

# Caracterización eléctrica de una barra de grafito convencional expuesta a radiación UV

Jessica Paola Cordova-Fraga, Alondra Itzel Hernandez-Gutierrez, Gonzalo Paez-Padilla, Modesto Antonio Sosa-Aquino, Svetlana Kashina, Francisco Miguel Vargas-Luna, Carlos Villaseñor-Mora, Jose Marco Balleza-Ordaz

**Abstract**—El grafito es una forma alotrópica del carbono que es utilizado para la fabricación de lápices y otros productos. Una de sus propiedades es la conducción eléctrica debido a su estructura cristalina, lo que permite el libre movimiento de los electrones por su estructura. Por otro lado, grafito presenta sensibilidad a la radiación ionizante, utilizándose como un detector de termoluminiscencia (TLD). En el presente trabajo se evaluó la respuesta de una barra de grafito convencional, colocada como carga resistiva en un sistema electrónico pasivo de tipo capacitor – resistor. Se midieron los cambios de voltaje producidos por una fuente de voltaje (GWINSTEK, Taiwán), la cual genera 10 V continuos. Se obtuvieron una serie de respuesta en base al voltaje y tiempo, mostrada en el osciloscopio (Tektronix, China), evidenciando un cambio en el voltaje a distintas frecuencias durante la exposición de una fuente UV (365 nm de longitud de onda). De esta manera, las mediciones se realizaron en dos etapas: la primera con el grafito sin exposición a la luz UV y la segunda durante la exposición con el propósito de presentar un método alternativo para medir radiación ionizante. Los resultados generados muestran una respuesta ante la exposición UV, denotando que el material presenta un cambio en el movimiento de sus electrones que puede interpretarse como una absorbancia. Dejando a futuras investigaciones el análisis a otras fuentes de radiación ionizante, como sería el uso de rayos-X, rayos gamma, entre otros.

**Index Terms**—Grafito, luz UV, caracterización eléctrica.

## I. INTRODUCTION

En los últimos años, ha habido un gran avance en el uso de radiaciones en la medicina, cuyo único propósito es mejorar la calidad de vida de las personas y ofrecer beneficios para la salud. No obstante, el uso de radiaciones también implica ciertos riesgos para la salud, como el desarrollo de cáncer y efectos negativos en el sistema inmunológico, entre otros. Es por ello que en cualquier ámbito clínico en donde se utilicen radiaciones con fines médicos, existen trabajadores expuestos de manera continua a la radiación ionizante [1].

Estos trabajadores, conocidos como Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) requieren de un dosímetro termoluminiscente (TLD) para determinar la cantidad de radiación a la que han estado expuestos durante su jornada laboral. Este instrumento les indica cuando han sobrepasado el límite máximo de dosis (500 mSv) [2]. Por otro lado, no solo es deber de los hospitales de proporcionar los dosímetros al POE, si no que dependen de terceros para obtener la lectura de estos instrumentos y así mantener la seguridad de su personal. A esto, se le debe sumar otro inconveniente, que es el tiempo que tarda

el hospital en obtener dicha lectura, el cual puede ser de 1 a 2 semanas. Esta demora se debe a que, para obtener la dosis absorbida, se basa en un fenómeno termoluminiscente y se requieren equipos costosos (aproximadamente 22, 888.00USD) [3]. Asimismo, los TLD deben ser sintetizados bajo condiciones específicas, teniendo dimensiones en el rango de milímetros, aumentando el riesgo de extravió o daño del instrumento [4].

En consecuencia, se han investigado diferentes materiales y técnicas de lectura para posibles dosímetros, con el objetivo de reemplazar los comerciales utilizados actualmente, como vendría siendo el Li:F dopado con Mg, Ti. Uno de los materiales que se han considerado como una posible alternativa es el grafito, el cual es un material accesible y tiene un número atómico efectivo ( $Z_{\text{eff}}$ ) de 7.46, similar al  $Z_{\text{eff}}$  del cuerpo humano de 7.46. Igualmente, el grafito es sensible a la influencia de neutrones, iones pesados y radiación de alta energía [5]. Estas propiedades resultaron de gran interés al explorar su viabilidad como sustituto del TLD convencional.

