

Caracterización de diferentes sustratos con superficie rugosa para la recuperación de diferentes metales por medio de pruebas potenciodinámicas

Characterization of different substrates with rough surfaces for the recovery of different metals by means of potentiodynamic tests

A. Trujillo-Estrada^{a, b}, V. Reyes-Cruz^b, J.A. Cobos-Murcia^b, G. Urbano-Reyes^b
M. Pérez-Labra^b, F. Legorreta-García^b

^aCátedras Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Depto. de Cátedras, Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito constructor, Deleg. Benito Juárez, Ciudad de México, CP. 03940, México.

^bUniversidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas, Academia de Ciencia de la Tierra y Materiales.

Abstract:

A characterization of 7 metals with rough surface is carried out to evaluate their performance in a solution with pH 7, being that one or more substrates are sought for the recovery of dissolved metals in effluents; with two benefits: the use of recovered metals and lessen their impact on the environment. The tests in this solution showed that the activation polarization does not present drastic changes in the surface of the material, they present a good response since they do not have representative variability. Taking into account that they will be used for the recovery of metallic materials in solution, the best options are A316, Ti and Fe steel, the pH of the solution to be treated is taken into account to prevent the substrate from changing from cathode to anode.

Keywords:

Tafel slopes, recovery of effluent metals.

Resumen:

Se llevó a cabo una caracterización de 7 metales con superficie rugosa para evaluar su desempeño en una solución con pH 7, siendo que se buscaba uno o más sustratos para la recuperación de metales disueltos en efluentes; con dos beneficios, uno: el uso de los metales recuperados y dos: disminuir el impacto que estos tienen en el medio ambiente. Las pruebas en esta solución mostraron que la polarización por activación no presenta cambios drásticos en la superficie del material, presentan una buena respuesta ya que no tienen una variabilidad representativa. Tomando en cuenta que se utilizarán para recuperación de materiales metálicos en solución, las mejores opciones son el acero A316, Fe y Ti, tomando en cuenta del pH en la solución a tratar para evitar que el sustrato pase de ser cátodo a ánodo.

Palabras Clave:

Pendientes Tafel, recuperación metales efluentes.

1. Introducción

En la actualidad algunos metales como el cobre, hierro, titanio, níquel, plata, etc., son desechados en solución después de servir

a diferentes procesos, provocan una contaminación de suelos y mantos acuíferos que destruye nuestro entorno. Los procesos que se utilizan para la recuperación de estos materiales son mínimos, ya que el costo beneficio no es sustentable. La clasificación de

Autor para la correspondencia: ariadnat@gmail.com

Correos electrónicos: ariadnat@gmail.com (A. Trujillo-Estrada), reyescruz16@yahoo.com (V. E. Reyes-Cruz), catseven78@gmail.com (J.A. Cobos-Murcia), gustavo_urbano@uaeh.edu.mx (G. Urbano-Reyes), miguelabra@hotmail.com (M. Pérez-Labra), felegorreta@hotmail.com (F. Legorreta-García).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1003-0433> (A. Trujillo-Estrada), <https://orcid.org/0000-0003-2984-850X> (V.E. Reyes-Cruz), <https://orcid.org/0000-0002-9946-5785> (J.A. Cobos-Murcia), <https://orcid.org/0000-0001-5461-4030> (G. Urbano-Reyes), <http://orcid.org/0000-0001-9882-6932> (M. Pérez-Labra), <https://orcid.org/0000-0001-6968-199X> (F. Legorreta-García).

Fecha de recepción: 29/06/2020, Fecha de aceptación: 06/09/2020, Fecha de publicación: 05/10/2020

<https://doi.org/10.29057/aactm.v7i7.6191>



las técnicas de tratamiento de metales en las aguas residuales y se podrían dividir en 2 tipos: técnicas convencionales, refiriéndose a las técnicas que habitualmente se emplean para la remoción de estos contaminantes y las no convencionales, aquellas que corresponden a procesos innovadores para la eliminación de metales en aguas residuales generalmente de origen industrial. Entre las técnicas convencionales están: filtración por membrana, electrodiálisis, osmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración, intercambio iónico, adsorción (carbón activado y nanotubos de carbono), precipitación química, electrocoagulación, coagulación-floculación, electrofloculación, flotación y fotocatalisis en la degradación de metales pesados. Las técnicas no convencionales están: adsorbentes de “bajo costo” y nuevos adsorbentes, adsorción de metales pesados por materiales naturales agrícolas e industriales, fitorremediación, biopolímeros, hidrogeles y ceniza volante. Actualmente se ha desarrollado un elevado número de técnicas y de nuevos materiales con eficiencias prometedoras en procesos de absorción y adsorción, todas con el marcado objetivo de reducir costos energéticos y operacionales, que permitan su implementación, sin embargo, como aún están en proceso de experimentación y tienen un costo elevado para llevarlos a cabo [1].

