

Determinación experimental de la difusividad térmica en acero API5L-X52

G. Peña-Rodríguez* A. Calderón y R. A. Muñoz Hernández

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional
Calz. Legaria 694, Colonia Irrigación, 11500 México D. F.

Oscar Flores-Macías, C. Angeles-Chávez

Instituto Mexicano del Petróleo,
Eje central L. Cardenas 152, Colonia San Bartolo Atepehuacan, 07730 México D.F.

Reportamos la determinación, por vez primera, de la difusividad térmica α de aceros API5L-X52 de uso en ductos. Para esto, aplicamos la técnica fotoacústica en una configuración de transmisión de calor a temperatura ambiente. Presentamos una comparación de nuestros resultados medidos con los valores de difusividad térmica reportados en la literatura en aceros con composiciones cercanas al acero API5L-X52, de los cuales no existen valores de difusividad térmica reportados hasta ahora. El valor de α medido para el acero API5L-X52 resulta casi un 50% inferior al hierro puro, un 30% menor al acero 1018 y un 12% inferior al acero 1020.

We report for first time the thermal diffusivity value of API5L-X52 steel used for manufacturing pipelines. We applied the Photoacoustic technique in a heat transmission configuration at room temperature. We present a comparison of our measured values and the reported values in literature for other types of steel with a near composition to API5L-X52 steel. The thermal diffusivity value of API5L-X52 steel is 50% less of the pure iron value, a 30% less of 1018 steel value and 12% less of 1020 steel value.

Keywords: Difusividad térmica; Acero API5L-X52; Técnica fotoacústica

1. Introducción

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los materiales es de un interés relevante en los criterios de selección de los mismos para cada determinada aplicación. La importancia de la medición de la difusividad térmica es crucial en el uso de diversas aleaciones industriales, en particular en aquellos materiales que son sometidos a condiciones extremas de seguridad. En particular, en los procesos de diseño y fabricación de ductos, las características y propiedades de los materiales elegidos impactarán, en buena medida, sobre las normas y especificaciones a tener en cuenta en la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de transporte de fluidos a través de ellos. En los últimos años, el estudio de la correlación entre propiedades mecánicas y térmicas ha sido de particular interés para las industrias de aceros y metales en general, y existen reportes recientes de estudios de correlación entre la dureza y la difusividad térmica (α) de diversos tipos de aceros [1, 2].

En México se mantiene en operación más de cincuenta mil kilómetros de ductos terrestres y alrededor de dos mil kilómetros en zonas submarinas, los cuales transportan petróleo y sus refinados [3], y es de vital importancia la seguridad e integridad en los ductos utilizados en el sistema de transporte de sus productos.

Motivados por lo anterior, y debido a que no hay reportes de la difusividad térmica de los aceros con especificación 5L y grado X52 por la American Petroleum Institute (API) [4,5], en este trabajo realizamos la determinación de la difusividad térmica de este material utilizado en México en

ductos para el transporte de petróleo y refinados. Para esto utilizamos la técnica fotoacústica en una configuración de transmisión de calor a temperatura ambiente. Esta técnica ha probado ser una poderosa herramienta precisa y versátil para la caracterización térmica en sólidos [6-11].

Las muestras para este estudio fueron suministradas por personal encargado del proyecto “Confiable y Optimización en la Evaluación del Riesgo para la Seguridad de Ductos” número D.00049 del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), y los resultados reportados en este trabajo serán utilizados en los procedimientos de simulación dentro de este proyecto de investigación tecnológica.

2. Procedimiento Experimental

2.1. Preparación de las muestras

Se utilizó una cortadora de baja velocidad marca South Bay Technology (SBT-650) con discos de diamante Buehler 11-4244 para realizar cinco cortes de poco menos de 200 micras de espesor y 1 cm² de área, a una sección sin costura de la pared de un tubo con costura y especificación API5L-X52 de 12 pulgadas de diámetro y composición química en porcentaje en peso dada por : 0.092 % C, 1.03 % Mn, 0.014 % P, 0.005 % S, < 0.005 % Nb, < 0.001 % V y < 0.002 % Ti. La uniformidad en la superficie de las muestras se realizó, usando máquina pulidora de baja velocidad SBT- 910 y discos de papel abrasivo Buehler 30-5118-240. Los espesores de las muestras (ver tabla 1) fueron medidos utilizando el micrómetro digital Mitutoyo

*Departamento de Física, Universidad Francisco de Paula Santander. A.A. 1055, Cúcuta, Colombia.

