

Evaluación del comportamiento de tuberías de acero al carbono utilizadas para el suministro de agua potable empleando procesamiento digital de imágenes

Área Técnica: Computación aplicada en la electroquímica.

A.S. Díaz Fergadiz Roldán*, E. Bolaños Rodríguez*, L.R. Coello Galindo*, E. M. Felipe Riverón†, y R. I. Calva Fernández*

*Escuela Superior de Tizayuca, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Km 2.5 Carretera Federal Tizayuca-Pachuca. C.P. 43800, Tizayuca, Hidalgo. México.

†Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional. Av. Juan de Dios Bátiz, esq. Miguel Othón de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, Del. Gustavo A. Madero. C.P. 07738, México, DF.

e-mail {ana_fergadiz@yahoo.com, bola7112@yahoo.com.mx, rocoello77@hotmail.com, edgardo@cic.ipn.mx, calfer_chio@hotmail.com}

Abstract

En este trabajo se evalúa el comportamiento de tuberías de acero al carbono SAE 1018 utilizadas para la conducción de agua potable en una región del Estado de Hidalgo en México. Se emplea la técnica de procesamiento digital de imágenes micro fotográficas tomadas con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido, sobre probetas de tubería con y sin daño del material. Las principales conclusiones obtenidas en la investigación muestran la presencia de silicio en concentraciones superiores a lo reportado para este tipo de acero, en cuyas zonas se presentan grietas superficiales que provocan fallas en el sistema de abastecimiento de agua potable.

Palabras claves: Evaluación de tuberías; Acero al carbono SAE 1018; Agua potable; Procesamiento digital de imágenes.

1. Introducción

La evaluación del comportamiento de tuberías de acero al carbono utilizadas para el suministro de agua potable resultan de gran importancia por las fallas que pudieran presentarse y que ocasionarían serios problemas de salud a la población al existir la posibilidad de contaminación del vital líquido

para consumo humano, así como cuantiosas pérdidas económicas y de infraestructura [12].

A partir de un estudio previo realizado por [3] desde el punto de vista de la corrosión de este sistema se obtiene como resultado, que el medio (agua potable), no es el causante de fallas en el material del acero al carbono con el cual fueron construidas las tuberías, por lo que se decide considerar las características de fabricación del acero al carbono relacionadas con la presencia de determinados elementos químicos, como el silicio, el que en concentraciones superiores a las permitidas, pueden constituir causas probables que provocan las grietas en la estructura del material de la tubería, además de los perjuicios que puede provocar a la salud [5].

El silicio se utiliza en la industria del acero como componente de las aleaciones de silicio-acero. Para fabricar el acero, se desoxida el acero fundido añadiéndole pequeñas cantidades de silicio; el acero común contiene menos de un 0,03% de silicio. El acero de silicio, que contiene de 2,5 a 4% de silicio, se usa para fabricar los núcleos de los transformadores eléctricos, pues la aleación presenta baja histéresis. Existe una aleación de acero, el *durirón*, que contiene un 15% de silicio y es dura, frágil y resistente a la corrosión, por lo que se usa en los equipos industriales que están en

contacto con productos químicos corrosivos. El silicio se utiliza también en las aleaciones de cobre, como el bronce y el latón [10]. Los aceros se clasifican en aceros al carbono, aleados, inoxidable, de herramientas y de baja aleación ultrarresistentes. Los aceros al carbono contienen diferentes cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, 0,60% de silicio y del 0,60% de cobre [2].

En muchas ocasiones los aceros al carbono son revestidos con un recubrimiento de cinc para aumentar su resistencia a la corrosión y son denominados aceros galvanizados.

Los aceros aleados poseen vanadio y molibdeno, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Los aceros inoxidables llevan cromo y níquel, entre otros elementos de aleación. Los aceros de herramienta contienen wolframio (tungsteno), molibdeno y otros elementos de aleación que les proporcionan mayor dureza y durabilidad. Los aceros de baja aleación ultrarresistentes tienen menos cantidad de elementos de aleación y deben su elevada resistencia al tratamiento especial que reciben durante su fabricación [2].