Los procesos electroquímicos son una alternativa viable para la recuperación de metales presentes en desechos industriales. La aplicación de los procesos electroquímicos en esta problemática tiene la finalidad de poder darles un segundo uso y de paso sacarlos de los efluentes para disminuir el impacto ambiental.

Antes de la recuperación electroquímica de los metales se deben cumplir condiciones muy específicas, donde se evite la interacción entre la solución acuosa y la superficie donde se llevará a cabo el depósito de los metales provenientes de los desechos industriales, para que no se presenten reacciones no deseadas que interfieran en el depósito de los mismos [2-5].

Es por ello que en este trabajo se estudió el tratamiento superficial mecánico y se evaluó las corrientes y potenciales de reducción y oxidación [2,3] de 7 superficies que pueden ser utilizados como cátodos, para la recuperación de metales en solución.

2. Desarrollo experimental

Los sustratos de A316, Cu, Zn, Ti, Fe, Latón y Al, se sometieron a tratamiento mecánico con una herramienta eléctrica rotativa para desbastar la superficie de los mismos.

Las pruebas potenciodinámicas se llevaron a cabo en un potenciostato-galvanostato marca Autolab Model PGSTAT30 en un arreglo de tres electrodos. En el cual se utilizó un electrodo de platino como contraelectrodo y como referencia un electrodo de calomel saturado dentro del capilar de Luggin. Las pruebas se realizaron en una ventana de potencial de ± 350 mV a partir del potencial de equilibrio de cada uno de los metales, para evitar procesos que dañaran las superficies de los electrodos y una velocidad de barrido de 25 mV/s, cabe mencionar que solamente se toma en cuenta esta velocidad ya que es la que se ocupa para

depósitos electroquímicos, y estos metales se usarán como sustratos para recuperación de metales.

Todos los experimentos se realizaron utilizando un buffer tipo Sørensen que permite obtener pH de 7. Estas soluciones de sales conjugadas de fosfatos fueron elegidas por que permiten mantener una buena conductividad y presentan interacciones débiles con los materiales evaluados. De manera que, se empleó un buffer tipo Sørensen, que permite obtener disoluciones de este valor de pH. Estas soluciones de sales conjugadas de fosfatos fueron elegidas porque permiten mantener una buena conductividad y presentan interacciones débiles con los 7 metales evaluados, dado que el uso de sales adicionales genera interacciones espontáneas con la mayoría de los metales implicados. El pH obtenido en la solución fue confirmado utilizando un potenciómetro marca Thermo Scientific Orion. Las pruebas se hicieron por triplicado, para comprobar repetibilidad en el sistema; excepto la del metal Al que solo contiene 2 pruebas, por razones ajenas a los autores.

3. Resultados

En las Figuras 1-7 se muestra las gráficas de polarización lineal de los 7 materiales para obtener las pendientes de Tafel; a una velocidad de 25 mV/s, en la ventana de potencial de ± 350 mV a partir del potencial de equilibrio y en una solución buffer tipo Sorensen ajustada a pH 7 [3,4].

En la Figura 1 se observa que el material acero A 316 presenta un corriente límite en la curva anódica de $-3.1125 \text{ Log} I$ (A) para las 3 señales, lo que nos indica que podría comenzar el proceso de acumulación de óxidos para la formación de la capa pasiva, característica del acero A316. Se observa que las corrientes de neta presentan una diferencia poco significativa entre las 3 señales. Además, se aprecia que el potencial de equilibrio para las 3 señales no varía en forma significativa, esta es de aproximadamente ± 12 mV entre ellas. El potencial de equilibrio y la corriente de neta se mantienen bastante estable debido a que la solución tiene un pH 7.

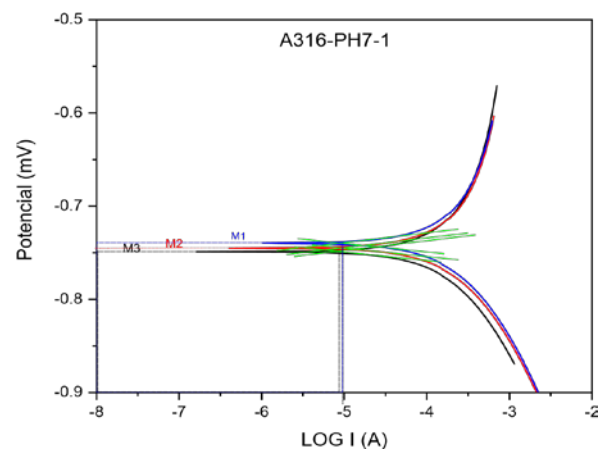


Figura 1. Pendientes TAFEL acero 316, 3 muestras.

