinado POSAI-POSAI de ácido acético con hidróxido de sodio.

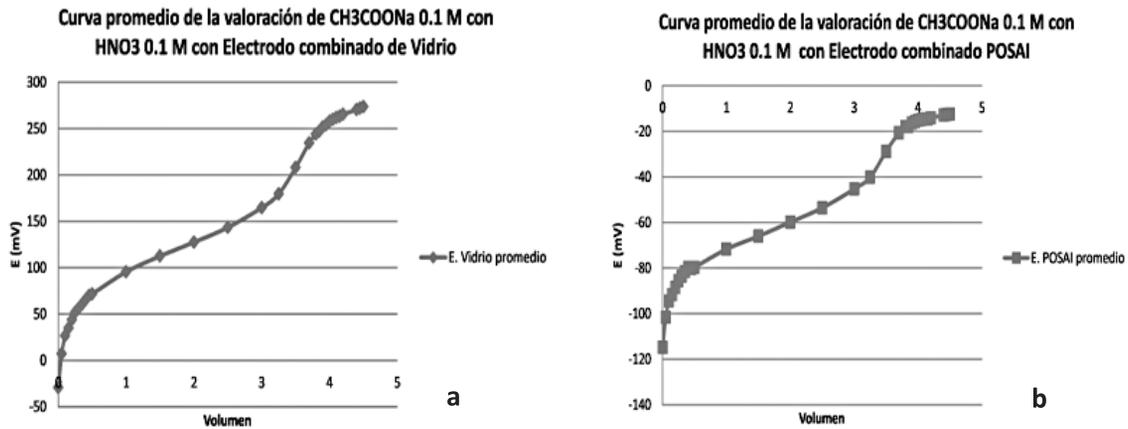


Figura 6. Microvaloraciones potenciométricas con electrodo combinado de vidrio y electrodo combinado POSAI-POSAI de acetato de sodio con ácido nítrico.

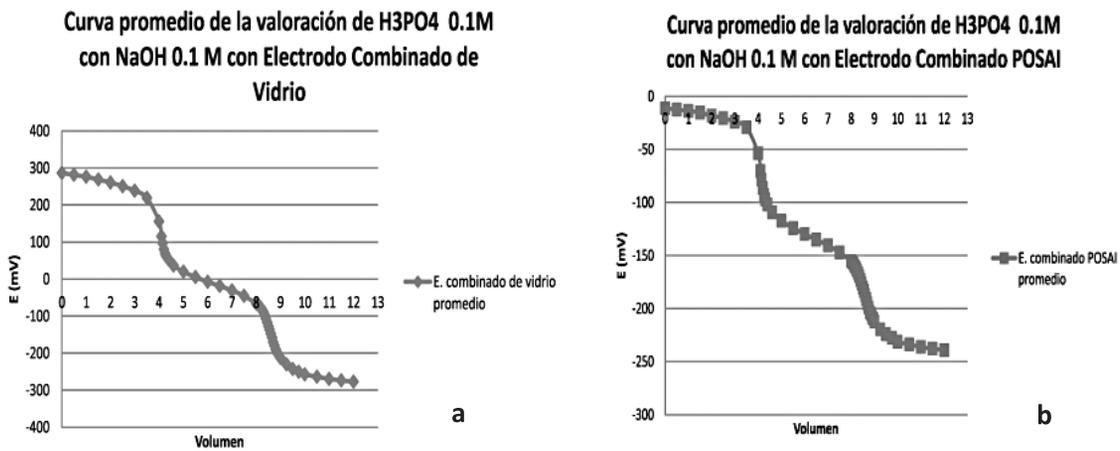


Figura 7. Microvaloraciones potenciométricas con electrodo combinado de vidrio y electrodo combinado POSAI-POSAI de ácido fosfórico con hidróxido de sodio.

Cuadro 7. Prueba de t de Student para las valoraciones de 4 mL de ácido nítrico 0,1 M con hidróxido de sodio 0,1 M y de 4 mL de hidróxido de sodio y acetato de sodio 0,1 M con ácido clorhídrico 0,1 M.

	Acido acético (CH ₃ COOH)	Acetato de sodio (CH ₃ COONa)	Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)
S	0,089	0,167	0,179
t experimental	0	0,424	0
t Cuadros	2,228	2,228	2,228

Discusión y conclusiones

Los alambres de acero 316 tratados químicamente durante 17 minutos a 70 °C con una mezcla de trióxido de cromo y ácido sulfúrico forman sobre su superficie una película de óxidos metálicos que responden de manera lineal al pH (denominados electrodos POSAI). Esto es justificable, tomando como par electroquímico al sistema Fe^o / FeO, cuyo equilibrio electroquímico es: 2H⁺+FeO + 2 e⁻ Fe^o + H₂O; aplicando a este equilibrio el modelo de la ley de Nernst queda: $E = E^{\circ} + \frac{0.06}{2} \log[H^+]^2$ y finalmente $E = E^{\circ} - 0.06 \text{ pH}$. En esta última ecuación se puede observar que existe la mencionada

linealidad del potencial respecto al pH, implicando que si con el POSAI se mide el potencial generado por una solución que contenga un ácido o una base, indirectamente pero con una relación lineal se está midiendo el pH. Otra implicación importante de esta ecuación es que si el pH de una celda que contenga POSAI se mantiene constante (con una solución amortiguadora), el potencial medido también será constante.

