

SISTEMA DE MEDICIÓN DE DENSIDAD SUPERFICIAL DE U EN PLACAS COMBUSTIBLES TIPO MTR DE U_3Si_2 MEDIANTE RADIOGRAFÍA

Martín A. Hey - Fernando Gomez Marlasca

Participantes: Echenique, P. – Mohiño, E. – Restelli, M. – Rossi, G.

Elementos Combustibles para Reactores de Investigación

U. A. Combustibles Nucleares - CAC - CNEA

Contacto: marlasca@cnea.gov.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se describe un método de medición de densidad superficial de uranio en placas combustibles MTR de alta densidad de siliciuro de uranio (U_3Si_2), valiéndose de la utilización de radiografía industrial, un juego de patrones fabricados ex profeso, un densitómetro óptico de transmisión, y un modelo cuantitativo de análisis y medición.

La elección de este método en particular responde a su alta precisión, bajo costo y fácil implementación en los sistemas de control de calidad vigentes.

SYSTEM FOR URANIUM SUPERFICIAL DENSITY MEASUREMENT IN U_3Si_2 MTR FUEL PLATES USING RADIOGRAPHY

ABSTRACT

The present paper describes a method for measuring uranium superficial density in high density uranium silicide (U_3Si_2) MTR fuel plates, through the use of industrial radiography, a set of patterns built for this purpose, a transmission optical densitometer, and a quantitative model of analysis and measurement.

Our choice for this particular method responds to its high accuracy, low cost and easy implementation in the standing quality control systems.

1. Introducción

Esencialmente, el sistema de medición de densidad superficial de Uranio (U) que hemos desarrollado, se basa en el análisis de la correlación que existe entre las densidades ópticas superficiales presentes en la radiografía de una placa combustible, con las de un conjunto de patrones de densidades superficiales de U conocidas, fabricados para tal fin.

Para llevar a cabo mediciones sobre una determinada placa combustible, se toma una radiografía simultánea de ésta junto con los patrones calibrados (*figura 1*). Luego, mediante un densitómetro óptico de transmisión, se colectan valores de densidad óptica sobre la radiografía, tanto de los patrones, como de los puntos en los que se quiere medir la densidad superficial de U. Luego se someten estos datos al siguiente tratamiento: se plasman las lecturas tomadas sobre los patrones en un gráfico de densidad óptica radiográfica versus densidad superficial de U, se interpola una función, de modo de tener una relación continua entre los valores de densidad óptica y de densidad superficial; y una vez establecida esta relación se obtienen los valores de densidad superficial de U equivalentes en la placa combustible, reemplazando sus valores de densidad óptica en la función previamente obtenida.

2. Desarrollo

2.1 Construcción de los patrones

La construcción de un juego de patrones confiable y sencillo se hizo teniendo en cuenta que, experimentalmente, el uranio es mucho más opaco al pasaje de los rayos X que el silicio o el aluminio. Fue por esta razón que decidimos despreciar los efectos radiográficos de estos dos elementos, y hacer nuestros patrones a partir de un lingote de aleación binaria de U–Al. Su construcción se llevó a cabo maquinando piezas de aleación a diferentes espesores; lo que permite que, al tomar una radiografía perpendicular a éstos, se obtengan diferentes densidades superficiales de U. De todas formas, para minimizar aportes espurios, los espesores de los patrones y la densidad volumétrica de U no se alejaron ostensiblemente de los valores nominales del tipo de placa combustible para el cual desarrollamos este dispositivo.

2.2 Modelo cuantitativo de análisis y medición

Para que el modelo de análisis que proponemos funcione correctamente, debe garantizarse primero que las condiciones de radiografiado sean óptimas. Es decir: debe lograrse, mediante ajuste de los parámetros del equipo radiográfico, que la densidad óptica promedio sobre la placa sea de alrededor de 1,8 D (unidades densitométricas estándar).