En este contexto, se ha desarrollado un estudio que propone utilizar el grafito como material dosimétrico y caracterizar su respuesta eléctricamente, en vez de por termoluminiscencia. Con ello anterior, es posible obtener una respuesta inmediata, sin depender de terceros para la lectura del material. Es importante mencionar que el trabajo consiste en varias etapas, siendo esta la inicial en la que se analiza el comportamiento del material ante una fuente de luz ultravioleta (UV) no ionizante. Las etapas del trabajo se componen de la siguiente forma:

- Encontrar respuesta eléctrica tras variación a una fuente UV,
- Elegir el grafito que presente la mayor sensibilidad,
- Encontrar la frecuencia con mayor sensibilidad,
- Probar con diferentes longitudes de onda.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Grafito

El grafito es una forma alotrópica del carbono, cuyos átomos se enlazan en una configuración hexagonal compacta formando planos o capas paralelas. Dentro estas capas, cada átomo está enlazado covalente con otros tres, a esto se le llama hibridación  $sp^2$ . Es clasificado como un cristal covalente gracias a sus enlaces, lo que de una energía de enlace alta y generando así que sus puntos de fusión y ebullición sean altos. También es considerado un semiconductor típico, por lo que se utilizó

The authors are with Universidad de Guanajuato, División de Ciencias e ingenierías, Campus León, Mexico. Corresponding author: J.M. Balleza Ordaz (jm.balleza@ugto.mx).

Manuscript received on 12/09/2023, accepted for publication on 14/03/2024.

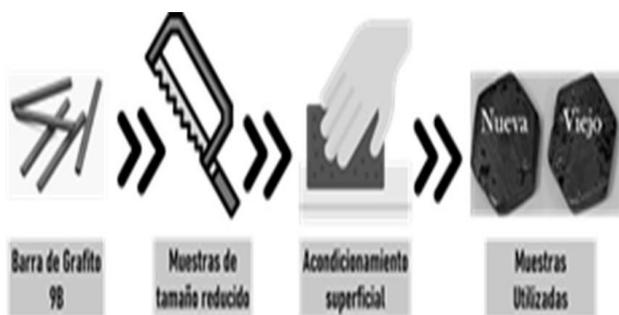


Fig. 1. Obtención de muestras de grafito

inicialmente para TLD. Esto es debido a que este fenómeno requiere de materiales semiconductores que posean trampas de electrones para obtener una lectura de la dosis de radiación que reciben.

Los grafitos utilizados son comercialmente generados para el área de dibujo, teniendo su clasificación en tres grupos: H (hard) que nos dice la dureza del material, B (Blackness) suavidad u oscuridad del material. Mientras mayor sea el número B, más suave será el lápiz y más oscura será la marca que produce contra el papel. En el caso del H, mientras mayor sea su número, mayor será la marca producida [6]. El grafito utilizado para este estudio es un 9B, el cual posee 90% de grafito, 5% de cera y 5% de arcilla. Esto con el propósito de conocer la respuesta del material que presentará el mayor porcentaje de grafito y a partir de este punto, variar diversos factores como sería el cambio a un grafito 2 B.

### B. Espectroscopía Raman

La técnica Raman es un método de análisis que permite la identificación de los componentes presentes en una muestra y proporciona información acerca de su estructura. Por ejemplo, la intensidad de algunos picos se puede utilizarse para determinar la cristalinidad del material, así como los defectos que se han generado. Esta técnica se basa en la dispersión inelástica de la luz monocromática, la cual incide en la muestra mediante un rayo láser (cuya longitud de onda es conocida), provocando la absorción de luz y una vibración de las moléculas presentes en las muestras. Cuando la luz monocromática ha interactuado con la muestra, una parte de esta ha cambiado su longitud de onda y es a este fenómeno lo que se le conoce como efecto Raman [7].

En el caso de nuestro material, el grafito, se observan picos característicos conocidos como pico G y pico D. Al primero se le denomina “Graphite” el cual puede encontrarse alrededor de  $1580\text{ cm}^{-1}$  y este asociado con los enlaces del carbono  $\text{sp}^2$ . Este es el pico que nos proporciona información sobre el orden estructural de la red cristalina y confirma la presencia de grafito en la muestra. Por otro lado, el pico D llamado así por “Defect” de defectos, se encuentra alrededor de  $1350\text{ cm}^{-1}$  y nos indica los defectos estructurales en el material, ya que este asociado con los enlaces  $\text{sp}^3$  [8].

