



## Empleo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Determinación de las Causas de Fallas en el Acero al Carbono SAE 1018

Alonso Ernesto Solís Galindo, Juan Carlos González Islas y Ernesto Bolaños Rodríguez  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Escuela Superior de Tizayuca (ESTi)  
Tizayuca, Hidalgo, México, (+52) (771) 7172000 ext. 5700 y 5710  
email: [soliser@uaeh.edu.mx](mailto:soliser@uaeh.edu.mx)

### RESUMEN

En este trabajo se investigan las causas de las fallas del acero al carbono SAE 1018 usado para el suministro de agua potable. Se utiliza el microanálisis de rayos X, de muestras capturadas con un microscopio electrónico de barrido, el análisis de las microfotografías de las probetas con y sin daño en su superficie, así como se emplea el procesamiento digital de imágenes a través de la técnica de umbralado. Los principales resultados obtenidos demuestran que la baja calidad de la materia prima en el proceso de manufactura del acero es la causante de las fallas en las tuberías examinadas.

### PALABRAS CLAVES:

Procesamiento Digital de Imágenes, Umbralado, Fallas en Tuberías, Suministro de Agua Potable.

### I. INTRODUCCIÓN

El acero al carbono tiene muchas aplicaciones, entre las cuales se encuentra su utilización en la manufactura de tuberías para el suministro de agua potable, sin embargo, se pueden producir daños mecánicos, por corrosión y estructurales, los cuales generan pérdidas significativas económicas y de infraestructura, además de provocar daños en la salud cuando se emplea para consumo humano. (Callister, 1999) y (Treseder, 1991)

El silicio es usado en la industria del acero como componente de la aleación, existen aceros aleados (Duriron) el cual contiene el 15% de silicio, pero éste es resistente a la corrosión. El silicio es usado en aleaciones de cobre, tales como el bronce y latón. La existencia de inclusiones no metálicas como la del silicio en la estructura de los acero puede provocar fallas estructurales. (Mangonnon, 2001).

Los objetivos de este trabajo consisten en determinar las fallas en el acero al carbono SAE 1018, utilizado en tuberías para el transporte de agua potable, a través de la caracterización del material, el análisis de microfotografías y el procesamiento digital de imágenes en probetas con y sin daño en la superficie.

### II. DESARROLLO

#### Antecedentes del Problema

Diversas técnicas han sido empleadas para el estudio de fallas en tuberías que transportan hidrocarburos. El Micro-

análisis de Rayos X (SEM) ha sido utilizado para caracterizar el acero al carbono SAE 1018 que ha sufrido corrosión microbiológica en ductos de Petróleos Mexicanos (PEMEX). (Medina-Ortiza et al., 2009)

Investigaciones lideradas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México, en colaboración con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y la Academia de Ciencia Rusa se han centrado en investigar estrategias para controlar y reducir daños y fallas en ductos de México y Rusia. En este sentido han desarrollado métodos basados en la aplicación de la teoría cinética para determinar la vida útil de los sistemas de tuberías con un enfoque interdisciplinario y con el empleo de microanálisis de rayos X, obteniendo resultados interesantes. (Tamayo, 2005)

Trabajos de Investigación relacionados con el agua potable amigables con el ambiente utilizando alternativas para el suministro del vital líquido para consumo humano, han sido reportadas por (Bravo et al., 2008), donde se expone el caso de suministro desde el Lago de Chapala hasta la ciudad de Guadalajara, Jalisco en México a través de un análisis de simulación usando el Modelo de Redes.

En la revisión de la literatura, no se han encontrados reportes de la utilización de la técnica de Microanálisis de Rayos X, del análisis de imágenes micrográficas al interior de la superficie de las tuberías y del procesamiento digital de

imágenes a través del procedimiento de umbralado para detectar la presencia de silicio en el acero al carbono.

### Materiales y Métodos

Tres probetas de 2x2 cm de tuberías de acero al carbono SAE 1018 con daños y sin daños en la superficie han sido estudiadas a través de un Microscopio Electrónico de Barrido de la marca PHILIPS XL30 Modelo TMP, acoplado a un Espectrómetro de Dispersión de Ondas (EDS) usando cristales (Oxford Instruments Microanalysis Group, 1997).