Por lo anteriormente expuesto el objetivo de este trabajo de investigación consiste en: Evaluar el comportamiento de tuberías de acero al carbono SAE 1018 utilizadas para el suministro de agua potable a través del procesamiento digital de las imágenes micro fotográficas de la superficie interior de las tuberías, tomadas con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido, con el propósito de detectar fallas en el sistema.

2. Desarrollo

2.1. Antecedentes de la Investigación

En este campo se han realizado diversas investigaciones que han estudiado evaluación en tuberías de transporte de fluidos, entre los que más se destacan son los hidrocarburos. Se tienen precedentes de la utilización de la microscopía electrónica de barrido para caracterizar el acero al carbono SAE 1018 que ha sufrido corrosión microbológica en ductos de PEMEX [8]. También existen antecedentes de la realización de un proyecto de investigación liderado por el Instituto Politécnico Nacional en colaboración con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,

Morelia, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y la Academia de Ciencias de Rusia, con el objetivo de buscar estrategias para controlar y reducir desperfectos en los sistemas de gasoductos y oleoductos mexicanos y rusos; para ello se ha propuesto un nuevo método basado en la aplicación de la teoría cinética para determinar la vida útil y remanente de servicio de los sistemas con un enfoque interdisciplinario y en el que se utiliza el microanálisis de Rayos-X, unido a otro conjunto de técnicas para la obtención de resultados [11]. Los trabajos de investigación relacionados con el agua potable se han centrado en buscar alternativas de abastecimiento del vital líquido para consumo humano amigables con el ambiente, como el reportado por [6], en el que se expone la producción de un bien medioambiental en el lago de Chapala y el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Guadalajara, en el estado de Jalisco, México, a través de un análisis de simulación con un modelo de redes.

En lo revisado en la literatura científico-técnica, no se han encontrado reportes del uso del procesamiento digital de imágenes mediante procedimientos de umbralado para detectar la presencia de silicio en tuberías de acero al carbono, que permita investigar su efecto sobre las fallas estructurales de tuberías fabricadas de este material utilizadas para la transportación de agua potable.

2.2. Materiales y Métodos

Se estudiaron tres probetas de acero al carbono SAE 1018 de 2 x 2cm aproximadamente elaboradas con el material de tuberías dañadas y otras tres probetas del mismo material y tamaño, pero sin daño, mediante un microscopio electrónico de barrido. Las imágenes tomadas de las probetas con daño en el material (Figuras 1,2 y 3) se analizaron con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido, marca PHILIPS modelo XL30 TMP New Look. Para determinar la concentración del silicio que está presente en el acero al carbono con que fueron construidas las tuberías, se siguió el principio del análisis elemental mediante los Rayos-X que se generan en las muestras al someterlas a bombardeo electrónico, lo cual permite identificar los elementos presentes y

establecer su concentración [9]. Como se observa, este elemento químico se manifiesta en el material como inclusiones de color blanco, de bordes irregulares, depositadas en capas sobrepuestas en distintos niveles.

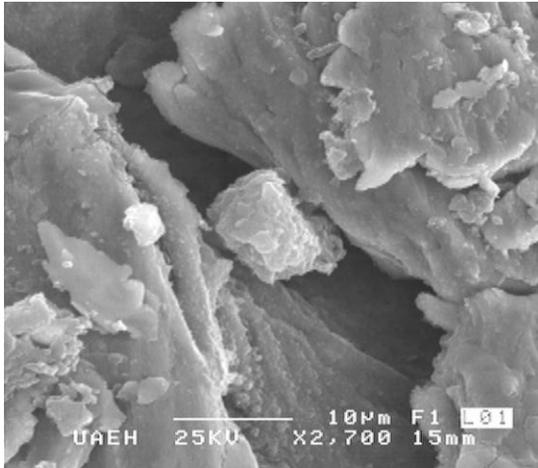


Figura 1. Muestra 1 de microfotografía del interior de la tubería de acero al carbono SAE1018 dañada

El análisis de las imágenes (Figuras 1, 2, y 3) capturadas a partir de las muestras con daño y la de la Figura 4 obtenida a partir de una muestra sin daño, se realiza mediante un procedimiento de umbralado [4], para extraer (segmentar) las partes más claras de la imagen que denotan la presencia del silicio, con el fin de cuantificar posteriormente el porcentaje de la superficie ocupada por este elemento, con respecto al total ocupado por la muestra. Si la imagen no contiene indicios de silicio (Figura 4), el área segmentada correspondiente al silicio sería prácticamente igual a cero.