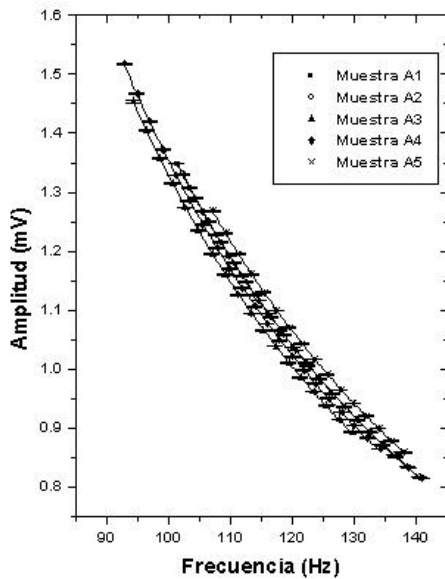


Figura 1. Amplitud de la señal PA vs frecuencia para las muestras de acero API5L-X52, la curva indica el mejor ajuste de la ecuación (1) a los datos experimentales.

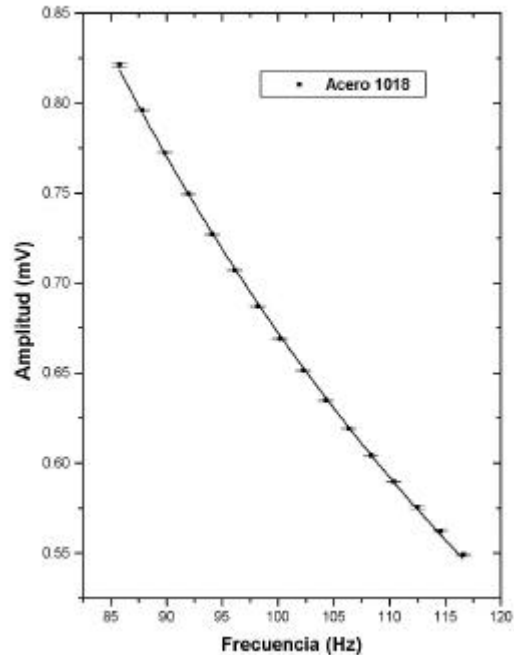


Figura 2. Amplitud de la señal PA vs frecuencia para la muestra de acero 1018, la curva indica el mejor ajuste de la ecuación (1) a los datos experimentales.

543-252. Las muestras limpias se colocaron en el interior de una campana de vidrio con silical gel, con el objetivo de evitar la presencia de algún tipo de oxidación en las superficies de las muestras.

chopper SR-540, un lock-in SR-850 y una computadora personal.

2.2. Métodos y aspectos teóricos

Para la determinación experimental de la difusividad térmica de las muestras, presentadas en la tabla 1, se utilizó la técnica fotoacústica (FA) en configuración de transmisión de calor, la cual es ampliamente reportada para este propósito [6 -11].

De acuerdo al modelo de difusión térmico para el efecto fotoacústico, la amplitud de la señal FA en función de la frecuencia de modulación de la radiación incidente esta dada por [6]:

$$A = \frac{C}{f \sqrt{\cosh(2l_s \sqrt{pf/a}) - \cos(2l_s \sqrt{pf/a})}} \quad (1)$$

donde C es una constante relacionada con las propiedades térmicas del aire, la intensidad de la luz y las características geométricas de la celda. El valor de la difusividad térmica (a) de la muestra en estudio se obtiene mediante el ajuste de la expresión (1) a los datos experimentales de la amplitud de la señal FA en función de la frecuencia de modulación f .

El equipo de laboratorio que se utilizó en este trabajo consta de un láser de argón Omnichrome 543-BS-A2, un

3. Resultados y Discusión

En la tabla 1, se presentan los resultados experimentales de la medición de la difusividad térmica de las cinco muestras (A1-A5) de aceros API5L-X52, así como el espesor l_s de cada una de ellas. En ésta se observa para las muestras de acero API5L-X52 que la rapidez con la que el flujo de calor se propaga a través del material no tiene una variación significativa entre una y otra muestra, obteniéndose un valor promedio de a de $0.116 \text{ cm}^2/\text{seg}$ con un error aproximado del 5%.

En la figura 1 se muestra la gráfica de la amplitud de los datos experimentales en función de la frecuencia de modulación para las muestras de acero API5L-X52. Las curvas continuas representan el mejor ajuste de los datos experimentales a la ecuación (1) para cada caso. Se observa un excelente ajuste en el rango de 90 a 140 Hz lo cual se refleja en un valor de la desviación cuadrática media del orden de 10^{-6} .

Para tener un criterio de comparación con los resultados medidos en el acero API5L-X52, en la tabla 2 se presentan los valores reportados en la literatura [12, 13] de a a temperatura ambiente del hierro puro y algunos tipos de aceros al carbón manganeso.

De los valores de a dados en la tabla 2 observamos que el valor de a medido para el acero API5L-X52 está en el orden de magnitud de a para otros tipos de aceros a bajo carbón. Por otra parte, se advierte que a medida que las

Tabla 1. Valores medidos de la difusividad térmica de las muestras de aceros API5L-X52 y acero 1018.