Partiendo de estas dos premisas, se estructuraron conexiones como se muestra en la figura 1 y un dispositivo de medida como se muestra en la figura 2, en la que un vaso con un POSAI sumergido en una solución amortiguadora puede ser utilizado como electrodo de referencia; una segunda celda, unida a la primera con un puente de agar y conteniendo un segundo POSAI, le permite ser utilizado como electrodo indicador. Con este montaje se determina la linealidad del electrodo (potencial como función del pH) y con ello el tiempo de recuperación de este, donde los resultados del cuadro 1 muestran correlaciones cercanas a 1 (0,99), pendientes semi-nernstianas (0,26) y ordenadas al origen variables.

Partiendo de estos resultados, se diseñó y elaboró una doble celda a la usanza de los electrodos comerciales, en la cual, como muestra la figura 3, un POSAI se utiliza como cátodo y queda en contacto directo con la solución, un segundo POSAI queda en contacto con una solución amortiguadora de pH = 4; esta solución tiene contacto con la solución por ser medida a través de una fibra de hilo de cáñamo.

De esta manera se fabricó el electrodo combinado POSAI-POSAI, con el cual se valoraron 4 mL de ácido nítrico 0.1 M con hidróxido de sodio 0.1 M y de 4 mL de hidróxido de sodio y acetato de sodio 0.1 M con ácido clorhídrico 0.1 M, utilizando de manera paralela un electrodo de vidrio combinado, con la finalidad de comparar el comportamiento de ambos electrodos.

De los pares de figuras obtenidos experimentalmente (5a y 5b), (6a y 6b) y (7a y 7b), podemos observar que la geometría para ambos tipo de electrodos es la misma, aunque con diferente escala (debido a que la referencia es diferente para cada electrodo). Del cuadro 6 podemos observar que los volúmenes de punto de equivalencia para la valoración del ácido acético y el ácido fosfórico son los mismos para ambos electrodos y por lo tanto el

error de recuperación de miligramos también es el mismo. Para la valoración del acetato de sodio, los volúmenes de punto de equivalencia son 3,49 y 3,54 y el error correspondiente es de 14,24 y 12,89; las diferencias observadas se deben a que la valoración del acetato de sodio es muy poco cuantitativa y no a causa de que el electrodo elaborado de respuestas diferentes al electrodo convencional de vidrio.

Por último, en el cuadro 7 se puede observar que en la prueba estadística de "t de Student", la t calculada fue siempre menor que la t de Cuadros, lo que permite concluir que no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos con el uso del electrodo convencional de vidrio y el electrodo elaborado. El costo del electrodo elaborado es de 15 dólares (el conocimiento adquirido en el proceso de elaboración del electrodo es invaluable, debido a que se logra romper el paradigma de que el electrodo comercial para medir pH es una "caja negra"), mientras que el electrodo convencional tiene un costo mínimo de 150 dólares.

Agradecimientos

Al Dr. Ricardo Paramon Hernández García, por sus atinadas recomendaciones. A Drauci Jiménez Celi, responsable del taller de vidrio de la FES-C UNAM, por la elaboración del material de vidrio utilizado en el presente trabajo.

Bibliografía

- Abdelhameed, M.O. (2006). Potentiometric determination of mercury (II) using a tribromomercurate-rhodamine B PVC membrane sensor. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 86 (5): 367-379.
- Altiokka, G.C., Nafiz, Ö.A & Hassan, Y. (2007). Determination of Amoxicillin by Flow Injection Analysis using UV-Detection, Potentiometry, and Conductometry in Pharmaceutical Preparations. *J. of L. Chrom. & Rel. Techns.* 30(9): 1333-1341.
- Barrado, Y.E., Rodríguez, J.A., Quinaz, M.B. & Lima J.F.C. (2006). Tubular potentiometric detector used to determine As(V) in sediment extracts by flow injection. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 86(8): 563-572.
- Bas, B., Jakubowska, M., Jez, M. & Ciepela, F. (2010). Novel renovated silver ring electrode for anodic stripping analysis of Pb(II) and Cd(II) traces in water samples without removal of oxygen and surfactants. *J. of Elect. Chem.* 638(1): 3-8.
- Bulukin, E., Bagni, G., Jonsson, G., Baussant, T. & Mascini M. (2006). Rapid screening of alkylphenol exposure in fish bile using an enzymatic peroxidase biosensor. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 86 (4): 1039-1048.