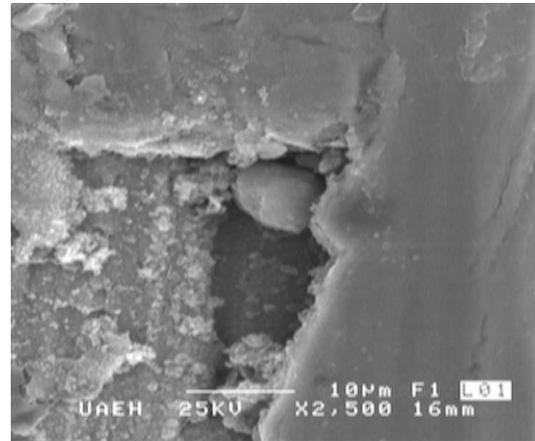


Figura 2. Muestra 2 de microfotografía del interior de la tubería de acero al carbono SAE1018 dañada

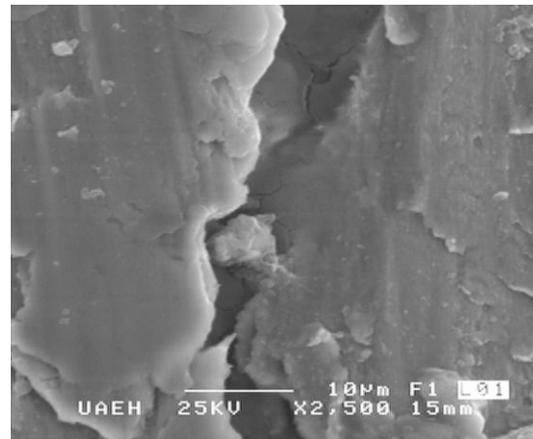


Figura 3. Muestra 3 de microfotografía del interior de la tubería de acero al carbono SAE1018 dañada

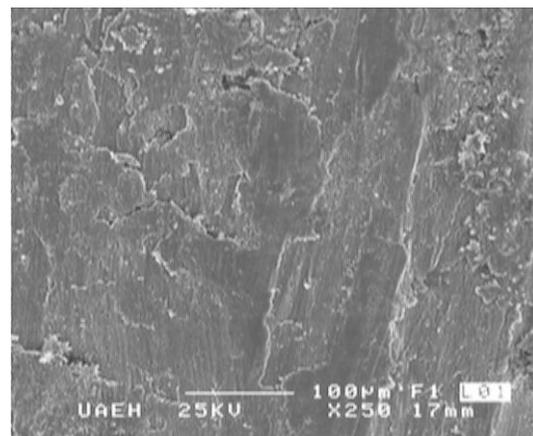


Figura 4. Muestra sin daño de microfotografía del interior de la tubería de acero al carbono SAE1018

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestra el resultado obtenido al analizar las imágenes de las muestras dañadas capturadas con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido y la correspondiente caracterización por microanálisis de Rayos-X, del promedio de cada uno de los elementos que constituyen la aleación expresados en por ciento en peso.

Tabla 1. Composición química del acero al carbono SAE 1018 con grietas en su superficie.

Elemento	% en peso
Hierro (Fe)	79
Carbono (C)	0.15
Cinc (Zn)	5
Silicio (Si)	15
Manganeso (Mn)	0.70

Si se observa la concentración de silicio presente en las probetas de acero al carbono dañadas, nos percatamos de que es muy superior a lo reportado en la literatura para este tipo de acero [14]. Esta concentración irregular de silicio probablemente esté relacionada con el tiempo de homogenización dado al material aún en estado fundente durante el proceso de fabricación del acero, el que no ha permitido que la distribución del silicio sea la misma en toda la matriz del material.