Las imágenes tomadas en probetas con daños en la superficie de las tuberías, Figura 1, Figura 2, Figura 3 fueron analizadas utilizando SEM para determinar la concentración de silicio presente en la composición del acero al carbono, material de construcción de las tuberías.

El principio de determinación para el análisis elemental empleando este método se basa en el bombardeo electrónico de las probetas, lo cual permite identificar los elementos químicos presentes y determinar su concentración. Este elemento (silicio) se manifiesta en el material como inclusiones blancas, con bordes irregulares, depositado en capas superpuestas en diferentes niveles, en forma similar a como los ateromas se depositan dentro de las venas humanas, que finalmente producen la aterosclerosis.

Para emplear el procesamiento digital de imágenes, se realiza de acuerdo a la escala de las microfotografías digitales capturadas donde 10  $\mu\text{m}$  equivalen a 5,25 cm en una pantalla con una resolución espacial de 96 pixeles/pulgada, se calcula que la resolución espacial de las microfotografías es de 20 pixeles / micrones (0,05 micras / pixeles). La anchura media de las imágenes recortadas es de 48,6 micrones, lo que equivale a 972 pixeles de ancho. La altura media de las imágenes recortadas es de 32  $\mu\text{m}$ , equivalente a 640 pixeles de alto. Estos dan 622.080 pixeles de la superficie total máxima, equivalente a 1555  $\mu\text{m}$ .

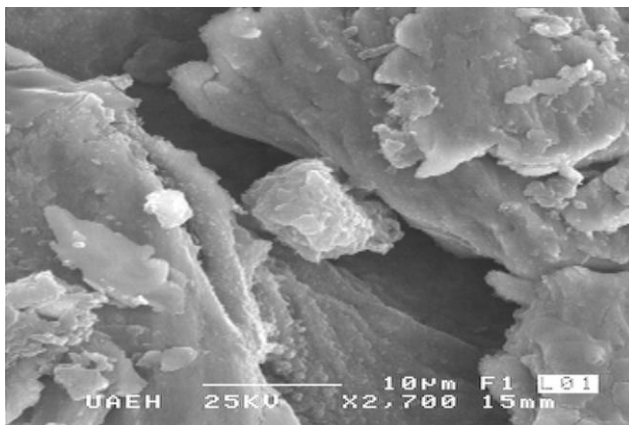


Figura 1. Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 con daño.

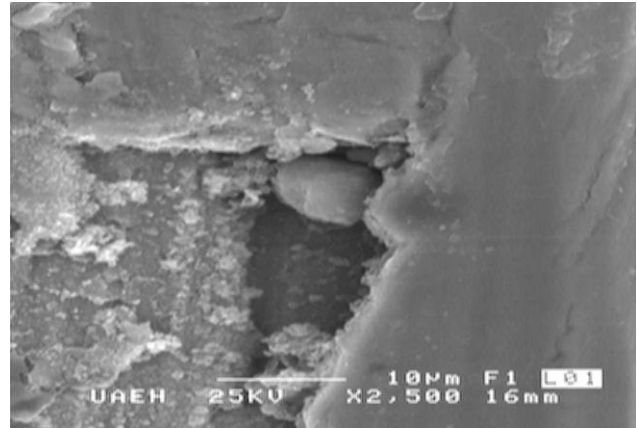


Figura 2. Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 con daño.

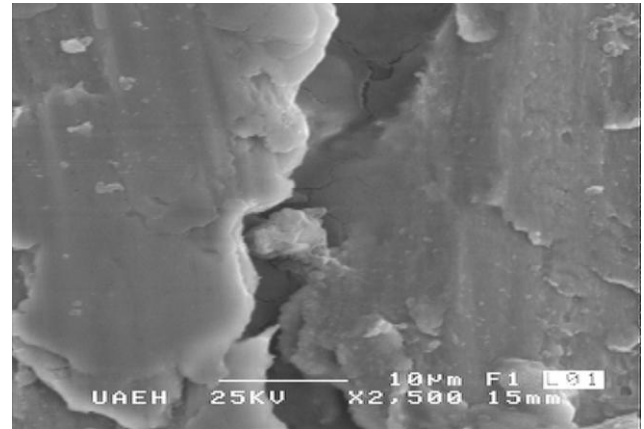


Figura 3. Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 con daño.