- Antes de tomar la radiografía, se calcula la densidad superficial de U de cada patrón mediante la ecuación $\sigma^{(\text{patrón})}_i = \rho_a Q_u e_i$. Donde $\sigma^{(\text{patrón})}_i$ es la densidad superficial de U, Q_u es la razón de U en la aleación, ρ_a es su densidad y e_i es el espesor del patrón. Dado que los patrones varían su espesor asemejando los peldaños de una escalera, llamaremos *cuña escalonada* al conjunto de patrones.

- Una vez tomada la radiografía, y para minimizar errores estadísticos, se toman 8 lecturas densitométricas de cada patrón. A cada uno de los escalones se le asignará entonces, como valor más probable, su densidad óptica promedio $(x_m)_i$.

- Como en la práctica se observa que, aproximadamente, la densidad superficial de U de la placa combustible (σ) es inversamente proporcional a la densidad óptica radiográfica (x), la función que se propone para interpolar entre los pares (x_i, σ_i) de los escalones de la cuña escalonada es,

$$\sigma(x) = \frac{1}{a + bx}$$

donde los parámetros a y b se ajustan mediante software de análisis numérico, y dependen de las condiciones radiográficas (*figura 2*).

- Para establecer el intervalo de certeza sobre los valores de la función $\sigma(x)$, se propone trazar una curva de máximo y otra de mínimo valor posible. Para la de máximo se interpola una función de la misma forma, con valores $(\sigma + \varepsilon_y)_i$, $\sigma_{\max}(x)$, y para la de mínimo una con valores $(\sigma - \varepsilon_y)_i$, $\sigma_{\min}(x)$, donde ε_y es el error de densidad superficial de U del escalón, calculado por propagación de errores. Ver *figura 3*.

- Dado que el valor de las x también tiene error (ya sea instrumental y/o estadístico), lo que se propone para obtener el intervalo de certeza de la densidad superficial de U, es lo siguiente: Sea ε_x el error instrumental de una medición puntual de densidad óptica radiográfica o bien la desviación estándar de un conjunto de valores. Se define entonces el error de densidad superficial de U como,

$$\varepsilon_\sigma(x, \varepsilon_x) = \text{máx} \{ [\sigma_{\max}(x - \varepsilon_x) - \sigma(x)], [\sigma(x) - \sigma_{\min}(x + \varepsilon_x)] \}$$

Quedando entonces la densidad superficial de U acotada entre,

$$\sigma(x, \varepsilon_x) = \sigma(x) \pm \varepsilon_\sigma(x, \varepsilon_x)$$

3. Resultados

Para corroborar la validez del método, comparamos los valores de x de la cuña escalonada con los de una placa combustible de U_3Si_2 , de carga de U y superficie de meat conocida. La comparación se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Por cálculo, es fácil ver que la densidad superficial de U promedio de la placa es

$$\sigma_{placa}^{(calculado)} = m_U / [\text{área del meat}]$$

donde m_U es la masa de U. En la placa combustible que utilizamos, ese valor es

$$\sigma_{placa}^{(calculado)} = (0,29 \pm 0,01) \text{ gU/cm}^2$$

- Por otro lado, utilizando el sistema propuesto, tomamos 31 mediciones aleatorias de x de la placa combustible, calculamos el valor medio (x_m) y la desviación estándar (sd) de la distribución y, tomando el valor $x_m \pm sd$ como el más probable (concretamente, $1,50 \pm 0,06 D$) y reemplazando en la función $\sigma(x, \epsilon_x) = \sigma(x) \pm \epsilon_\sigma(x, \epsilon_x)$, obtenida a partir de la cuña escalonada¹, llegamos como valor (promedio) de densidad superficial de U en placa a

$$\sigma_{placa}^{(medida)} = (0,28 \pm 0,02) \text{ gU/cm}^2$$

Como se puede ver, ambos valores coinciden en su intervalo de certeza, permitiendo esto afirmar que *la densidad superficial de U promedio de la placa combustible fue medida correctamente*, con un error menor al 8%.