En la Tabla 2 muestra los resultados promedios obtenidos de la caracterización de las probetas de acero al carbono SAE 1018 sin daños en la superficie exterior mediante microanálisis de Rayos-X.

Tabla 2. Composición química del acero al carbono SAE 1018 sin daño en la superficie

Elemento	% en peso
Hierro (Fe)	93.6
Carbono (C)	0.15
Cinc (Zn)	5
Silicio (Si)	0.35
Manganeso (Mn)	0.70

Las muestras sin daños en el material presentan una composición química promedio de los elementos que conforman la aleación, dentro de los rangos expresados en por ciento en peso establecido para cada elemento y que se reportan en la norma mexicana NMX-B-324-2006 [7] y en las normas internacionales SAE-J403-2000 [13] y ASTM-A-510-2003 [1] para este tipo de acero al carbono, lo cual indica que en este caso se cumple con las especificaciones de calidad requeridas.

A continuación aparecen las imágenes ya procesadas de las tres muestras de tuberías dañadas (Figuras 5, 6, y 7) y de la muestra de tubería sana (Figura 8). Con el fin de no introducir errores en los cálculos posteriores, que serían provocados por la presencia de los caracteres blancos sobrepuestos en las microfotografías originales que detallan los parámetros con los que fueron capturadas, las imágenes para su análisis han sido reducidas en tamaño por un corte hecho al nivel superior de dichos caracteres; a las mismas les hemos llamado imágenes recortadas.



Figura 5. Microfotografías procesadas de la muestra 1 del interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 dañada



Figura 6. Microfotografías procesadas de la muestra 2 del interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 dañada



Figura 7. Microfotografías procesadas de la muestra 3 del interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 dañada



Figura 8. Microfotografías procesadas de la muestra sin daño del interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018

Es importante hacer notar que las mediciones sobre las microfotografías han sido hechas sobre la base del área en pixeles de las superficies segmentadas, sin tener en cuenta el eventual engrosamiento de las inclusiones del silicio que con el tiempo tiene lugar normalmente en el interior de las tuberías.

De acuerdo a la escala de las microfotografías digitales capturadas de 10µm equivalentes a 5.25cm -medidos en una pantalla con resolución espacial de 96 pixeles/pulgada-, se calcula que la resolución espacial de las microfotografías es de 20 pixeles/micra (0.05 micras/píxel). El ancho promedio de la imágenes recortadas es de 48.6 micras, que equivalen a 972 pixeles de ancho. El alto promedio de las imágenes recortadas es de 32 micras, que equivalen a 640 pixeles de alto. Esto da un total de 622 080 pixeles de área total máximo de las imágenes equivalentes a 1555 micras. Sin embargo, el número total de pixeles de cada imagen recortada fue medido exactamente, el cual se muestra en la Tabla 3. El por ciento promedio ocupado por las inclusiones de las tres imágenes dañadas es de 92.30%, el cual es apreciable. En las tres tuberías sanas sin inclusiones de silicio (Figura 8), el por ciento promedio ocupado por el silicio es de 0.16%, el cual es despreciable. Los resultados del análisis de las imágenes aparecen tabulados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado de las mediciones de la zona con incrustaciones de silicio.

Numero	1	2	3	4
Tipo	dañada	dañada	dañada	sana
Tamaño (px)	534, 612	532, 208	536 703	529, 840
Área sin inclusiones (px negros)	47,909	37,350	38, 099	528, 942
Número de inclusiones independientes	37	61	86	132
Área de las inclusiones (px blancos)	486,703	494,858	498,604	898
Por ciento del total (%)	91.03	92.98	92.90	0.17

En las muestras de las tuberías dañadas se observa que las inclusiones aparecen distribuidas más o menos homogéneamente

en la parte interior de la tubería, lo cual pone de manifiesto que el problema no es eventual o fortuito, sino que ha sido creado por las características estructurales propias del material con el que ha sido fabricada la tubería.

