



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN ACERO AL CARBONO UTILIZADO EN TUBERÍAS PARA AGUA POTABLE MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTROQUÍMICA Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

E. Bolaños Rodríguez^{1*}, L.D. López León², M. A. Veloz Rodríguez³, V. E. Reyes Cruz³,
G. Y. Vega Cano¹.

¹ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Escuela Superior de Tizayuca. Km 2.5 Carretera Federal Tizayuca-Pachuca. Tizayuca, Hidalgo. C.P. 43800

² Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Miguel de Cervantes Saavedra 120. Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua. C.P. 31109

³ UAEH. Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales. Ciudad Universitaria. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42180

*Tel y Fax (771) 71-72000 Ext. 5700, bola7112@yahoo.com.mx

RESUMEN

Se investiga el comportamiento de un acero al carbono (AISI TP304) utilizado en un sistema de tubería para agua potable, el cual sufrió fallas que provocaron grietas en las tuberías, con el fin de determinar las causas que las originaron. Se emplean las técnicas de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS) y de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) con la finalidad de estudiar la conducta del acero en agua potable y la estructura del material antes y después de los ensayos electroquímicos. Los resultados obtenidos demuestran que el medio acuoso no es el principal causante de las grietas observadas en el material de la tubería sino la presencia de inclusiones de silicio que propician la aparición de defectos en el acero al carbono.

Palabras Clave: Acero al Carbono, Agua Potable, Impedancia Electroquímica, Microscopía Electrónica de Barrido.



1. INTRODUCCIÓN

El acero al carbono es un material de construcción versátil y de gran aplicabilidad a nivel mundial, entre sus innumerables usos se encuentran los sistemas de tuberías para transportar agua potable, sin embargo los daños debidos a la corrosión de éstas pueden generar pérdidas muy importantes tanto económicas, como de infraestructura, así como aquellas relacionadas con los efectos perjudiciales para la salud debidas a la contaminación del vital líquido para consumo humano.

El material metálico al estar en contacto con solución acuosa (agua potable), conforma un ambiente que fundamentalmente se asocia a problemas de corrosión debido a la conductividad iónica del medio, por lo que ocurre un ataque corrosivo, generalmente de tipo electroquímico. Entre los principales factores que influyen en la ocurrencia del fenómeno de la corrosión cuya manifestación provoca pérdida total o parcial del material, se encuentran el pH, agentes oxidantes que con frecuencia son potentes aceleradores del proceso o en ocasiones pueden retardar la aparición de deterioro por la formación de óxidos en superficie o absorción de capas de oxígeno que lo hacen resistente a los ataques químicos y la temperatura [1].

También es necesario considerar las características de fabricación del material, en este caso acero al carbono porque los defectos en este proceso relacionados con el tiempo de homogenización y la presencia de elementos como el silicio en concentraciones superiores a lo requerido constituyen causas probables que provocan grietas en la estructura [2].

En este trabajo se estudió la respuesta electroquímica, mediante EIS presentada por un acero AISI TP340, que se utiliza para la fabricación de tuberías de agua potable que presentaron fallas por agrietamiento en un sistema de abastecimiento del Estado de Hidalgo, con el fin de determinar las causas de dichas fallas.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La celda electroquímica empleada en la técnica de impedancia aparece representada en la Figura 1, la cual está compuesta por tres electrodos: electrodo de trabajo la probeta de acero al carbono (AISI TP304), electrodo de referencia calomel saturado y como electrodo auxiliar una barra de grafito [3, 4, 5].

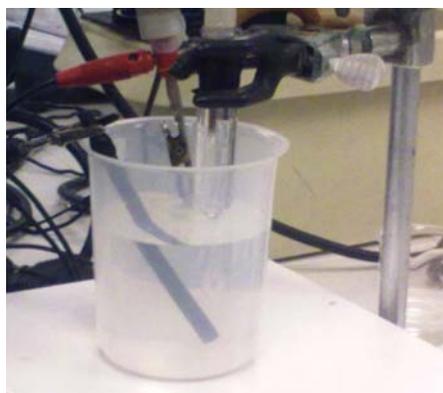


Figura 1. Celda electroquímica empleada en la técnica de impedancia.

Los electrolitos utilizados son agua potable del abastecimiento que se conduce a través del sistema de tuberías de acero al carbono y agua desmineralizada, con el fin de realizar una comparación y observar el comportamiento del acero en dichos medios. La caracterización de los mismos se presenta en la Tabla I.