En la figura 2 se observan las 3 señales del material Cu, con una variación en el potencial de equilibrio de aproximadamente ± 50 mV entre ellas. El potencial del Cu, es menos estable en comparación con el acero A316, ya que este último tiene una diferencia de sus 3 señales de apenas ± 12 mV, y las señales del Cu tienen una diferencia mayor (± 50 mV) lo que nos da una estabilidad menor. También se observa que las corrientes de equilibrio entre la rama anódica y catódica, presentan una diferencia de -0.36 A entre ellas (M1 M2 y M3). Además, se aprecia que solo se mantiene el proceso de activación del material y no se presentan en la superficie crecimiento de óxidos.

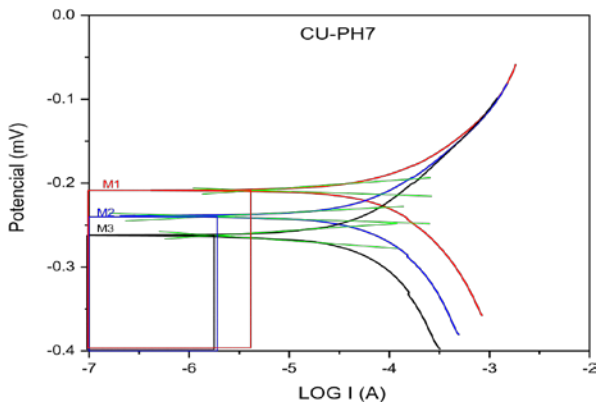


Figura 2. Pendientes TAFEL Cu, 3 muestras.

En la figura 3 se observan que las 3 señales del material Zn tienen una variación en el potencial de equilibrio de aproximadamente ± 80 mV entre ellas, la señal M1 es la que tiene una mayor diferencia, debido a la estabilidad del propio material en la solución. Por otra parte, se observa que solo se tiene el proceso de activación ya que hay óxidos o procesos mixtos. Al igual que con el material acero A316 de la figura 1, las corrientes de equilibrio entre la rama anódica y catódica, no tienen diferencia por encontrarse casi en el mismo punto.

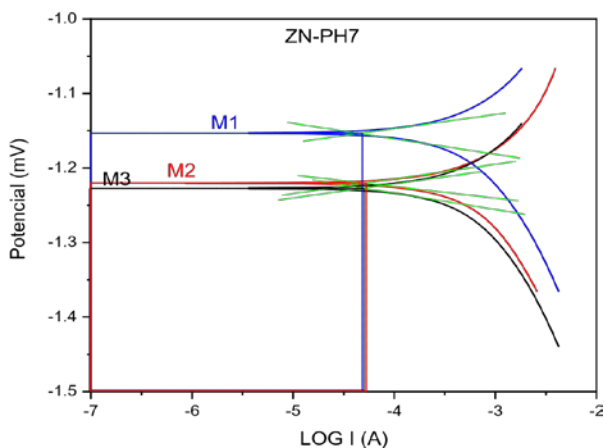


Figura 3. Pendientes TAFEL Zn, 3 muestras.

En la figura 4 se observan las 3 señales del material Fe, con una variación en el potencial de equilibrio de aproximadamente ± 8

mV entre ellas. El potencial del Fe, es más estable en comparación con el acero A316, ya que este último tiene una diferencia de sus 3 señales de apenas ± 12 mV, y las señales del Fe tienen una diferencia menor (± 8 mV) lo que nos da una estabilidad mayor. Además, se aprecia que las corrientes de netas no presentan una diferencia entre ellas (M1 M2 M3) todas se encuentran en el mismo punto. Finalmente se aprecia, que el proceso que se lleva a cabo en el Fe es solo el de activación del material ya que no presenta crecimiento de óxidos.

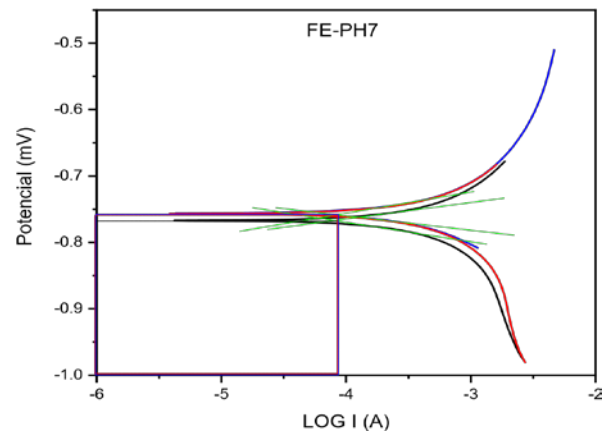


Figura 4. Pendientes TAFEL Fe, 3 muestras.