4. Conclusiones

En la evaluación de tuberías de acero al carbono utilizadas para el suministro de agua potable se detectan problemas estructurales en el acero al carbono SAE 1018, con el cual fueron fabricadas dichas tuberías, lo cual es provocado por las inclusiones en su interior debidas a la alta concentración de silicio que origina agrietamientos y fallas en el material. Mediante el umbralado de las imágenes para extraer (segmentar) las partes más claras de la imagen que denotan la presencia del silicio, se cuantificó el por ciento de la superficie ocupada por este elemento con respecto al total ocupado por la muestra. Se demuestra que la presencia de la alta concentración de silicio en las tuberías de acero al carbono SAE 1018 usadas, es la causante de las fallas y agrietamientos encontrados.

Agradecimientos

Los autores manifiestan su gratitud al Programa de Mejoramiento del Profesorado por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de esta investigación a través del proyecto PROMEP UAEH-PTC-455 denominado: Sistema de monitoreo de procesos en la industria química, así como al Dr. Juan Hernández Ávila del Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías (ICBI) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), por el apoyo brindado para la obtención de las imágenes digitales utilizadas y los ensayos de microscopía electrónica de barrido realizados.

Referencias

- [1] ASTM-A-510-2003 Standard. *Specification for general requirement for wire rods and coarse round wire, carbon steel.*
- [2] D.W. Callister. *Materials Science and Engineering. An Introduction.* 5th. Edition. Department of Metallurgical Engineering. University of Utah. John Wiley & Sons, Inc., 1999, 8195 pp.
- [3] E. Bolaños, L.D. López, M.A. Veloz, V.E. Reyes y G.Y. Vega. *Evaluación del comportamiento de un acero al carbono utilizado en tuberías para agua potable mediante*

espectroscopia de impedancia electroquímica y microscopía electrónica de barrido. Memorias en extenso del XXV congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica y 3rd Meeting of the Mexican Section ECS, Zacatecas, México. 2010, pp. 593-599.

- [4] E. Felipe R., D. Suárez H. *Thresholding Method based on the Hmax and Hmin Morphological Operators, Series Research in Computer Science: Advances in Artificial Intelligence: Algorithms and Applications, Grigori Sidoreov (Ed.), Vol. 40, CIC-IPN, 2008, pp. 83-94.*
- [5] F. Rico. *La enorme importancia de la calidad del agua en la salud* [en línea], 23 de marzo de 2008 [citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible para World Wide Web: http://www.dsalud.com/numero50_3.htm
- [6] H.E. Bravo, J.C. Castro y M.A. Gutiérrez. *Producción de un bien medioambiental en el lago de Chapala y abastecimiento de agua potable en la ciudad de Guadalajara: un análisis de simulación con un modelo de redes. Ingeniería hidráulica en México.* Vol. XXIII, núm. 2, abril-junio de 2008, pp. 135-146.
- [7] NMX-B-324-CANACERO-2006, norma de la industria Siderúrgica-composición química de los aceros al carbono- Especificaciones y métodos de prueba.
- [8] O. Medina, Ortiza., V.H. Jacobo y R. Schouwenaars. *Corrosión microbiológica en aceros de bajo carbono. Ingeniería, investigación y tecnología.* Vol X, núm. 1, enero-marzo de 2009, pp. 9-19.
- [9] OXFORD INSTRUMENT MICROANALYSIS GROUP. *Link Isis operator's Guide.* Oxford Instruments (UK) Limited Microanalysis Group. Vol. I, England, UK, 1997, pp. 1-14.
- [10] P.L. Mangonon. *Ciencia de los Materiales. Selección y diseño.* México. Pearson Educación, Vol. 1, 2008, 824 pp.
- [11] P. Tamayo. *Estrategias para controlar y reducir desperfectos en los sistemas de gasoductos y oleoductos mexicanos rusos* [en línea], primavera de 2005 [citado el 20 de agosto de 2005]. Disponible para World Wide Web: http://www.cuid.edu.mx/primavera_2005/presentaciones/IPN_Virtual_Internet_Tamayo.pdf.
- [12] R.S. Treseder. *NACE Corrosion Engineers Reference Book.* 2th. Edition, Houston. NACE International, 1991, 233 pp.
- [13] SAE-J403-2000 Standard. Chemical composition of SAE carbon steels.
- [14] V. Fernández. Tesis de Maestría. *Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad Politécnica de Cataluña.* 2004.