Como se mencionó anteriormente, con esta técnica se puede calcular la cristalinidad de la muestra. Para ello es necesario encontrar el área debajo de la curva de los picos G y D, los cuales se representarán como  $I(G)$  e  $I(D)$  respectivamente. Por

lo que el cálculo correspondiente es una simple división como la siguiente:

$$\frac{I(G)}{I(D)} 100 = \text{Cristalinidad.} \quad (1)$$

Con la ecuación anterior se puede obtener una caracterización de la cristalinidad y entender a profundidad lo que sucede en el material.

### C. Función de transferencia

La función de transferencia es una herramienta que permite comprender el comportamiento de un sistema al conocer únicamente su función de entrada y de salida. Con esta función es posible describir el comportamiento de un sistema que sea invariante en el tiempo, solo es necesario tener la transformada de Laplace de la respuesta al impulso en el tiempo y considerar que todas las condiciones iniciales son iguales a 0.

La función de transferencia se representa comúnmente de la siguiente manera:

$$G(s) = \frac{C(s)}{E(s)} \quad (2)$$

En donde  $G(s)$  es la función de transferencia,  $C(s)$  la función de salida y  $E(s)$  la función de entrada. Hay que recordar que todas están representadas como su transformada de Laplace.

Con esta función es posible entender lo que sucede en el material con el conocimiento de solo dos funciones. Este es el principio que se utiliza para caracterizar eléctricamente el grafito. Se tendrá un voltaje de entrada ( $E(s)$ ) y uno de salida ( $C(s)$ ), construyendo así su función de transferencia y observando los posibles cambios que presente ante diferentes factores.

## III. METODOLOGÍA

### A. Preparación de muestras

Se utilizó una barra de grafito convencional 9B, el cual presenta el mayor porcentaje de grafito en la su composición. Esta barra de grafito fue sometida al procedimiento mostrado en la figura 1, en donde un serrucho permitió obtener muestras de menor tamaño y cuyas superficies, fueron lijadas posteriormente para mantener la capa externa lo más lisa y homogénea posible. Obteniendo así muestras que se dividieron en dos grupos: muestra vieja y muestra nueva. En el caso del primer grupo, la muestra fue irradiada en 10 ocasiones previas a la fuente UV (365 nm); mientras que el segundo grupo era la primera ocasión en la que se irradiada.

### B. Irradiación de muestras

Para irradiar las muestras, se utilizaron un par de caimanes que conectaban el grafito al circuito y posteriormente se colocaba debajo de la fuente UV. Esta fuente fue proporcionada por la División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato. La fuente contaba con  $1.22\text{mW}$  y  $365\text{ nm}$  de longitud de onda. Las muestras se irradiaban por un minuto y posteriormente se registraba la medición. Una vez terminado este proceso, se dejaba descansar a la muestra durante otro minuto y registraba nuevamente la medición. De esta manera se obtiene una lectura “base” que sería la respuesta del material sin exposición y una con la exposición.