Tabla I. Caracterización de los dos electrolitos utilizados en la técnica de impedancia.

Electrolitos	pH	Conductividad (mS/cm)	Sodio (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Dureza Total (mg/L)
Agua potable	6.5	75.5	183.2	5.5	162
Agua desmineralizada	6.9	15.1	15	2.5	25

Las medidas de impedancia se llevaron a cabo con el empleo de un potencióstato galvanostato Autolab modelo PGSTAT 30 a 0, 6, 12, 18 y 24 h de inmersión en ambos medios. La amplitud de la señal aplicada fue de 10 mV y se trabajó en un dominio de frecuencias comprendido entre 10 kHz y 10 mHz [6, 7].

También se estudiaron tres probetas de acero al carbono de 2x2 cm, elaboradas con el material de la tubería dañada y sin daño, con un microscopio electrónico de barrido (SEM) acoplado a un espectrómetro de dispersión de longitudes de ondas mediante cristales (WDS). La resolución espectral del WDS es de 2-25 kV y los límites de detección son de 100 ppm.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos a través del diagrama de Nyquist, aplicando EIS, los cuales muestran que a 0 horas se observa un bucle capacitivo muy bien definido y posteriormente, con el tiempo de inmersión, se presenta la apertura de dicho bucle, mostrando altos valores de impedancia tanto real como imaginaria. Lo anterior indica que, al inicio está ocurriendo un proceso corrosivo típico de transferencia electrónica para el agua potable y a medida que se incrementa el tiempo de exposición del sistema en el medio se presenta un proceso difusivo que aumenta la resistencia a la polarización, por los altos valores de impedancia registrados y que puede estar dado por la formación de una capa protectora [8,9] de productos de corrosión.

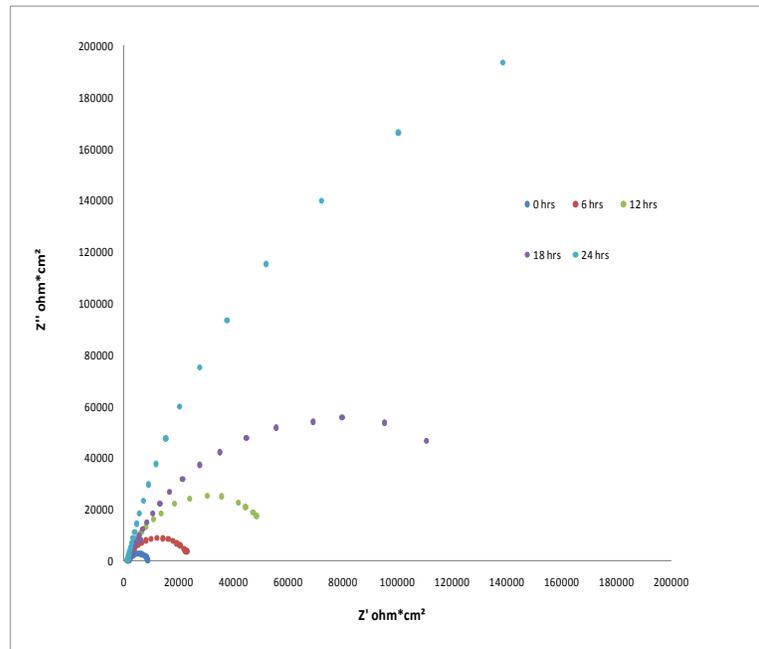


Figura 2. Diagrama de Nyquist a diferentes tiempos de exposición en el agua potable en una probeta de acero al carbono.

El análisis de los diagramas de Bode, en ambos casos, muestra que el sistema pasa de un estado de corrosión relativamente sencillo (a juzgar por el diagrama del ángulo de fase) a uno más complejo que involucra la presencia de más de dos procesos o constantes de tiempo; los cuales pueden estar asociados a la formación de la película pasiva y la difusión hacia o a través de ésta. De forma similar a lo observado con el agua potable, ocurre para el agua desmineralizada a los diferentes tiempos de exposición; es decir, a las 0 horas (inicio del ensayo) existe un

proceso de transferencia electrónica y en la medida que incrementa el tiempo de inmersión hasta llegar a las 24 horas el sistema presenta una alta resistencia a la polarización que se ve favorecida por la presencia de procesos difusivos o la pasividad por la película formada. Además, las inflexiones del ángulo de fase ocurren hacia los mismos intervalos que para el sistema en agua potable, indicando que los procesos que ocurren son los mismos.