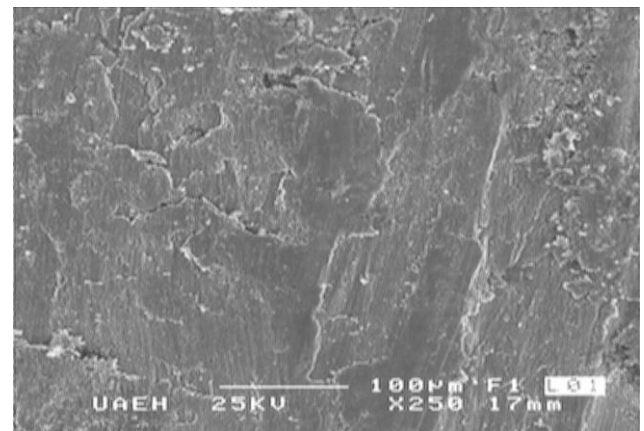


Figura 4. Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 sin daño.

El análisis de las imágenes de la Figura 1, Figura 2 y Figura 3 de las probetas con fallas y las obtenidas en la muestra normal, representada en la Figura 4 fueron realizadas empleando el procesamiento digital de imágenes, con el procedimiento de umbralado para extraer (segmentar) las regiones claras que indican la presencia de silicio, con el propósito de cuantificar el porcentaje del área ocupada por este elemento químico, con respecto al área total de la muestra (Felipe-Riverón y Suárez-Hernández, 2008). Si la imagen no contiene señales de silicio, entonces el área segmentada podrá ser considerada igual a cero, como se muestra en la Figura 4.

La esencia del trabajo de investigación consiste en determinar la localización y la distribución de inclusiones no metálicas, tales como la del silicio que puede ocurrir en el proceso de manufactura del acero al carbono SAE 1018 utilizando los métodos anteriormente mencionados.

### III. RESULTADOS

Las imágenes procesadas de las tres muestras de las tuberías dañadas (Figuras 5, 6 y 7) se muestran con pixeles blancos, que representan las inclusiones, y el fondo en pixeles negros. La Figura 8 mostrada en inversión de colores se presenta de esta manera debido a que en su formato original no permite discernir las características de una tubería sin daños. Con el fin de no introducir ningún error en los cálculos posteriores, que sería causado por la presencia de elementos blancos superpuestos en las microfotografías originales detallando los parámetros con los que fueron adquiridos las imágenes, que son analizadas, fueron recortadas para eliminar tales caracteres. Todas las imágenes resultantes fueron obtenidas utilizando el método de Otsu, conocido como técnica de Umbralado (Otsu, 1979), el cual es una técnica de análisis discriminante que supone que los pixeles de una imagen a umbralar pueden ser separados a través de un umbral en dos clases: la clase del objeto u objetos de interés, y la clase de los pixeles del fondo.

Es importante señalar que las mediciones en las microfotografías se hicieron sobre la base de la superficie en pixeles (px) de las zonas seleccionadas, sin tener en cuenta el eventual engrosamiento de las inclusiones de silicio que normalmente tienen lugar con el tiempo en el interior de las tuberías.

El porcentaje promedio ocupado por las inclusiones de silicio de las tres imágenes dañadas fue 92,30%, lo que es significativo. En las tres muestras de tuberías sin inclusiones de silicio (Figura 8), el porcentaje ocupado por el silicio fue de 0,16%, lo que es insignificante y en correspondencia a lo establecido para la composición de este material con respecto al silicio que determinan un mínimo de 0,15% y un máximo de 0,30%, lo cual se especifica en las normas nacionales e internacionales: NMX-B-324-2006, SAE-J403-2000 y ASTM-A-510-2003. Los resultados del análisis de las imágenes se presentan en la Tabla 1.

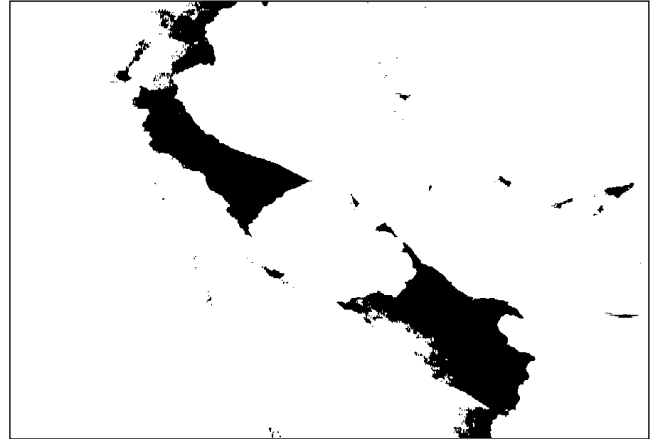


Figura 5. Procesamiento de la microfotografía de la muestra 1 tomada al interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 con daño en la superficie



Figura 6. Procesamiento de la microfotografía de la muestra 2 tomada al interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 con daño en la superficie.