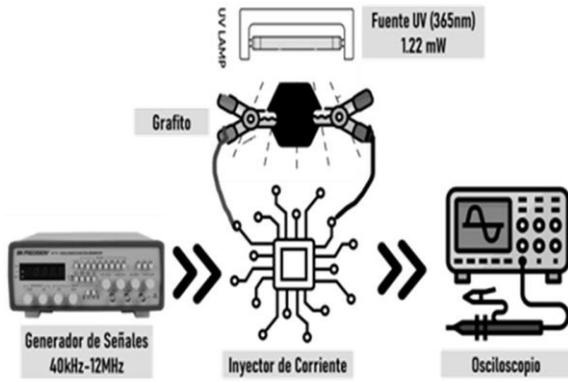


Fig. 2. Instrumentación empleada para la caracterización eléctrica del material

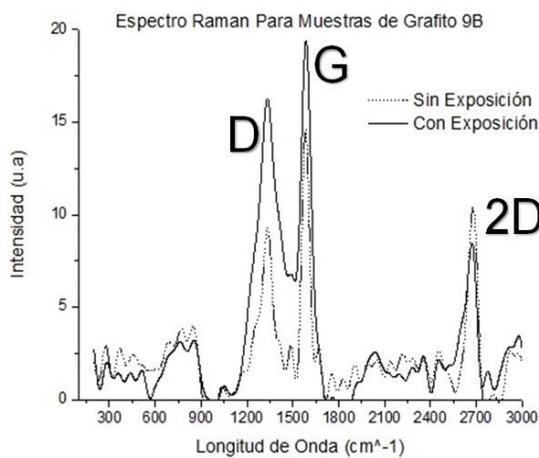


Fig. 3. Espectro Raman para muestras con y sin exposición a fuente UV de 365 nm

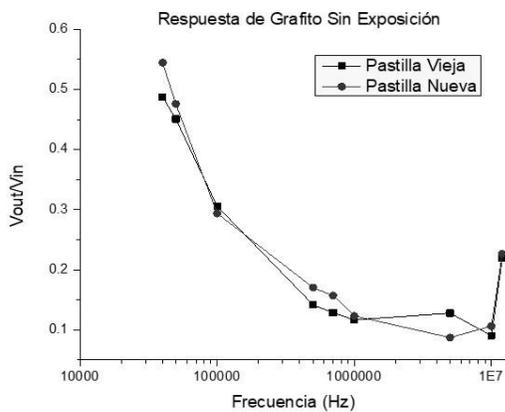


Fig. 4. Caracterización eléctrica de muestra Sin Exposición a Fuente UV con picos en 100 kHz, 700kHz y 12 MHz

TABLE I

PORCENTAJES DE CRISTALINIDAD OBTENIDAS A PARTIR DE LA ESPECTROSCOPIA RAMAN COMO:  $I(G)/I(D)$

Cristalinidad sin Exposición	Cristalinidad con exposición	Porcentaje de aumento
55.18%	70.57%	27.89%
70.60%	88.65%	25.57%
61.89%	78.51%	26.85%

### C. Instrumentación

Por otro lado, para la caracterización eléctrica se utilizó un inyector de corriente, un osciloscopio y un generador de funciones, tal y como se muestra en la figura

2. El generador de señales introducía una frecuencia entre el 40 kHz a 12 MHz, mientras que el inyector de corriente introducía una corriente fija al material. La combinación de estos dos instrumentos permitió obtener un voltaje de salida y entrada, necesarios para construir la función de transferencia.

Se utilizó espectroscopia Raman en la muestra vieja y en la muestra nueva, esta última sin ninguna exposición previa a la radiación. Ambas muestras se analizaron en forma de polvo en el equipo, no en pastilla como para la caracterización eléctrica. En cuanto al equipo, se utilizó un láser de 730 nm, durante 5 segundos de exposición para obtener los resultados.

## IV. RESULTADOS

### A. Espectroscopía Raman

Para el análisis Raman, se utilizó la muestra nueva y vieja en polvo. Ambas fueron irradiadas con una luz de 730 nm, donde se observa el comportamiento de la figura 3.

Se aprecia un aumento de los picos G y D al momento de recibir la radiación UV. Por ello, se calculó la cristalinidad para confirmar un posible cambio en la estructura. Para este cálculo se utiliza la ecuación 1 y son los resultados mostrados en la tabla 1. En donde se observa que existe un aumento en la cristalinidad de al menos un 25%. Es importante recordar que la muestra parte de la misma barra de grafito.

### B. Caracterización eléctrica

En el caso de la caracterización eléctrica, se obtuvo un voltaje de entrada y salida, lo cual representa la función de transferencia. Este fue el resultado que se grafica vs la frecuencia. Obteniendo dos figuras 5 y 4. En la figura 5 se aprecian picos significativos en 100 kHz, 5 MHz y en 12 MHz. Mientras que en la figura 4, el pico de 7 MHz se invierte.