En el análisis por SEM y microanálisis de rayos X, se obtiene una alta concentración de silicio en la estructura (cerca del 15%), lo que es superior a lo reportado en la literatura para el acero al carbono [10]. Esta concentración irregular de silicio puede estar dada probablemente por problemas en el tiempo de homogenización en el proceso de fabricación del acero, que no ha permitido que la distribución del silicio sea la misma en toda la matriz del acero.

En la Figura 3, se muestra una imagen típica del acero dañado en donde se observa la presencia de la inclusión de silicio en el área de la grieta y la presencia de una capa de productos de corrosión.

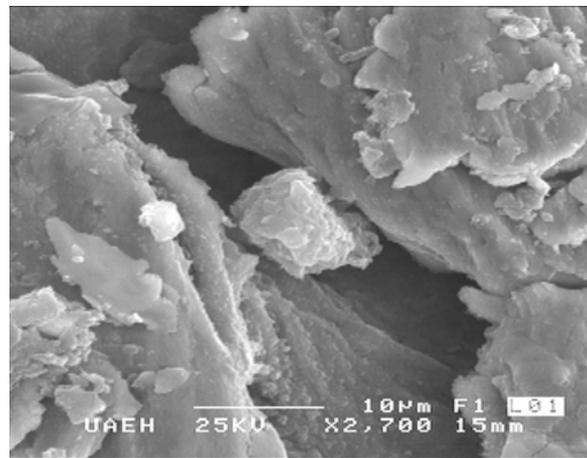


Figura 3. Inclusión de silicio en la estructura del acero al carbono.

De esta manera, se observó que a pesar de que el material fue adquirido bajo ciertas características o especificaciones técnicas, la mala calidad en el proceso de fabricación es la causante de las fallas que presentó la tubería de abastecimiento en el sistema de agua potable.

4. CONCLUSIONES

Al comparar el sistema con el agua desmineralizada y potable no se observan diferencias significativas del comportamiento, utilizando la técnica de EIS, lo cual está indicando que no es

el medio el causante de las grietas en la estructura del acero al carbono empleado en el sistema de tubería para agua potable. Se determina la presencia de inclusión de silicio en la grieta, que se corrobora con la alta concentración de éste en la estructura, obtenido por microanálisis de rayos X, lo cual está dado probablemente por problemas en el tiempo de homogenización en el proceso de fabricación del acero.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores externan su gratitud al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP UAEH-PTC-455) por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de esta investigación a través del proyecto: “Sistema de monitoreo de procesos en la industria química”. Al proyecto FOMIX-HGO 97597 y al CONACyT por la beca de Luis D. López León.

También se desea agradecer al Dr. Juan Hernández Ávila del Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías (ICBI) de la UAEH por el apoyo brindado para la realización de los ensayos de microscopia electrónica de barrido.

6. REFERENCIAS

- [1] M. Morcillo, S. Feliú y J. M. Bastidas. Rev. Iberoamericana de Corrosión y Protección, **14**, No. 2, 367, (1983).
- [2] D. Callister William. Materials Science and Engineering. An Introduction. Fifth Edition. Department of Metallurgical Engineering. University of Utah. John Wiley & Sons, Inc., 1999. 8195 pp. ISBN 0-471-32013-7
- [3] C. Andrade, M. Keddad, X.R. Novoa, C.M. Rangel y H. Takenouti. Electrochim. Acta, **46**, 3905, (2001).
- [4] J. Álvarez, E. Bolaños, W. Francisco y S. Gil. Rev. Metalurgia, **39**, No. 3, 210, (2003).
- [5] R. Cottis y S. Turgoose.; Electrochemical Impedance and Noise; serie Corrosion Testing Made Easy; Syrett B.C. editor; Nace Internacional, USA, (1999).
- [6] C.M. Abreu, M.J. Cristobal, R. Losada, X.R. Nóvoa, G. Pena y M.C. Pérez, J. Electroanal. Chem. 572 (2004).
- [7] C.M. Abreu, M.J. Cristóbal, R. Losada, X.R. Nóvoa, G. Pena y M.C. Pérez Electrochimica Acta, **51**, 8-9, 1881, (2006).

- [8] F. Mansfeld, M. Kending and S. Tsai. Corrosion-Nace, **36**, No. 5, 303, (1981).
- [9] J. R. Scully, D.C. Silverman and M. Kending. ASTM, STP 1188, USA, (1993).
- [10] V. Fernández Sánchez. Tesis de Maestría. Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad Politécnica de Cataluña. (2004).