- Burgaud, C., Rouchon, V., Wattiaux, A., Bleton, J., Sabot, R. & Refait, P. (2010). Determination of the Fe(II)/Fe(III) ratio in iron gall inks by potentiometry: A preliminary study. *J. of Elect. Chem.* 650(1): 16-23.
- Campos, V.P., Costa, A., Tavares, C. & Tania, M. (2007). Partial neutralization of rain by seaspray: The case of Recôncavo, Bahia-Brazil. *J. of Envir. Man.* 84 (2): 204-212.
- Cerón, A.R., Rosal, V.J.D., Pérez, S.J. de J. & Galán, V.C.A. (1999). Potentiometric Glucose Biosensors Based on a pH Stainless Steel Electrode. *Anal. Chem.* 18, suppl. I (5): 158-159.
- Cheng-Wei, L., Jung-Chuan, Ch., Tai-Ping Sun, Shen-Kan H. & Jui-Hesiang, H. (2007). Preliminary investigations on a glucose biosensor based on the potentiometric principle. *Sens. and Act. B: Chem.* 123(2): 720-726.
- Guptam V.K., Jain, A.K. & Maheshwari, G. (2007). Aluminum(III) selective potentiometric sensor based on morin in poly(vinyl chloride) matrix. *J. of Sol. Chem.* 36(6): 673-689.
- Johnson, K.J., Szymanowski, J.E.S., Borrok, D.H., Terri, Q. & Jeremy, B. (2007). Proton and metal adsorption onto bacterial consortia: Stability constants for metal-bacterial surface complexes. *Chem. Geol.* 239(1-2): 13-26.
- Kyriakopoulos, G., Doulia, D. & Hourdakakis, A. (2006). Effect of ionic strength and pH on the adsorption of selected herbicides on Amberlite. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* (86): 207-214.
- Lukomska, A. & Plewka, A.P. (2009). Electroreduction of cupric(II) ions at the ultramicroelectrodes from concentrated electrolytes. Comparison of industrial and laboratory prepared aqueous solutions of copper(II) ions in sulfuric acid electrolytes. *J. of Elect. Chem.* 633(2): 92-98.
- Lupu, S., Del Campo, F.J. & Muñoz, F.X. (2010). Development of microelectrode arrays modified with inorganic-organic composite materials for dopamine electroanalysis. *J. of Elect. Chem.* 639,(1-2): 147-153.
- Mazloum, A.M., Karimi, M.A., Mashhadizadeh, M.H.M., Pesteh, M.S.A. & Kazemian, H. (2007). Potentiometric determination of monohydrogen arsenate by zeolite-modified carbon-paste electrode. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 87 (4): 285-294.
- Na-Jiang, Y., Qun-Luo, H. & Nian-Bing, L. (2007). Determination of nitrite with a nano-gold modified glassy carbon electrode by cyclic voltammetry. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 87(4): 295-306.
- Pérez, S.J. de J., García, G.F. & Márquez, V.S. (1997). Películas de óxido sobre acero inoxidable 316 (POSAI-316) como electrodo indicador de pH en medio no acuoso. *Rev. de la Soc. Quím. de Méx.* 41(7): 3-7.
- Pérez, S.J. de J. & Rosales, V.G. (1998). Estudio Potenciométrico del Ácido Fluorhídrico con Electrodo POSAI-316. *Rev. de la Soc. Quím de Méx.* 42(4): 182-185.
- Pérez, S.J. de J. & Rincón, A.S. (2003). Potenciometría Con Volúmenes a Nivel de Microescala en Educación. *Rev. de Edu. Quím.* 14(3): 148-150.
- Pérez, S.J. de J., Rincón, A.S., Hernández, C., Romero, C.G. (2011). Potenciometría de óxidoreducción a microescala en docencia. *Tec. en Marcha.* 24(2): 45-52.
- Reglamento de manejo, tratamiento y minimización de residuos. Universidad Autónoma de S L P. Recuperado de: <http://www.uaslp.mx/Spanish/Academicas/FCQ/cmsh/Documents/Reglamento%20de%20Manejo,%20Tratamiento%20y%20Minimizaci%C3%B3n%20de%20Residuos.pdf>
- Romero, C.G., López, A.A., Rincón, A.S., Pérez, S.J. de J., Pescador, J.C. & Pérez, A.J. (2012). Comparación entre electrodos POSAI y electrodos comerciales en la titulación potenciométrica de sulfametoxazol y trimetoprima. *Avances en Ciencias e Ingeniería* 3(2): 10-12.
- Sakandar, R., Haq, N., Kalsoom, A., Muhammad, A.G. & Khalid, A.M. (2007). Studies on sildenafil citrate (Viagra) interaction with DNA using electrochemical DNA biosensor. *Bios. & Bioel.* 22(11): 2471-2477.
- Ting-Kai, H., Kuan-Wen, L., Sze-Ping, Tg., Ta-Ming, Ch., I-Chun, C., You-Zung, H., Chi-Young, L. & Hsin-Tien, Ch. (2009). Glucose sensing by electrochemically grown copper nanobelt electrode. *J. of Elect. Chem.* 636(1-2): 123-127.
- Yanping, G., Wanzhi, W., Xiaohua, G., Jinxiang, Z. & Jian, Y. (2007). Determination of ultratrace lead with bismuth film electrodes based on magneto-voltammetry. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 87(4): 285-294.
- Xin, C., Zhengpeng, Y. & Shihui, S. (2009). Potentiometric urea biosensor based on immobilization of urease onto molecularly imprinted TiO₂ film. *J. of Elect. Chem.* 635(1): 1-6.