4. Conclusiones

Hemos visto que es posible implementar un sistema de medición de densidad superficial de U en placas combustibles de U_3Si_2 . Nos decidimos por este método en particular, porque los métodos alternativos de medición o bien son mayormente cualitativos, como el descrito en los *RERTR Fabrication Procedures* de 1980, o bien ofrecen precisiones similares (como los detectores pasivos de radiación, o los medidores de absorción de rayos gamma de fuente externa), pero cuestan varias veces más que nuestro dispositivo.

Por lo tanto, creemos que este sistema de medición, pequeño desarrollo de software mediante, puede implementarse correctamente en sistemas de control de calidad de placas combustibles de U_3Si_2 , y desarrollarse fácilmente para otros tipos de placas combustibles y materiales.

5. Agradecimientos

Los autores quisiéramos agradecer a la Lic. Silvia Balart por habernos cedido su laboratorio y su tiempo, y a la Lic. Patricia Echenique por habernos dado la oportunidad de llevar adelante este desarrollo.

=====

6. Referencias

[1] Domagala, R. F. "Radiography of plates" RERTR Fabrication Procedures No. 14, Julio 1980 – ANL/RERTR/TM-15 "Summary Report on Fuel Development and Miniplate Fabrication for the RERTR Program, 1978 to 1990" T.C. Wiencek – Agosto 1995.

[2] Wiencek, T. C., Prokofiev, I. G. "Low-Enriched Uranium-Molybdenum Fuel Plate Development", *RERTR Proceedings*, Octubre 2000.

¹ Ver Tabla 1.

7. Figuras y Tablas

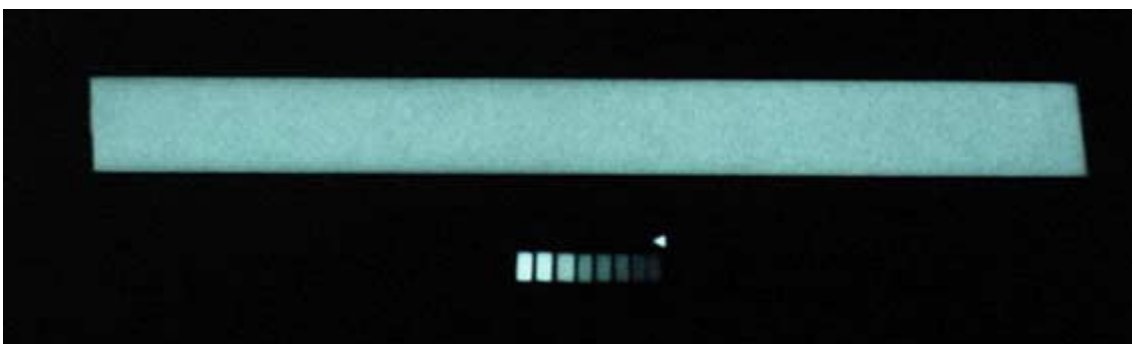


Figura 1: Radiografía simultánea de una placa combustible y el conjunto de patrones