En la figura 5 se observan las 3 señales del material Ti, con una variación en el potencial de equilibrio de aproximadamente ± 100 mV entre ellas. También se observa la característica del material Ti, que es una corriente limite que nos da pauta para el crecimiento de óxidos en la superficie, que formarán la capa pasiva del mismo. Además, se aprecia que las corrientes de equilibrio entre la rama anódica y catódica, tienen una diferencia significativa entre cada señal.

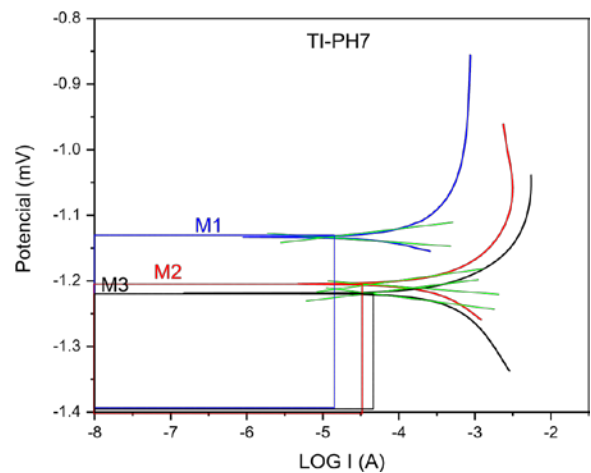


Figura 5. Pendientes TAFEL Ti, 3 muestras.

En la figura 6 se observan las 3 señales del material LATÓN, con una variación en el potencial de equilibrio de aproximadamente ± 75 mV entre ellas. El potencial del Latón, es menos estable en comparación con el acero A316, ya que este último tiene una diferencia de sus 3 señales de apenas ± 12 mV,

y las señales del Latón tienen una diferencia mayor (± 75 mV) lo que nos da una estabilidad menor. También se observa que las corrientes netas presentan una diferencia de -0.5 A entre ellas (M1 M2 y M3). Además, se observa que el proceso que se lleva a cabo solo es el de activación del material, lo cual es favorable ya que no hay formación de óxidos o la disolución preferencial de uno de los metales en la aleación.

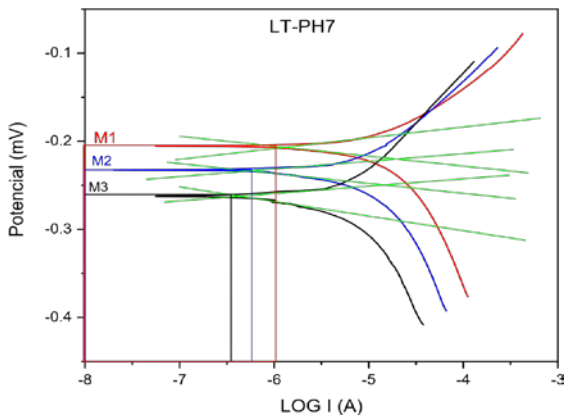


Figura 6. Pendientes TAFEL Latón, 3 muestras.

En la figura 7 se observan las 2 señales del material Al, con una variación en el potencial de equilibrio de aproximadamente ± 80 mV entre ellas. El potencial del Al, es menos estable en comparación con el acero A316, ya que este último (acero A316) tiene una diferencia de sus 3 señales de apenas ± 12 mV, y las señales del Al tienen una diferencia mayor, ± 80 mV, incluso que el Fe ± 8 mV, el Latón ± 75 mV y el Cu ± 50 mV, lo que nos da una estabilidad menor. También se observa que las corrientes de equilibrio entre la rama anódica y catódica, presentan una diferencia de -0.36 A entre ellas (M1 y M2). Poniendo en evidencia que solamente se lleva a cabo el proceso de activación. Además, se observa que no llega al potencial donde se encuentra el crecimiento de óxidos que da lugar a la capa pasiva del material.