Figura 7. Procesamiento de la microfotografía de la muestra 3 tomada al interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 con daño en la superficie.



**Figura 8. Procesamiento de la microfotografía de la muestra tomada desde el interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 en buen estado (invertida)**

**Tabla 1. Resultados de la medición de las inclusiones de silicio en el área estudiada.**

No. de la muestra	Estado	Tamaño (px)	Área sin inclusiones (px negros)	No. de objetos	Área de inclusiones (px blancos)	Porcentaje total de inclusiones (%)
1	Dañada	534,612	47,909	37	486,703	91.03
2	Dañada	532,208	37,350	61	494,604	92.98
3	Dañada	536,703	38,099	86	498,604	92.90
4	No dañada	529,840	528,942	132	898	0.17

#### IV. CONCLUSIONES

Al evaluar el acero al carbono SAE 1018, material de construcción utilizado para la fabricación de las tuberías que transportan agua potable mediante microanálisis de rayos X, muestran la presencia de una concentración alta de silicio en la aleación de las probetas con la superficie dañada, lo cual es muy superior a la reportada en la literatura y lo establecido en normas para este tipo de material, mientras que la concentración de silicio en las muestras sin daño en la superficie tuvieron un comportamiento similar a lo estandarizado para este tipo de acero. Esto se corrobora tam-

bién con las microfotografías tomadas en las muestras con alta concentración de silicio (inclusiones de color blanco) que se encuentran en las probetas con la superficie dañada, mientras que en las muestras sin dañar no se observan presencia de inclusiones. Además con el uso del procedimiento de umbralado se logra segmentar las partes claras de las imágenes que denotan la presencia de regiones de silicio, lo que permite determinar el porcentaje promedio de la zona ocupada por el silicio, que alcanza un porcentaje significativo de 92,30%, lo que demuestra que la presencia de altas concentraciones de silicio en las tuberías de acero al carbono SAE 1018 es la causa principal de las fallas y grietas en la superficie.

#### V. AGRADECIMIENTOS

La ejecución de este trabajo fue realizado gracias al financiamiento obtenido a través del proyecto de investigación del Programa del Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) UAEH-PTC-455: Sistema de Monitoreo de Procesos en la Industria Química.

#### VI. REFERENCIAS

Callister, D.W., 1999. Materials Science and Engineering: An Introduction, 5th Edition, Department of Metallurgical Engineering, University of Utah, John Wiley & Sons, Inc.

Felipe-Riverón E.M., Suárez-Hernández D., 2008. Grigori Sidorov (Ed.). CIC-IPN, México DF, Vol. 40, 83-94.

Mangonnon, P.L., 2001. Ciencia de los Materiales. Selección y diseño, Pearson Educación, Primera Edición, México, 631-642.

Medina-Ortiza, O., Jacobo, V.H., Schouwenaars, R., 2009. Rev. Ingeniería, Investigación y Tecnología, Vol. X, 9-19.

Otsu, N., 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. 9, 62-66.

Oxford Instruments Microanalysis Group, 1997. Link Isis Operator's Guide, Oxford Instruments (UK) Limited Microanalysis Group, Vol. I, England, UK, 1-14.

Tamayo, P., Summer of 2005, Estrategias para controlar y reducir desperfectos en los sistemas de gasoductos y oleoductos mexicanos rusos, [http://www.cuid.edu.mx/primavera\\_2005/presentaciones/IPN\\_Virtual\\_Internet\\_Tamyo.pdf](http://www.cuid.edu.mx/primavera_2005/presentaciones/IPN_Virtual_Internet_Tamyo.pdf).

Treseder, R.S., 1991. NACE, Corrosion Engineers Reference Book, 2nd Edition, NACE International, Houston.