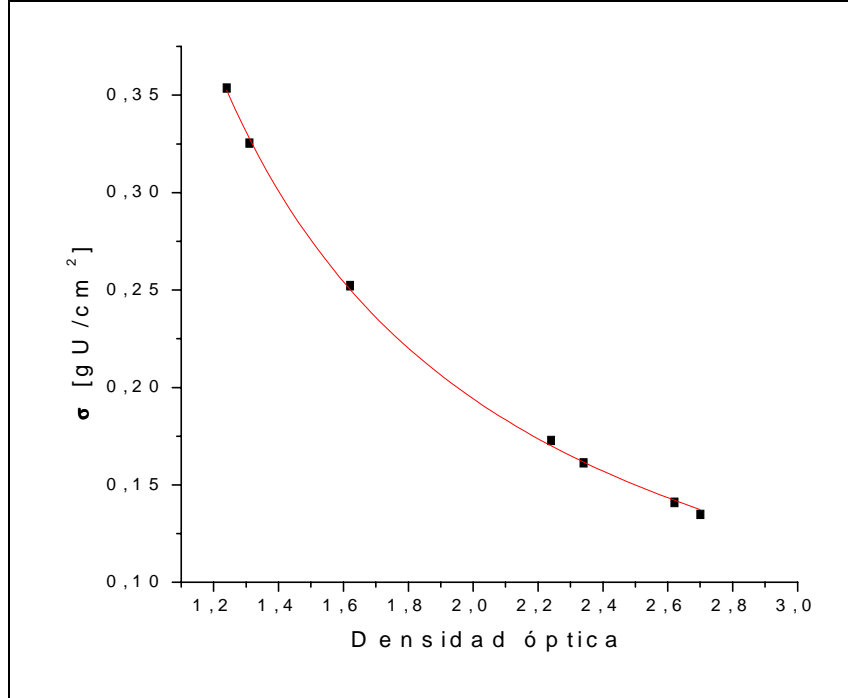


Figura 2: Densidad superficial de U vs. Densidad óptica radiográfica (de los patrones) y $\sigma(x)$ interpolada.

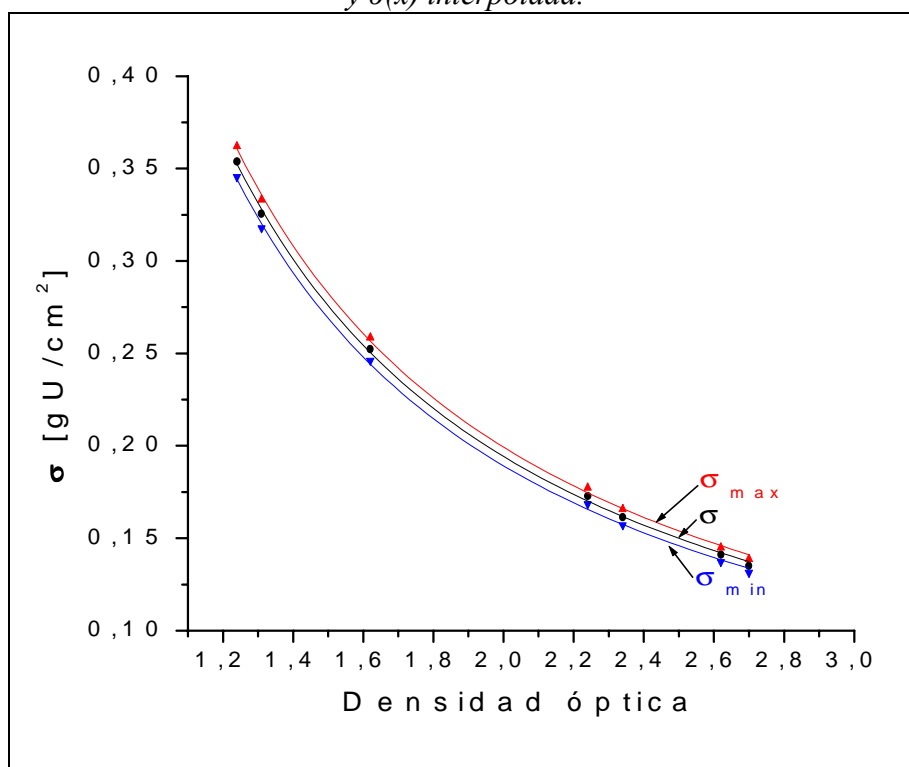


Figura 3: $\sigma(x)$ interpolada, junto con $\sigma_{max}(x)$ y $\sigma_{min}(x)$.

Patrón N°	x [D]	σ_i [gU/cm ²]	ϵ_y [gU/cm ²]
1	1,24	0,354	0,008
2	1,31	0,326	0,008
3	1,62	0,252	0,006
4	2,24	0,173	0,005
5	2,34	0,161	0,004

6	2,62	0,141	0,004
7	2,70	0,135	0,004

Tabla 1: Conjunto de valores para cada uno de los patrones de la cuña escalonada. Estos valores corresponden a la radiografía utilizada en la medición del Capítulo 3.