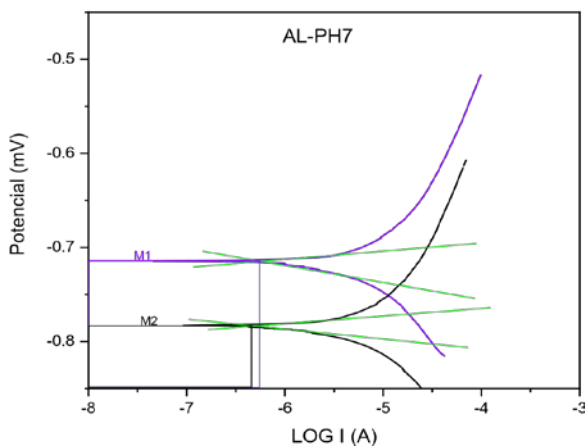


Figura 7. Pendientes TAFEL Al, 2 muestras.

En la tabla I se muestran los valores obtenidos para la cinética de equilibrio entre la rama anódica y catódica, de cada material, presentado en cada una de las figuras 1-7 los valores mostrados en la tabla son los promedios de las 3 señales para cada material; en ella se puede apreciar que el Latón presenta un potencial de equilibrio E_0 de -0.234 V, Cu -0.237 V, Al -0.737 V, A316 -0.743 V, Fe -0.763 , Ti -1.188 y Zn -1.202 . El valor de E_0 o potencial del Latón indica que es menos activo que los otros 6 materiales; los cuales presentan un potencial de equilibrio E_0 en forma descendente a partir del Latón hasta el más activo que en esta prueba es el Zinc. Asimismo, los logaritmos de la corriente de equilibrio entre la rama anódica y catódica son: -6.2251 para el Latón, -5.6185 para Cu, -6.2812 para Al, -5.0307 para A 316, -4.0660 para Fe, -4.5598 para Ti y -4.3056 para Zn. Con base en esta información es posible establecer que tanto el Zinc como el Ti sufre una degradación menor que los demás materiales, ya que logaritmos más negativos se relacionan con corrientes de degradación mayores. Bajo este criterio, las superficies del Latón y Al son más susceptibles a los daños de degradación, dado que los logaritmos de sus corrientes de equilibrio entre la rama anódica y catódica son más negativas; por otra parte, las reacciones catódicas no presentan una polarización por concentración porque no tienen altos valores de corriente de neta [6], solamente en dos de los materiales A316 y Ti la superficie presenta un inicio a la pasivación del metal, y podrían alterar la superficie de la muestra metálica ensayada [6], y el latón no muestra una disolución preferencial de un componente, ya que causaría problemas de modificación en la superficie de los materiales [6]; se conservó solamente el proceso por activación, ya que no se deseaba que las superficies desarrollaran contaminación por óxidos o capa pasiva.

Tabla 1. Promedio de Log I y Potencial para cada material.

MATERIAL	I_0 (A)	E_0 (V)
Latón	-6.2251	-0.234
Cu	-5.6185	-0.237
Al	-6.2812	-0.737
A 316	-5.0307	-0.743
Fe	-4.0660	-0.763
Ti	-4.5598	-1.188
Zn	-4.3056	-1.202

Conclusiones

Las pruebas en esta solución mostraron que la polarización por activación no presenta cambios drásticos en las superficies del material, presentan una buena respuesta ya que no tienen una variabilidad representativa entre las señales de ellos mismos, al menos del acero A316 ± 12 mV y Fe ± 8 mV. Tomando en cuenta que se utilizarán para recuperación de materiales metálicos en solución, estos dos: aceros 316 y Fe, representan las mejores

opciones para la recuperación de metales. Sin embargo, podemos dejar como una opción al Ti, ya que este, ha funcionado muy bien como cátodo en otros procesos. Además, se debe restringir a ± 200 mV el rango en la polarización para todos los materiales debido a que algunos de ellos presentan el inicio de la formación de una capa pasiva o acumulación de óxidos en la superficie del material.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- [1] Caviedes Rubio D. I., Muñoz Calderón R. A., Perdomo Gualtero A., Rodríguez Acosta D., Sandoval Rojas I. J. Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería y Región*. 2015.13(1): 73-90.
- [2] Trujillo Estrada A. Cinéticas de corrosión del recubrimiento NiCrAlCoY determinadas mediante técnicas electroquímicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, 2012.
- [3] Ávila J., Genescá J. Más allá de la herrumbre I, colección La ciencia desde México. 1986. FCE.
- [4] ASTM Standard G59, Standard Practice for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements, 1991.
- [5] Nagy Z. DC electrochemical Techniques for the Measurement of Corrosion Rates, *Modern Aspects of Electrochemistry*. 1993. 25. 135-186.
- [6] Genescá J. Técnicas Electroquímicas de corriente directa para la determinación de la velocidad de corrosión, Técnica de extrapolación de Tafel o de Intersección. Dpto., de ingeniería Metalúrgica. Facultad Química, UNAM, México D.F.