## V. CONCLUSIONES

El grafito es un material que se ha utilizado con más frecuencia en el campo de la radiación médica debido a sus propiedades versátiles y su disponibilidad. En este trabajo, se llevó a cabo la caracterización eléctrica y un análisis de cristalinidad a través de Raman. Teniendo en cuenta que es un trabajo en proceso, se obtuvieron resultados interesantes. En cuanto a la cristalinidad, se presenta un promedio de aumento del 26.77%. Lo cual representa que un reordenamiento y cambio en la estructura cristalina del material tras la radiación con una fuente UV. Se hace la recomendación de verificar si realmente se presenta este fenómeno en diferentes muestras de grafito ya que, estas muestras provienen de la misma barra de grafito. Además de exponer durante un tiempo más prolongado y con diferentes porcentajes de grafito presentes en la muestra.

Con respecto a la caracterización eléctrica, se han realizado otros trabajos que no se presentan aquí pero que podría significar que un inyector de corriente no es el camino para continuar la caracterización. Esto es debido a que los cambios que señalan son menores y atenúan la respuesta. Por lo que se

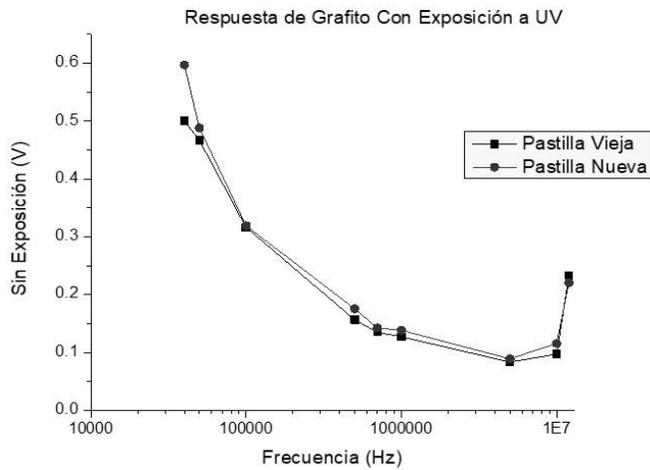


Fig. 5. Caracterización eléctrica de muestra Con Exposición a Fuente UV con picos en 700kHz y 12 MHz

recomienda cambiar la instrumentación y realizar más pruebas con diferente instrumentación y grafito para corroborar los resultados.

#### REFERENCIAS

- [1]. Gobierno CDMX, “STPS.Gob.mx,” 2023. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4921/STPS/STPS>.
- [2]. T. Yuizono, H. Ogata, U. Hoppe, and J. Vassileva, “Collaboration and Technology,” in *22nd International Conference (CRIWG)*, vol. 9999, pp. 1–13, Springer, 2016. DOI: 10.10007/1234567890.
- [3]. Thermo Scientific, *TM Harshaw TLD Model 5500 Reader, Radiation Detection*, 2023. <https://www.ebay.com/>.
- [4]. P. Alvarez, S.F. Kry, F. Stingo, and D. Followill, “TLD and OSLD dosimetry systems for remote audits of radiotherapy external beam calibration,” *Radiation Measurements*, vol. 106, pp. 412–415, 2017. DOI: 10.1016/j.radmeas.2017.01.005.
- [5]. S.F.A. Sani, S.S. Ismail, K.S. Almugren, M.U. Khandaker, and D.A. Bradley, “Dosimetric utility of structural changes in gamma irradiated graphite-rich pencils,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 171, 2020. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.108703.
- [6]. A. Gluza, *Graphite pencil degrees of hardness explained*, Faber-Castell USA, 2021. <https://www.fabercastell.com/blogs/creativity-for-life/graphite-pencil-lead-degree-hardness>.
- [7]. Perdue.edu, *Raman spectroscopy of graphene and graphite: Disorder, electron-phonon coupling, doping and nonadiabatic effects*, 2007. <https://www.physics.purdue.edu/quantum/files/CarbonNano/FerrariReview.pdf>.
- [8]. MDP, *Transferencia de estabilidad*, 2023. [http://www3.fi.mdp.edu.ar/sis\\_control/archivos/referencias/Transferencia-Estabilidad](http://www3.fi.mdp.edu.ar/sis_control/archivos/referencias/Transferencia-Estabilidad).