Muestra	l_s (μm)	$a \times 10^{-3}$ (cm^2/s)
A1	167 ± 3	118 ± 5
A2	170 ± 3	116 ± 5
A3	175 ± 6	116 ± 6
A4	176 ± 3	116 ± 5
A5	170 ± 5	115 ± 6
1018	234 ± 2	167 ± 9

concentraciones de carbono y manganeso disminuyen, el valor de a aumenta, ocurriendo el valor máximo de a para el hierro puro.

Para comprobar los resultados reportados para los aceros de bajo carbón, se realizó la medida experimental de a para el acero 1018 usando la técnica FA. El ajuste a los datos experimentales para esta muestra se presenta en la figura 2. En la tabla 1, se presenta el valor de a encontrado al ajustar los datos experimentales con la expresión (1), así como el espesor de la muestra utilizada para tal propósito. Al comparar el valor encontrado de a (ver tabla 1) con el reportado (ver tabla 2) para el acero 1018, observamos que son prácticamente similares, lo que nos da confianza en los valores reportados de a para las muestras de acero API5L-X52.

4. Conclusiones

Hemos reportado, por vez primera, la medición de la difusividad térmica de aceros de bajo carbón con la especificación 5L y grado X52 de la American Petroleum Institute (API). Esta determinación se realizó mediante la aplicación de la técnica fotoacústica en una configuración de transmisión de calor.

Se observa que el valor de a medido para el acero API5L-X52 ($0.116 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$) esta en el orden de magnitud de a para otros tipos de aceros a bajo carbón con composiciones cercanas a este (ver tabla 2). Además, el valor de a medido para el acero API5L-X52 resulta casi un 50% inferior al hierro puro, un 39% menor al SAE 1010, un 30% inferior al acero 1018 y un 12% menor al acero 1020.

También se comprueba que el valor de a encontrado para el acero 1018, es exactamente igual al reportado en la literatura.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI-IPN) por el apoyo otorgado y a la competencia de Operación y Seguridad a través del proyecto D.00049 del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Además, agradecemos al biólogo Ignacio Martínez Loza de CICATA-IPN por su asistencia técnica.

Tabla 2. Valores reportados de la difusividad térmica a temperatura ambiente del hierro puro y algunos tipos de aceros al carbón manganeso [10, 11].

Muestra	C (% Wt)	Mn (% Wt)	$a \times 10^{-3}$ (cm^2/s)
Fe Puro	-	-	227
SAE 1010	0.1	0.42	191
Acero 1018	0.18	~ 0.50	165
Acero 1020	0.20	~ 0.60	130

Referencias

- [1] D. Fournier, JP Roger, A. Bellouati, C. Boué, H. Stam y F. Lakestani. Analytical Science. Vol 17. s158-s160, (2001).
- [2] H. G. Walther, D. Fournier, J.C. Krapez, M. LuuKKala, B. Schmitz, C. Sibilia, H. Stamm y J. Thoen. Analytical Science. Vol 17. s165-s168, (2001).
- [3] "La investigación en el Instituto Mexicano del Petróleo", IMP, 107, (2000).
- [4] Comunicación vía e-mail con **Mike Spanhel** Coordinator, Upstream Standards, American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005-4070. Tel.202-682-8292, Fax. 202-962-4797, E-mail spanhel@api.org
- [5] Comunicación vía e-mail con **Marie T Brisman**. NACE International. Member Service Department. E-mail: marie@mail.nace.org
- [6] A. Calderón, R.A. Muñoz Hernández, S.A. Tomás, A. Cruz Orea y F. Sánchez Sinencio. J. Appl. Phys. **84**, 6327 (1998).
- [7] G. Peña Rodríguez, A. Calderón Arenas, R.A. Muñoz Hernández, S. Stolik, A. Cruz Orea y F. Sánchez Sinencio. Analytical Science. **17**, s357 (2001).
- [8] A. Calderón, J.J. Alvarado, Yu. G. Gurevich, A. Cruz Orea, I. Delgadillo H. Vargas y L.C.M. Miranda. Physical Review Letters. **79** (25) 5022 (1997).
- [9] Calderón, R. A. Muñoz Hernández, J. F. Sánchez, J. L. Herrera, A. Cruz y F. Sánchez Sinencio. High Temperature-High Pressures, **32**, 355 (2000).
- [10] M. Mansanares, A.C. Bento, H. Vargas, N.F. Leite y L.C. M. Miranda, Phys. Rev. B **42**, 4477 (1990).
- [11] E. Marín, J.L. Pichardo, A. Cruz-Orea, P. Diaz, G. Torres-Delgado, I. Delgadillo, J.J. Alvarado-Gil, J. G. Mendoza-Alvarez y H. Vargas. J. Phys. D **29**, 981 (1996).
- [12] D.P. Almond and P.M. Patel. "Photothermal science and techniques", p. 16-17, Chapman & Hall. London (1996).
- [13] Y. S. Touloukian, Thermophysical Properties of Matter. **10**. New York-IFI/Plenum. (1973).