

IMPLEMENTACIÓN DE UNA FUENTE LINEAL PARA LA FORMACIÓN DE NANOESTRUCTURAS DE CARBONO MEDIANTE UNA DESCARGA DE ARCO

Arturo Tepale Cortés¹, Hilda Moreno Saavedra¹, Celso Hernandez Tenorio¹, Miguel Villanueva Castañeda¹, Daniel Gutierrez Gonzalez².

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Instituto Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México, C.P. 52149, Tel (52) (722) 208 72 00

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingenierías. Av. Instituto Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México, C.P. 52149.

atepalec@toluca.tecnm.mx, hilda_saavedra@yahoo.com.mx

RESUMEN

Las descargas eléctricas se utilizan en procesos físicos y químicos que requieran de un ambiente altamente reactivo y poco tóxico. De los distintos tipos de descargas eléctricas, la de arco eléctrico es utilizada como método de vaporización de grafito para la síntesis de nanomateriales de base carbono. Para proporcionar la suficiente energía para generar la descarga de arco eléctrico, es necesario el diseño y construcción de fuentes de voltaje que las produzcan de forma controlada y sostenida. En el presente trabajo, se construye una fuente de voltaje de corriente directa lineal, que permita la vaporización de barras de grafito mediante una descarga de arco eléctrico, para producir nanoestructuras de carbono.

Palabras clave: *descarga de arco, fuente lineal, nanoestructuras de carbono.*

ABSTRACT

Electric discharges are used in physical and chemical processes that require a highly reactive and non-toxic environment. Of the different types of electric discharges, the electric arc is used as a graphite vaporization method for the synthesis of carbon-based nanomaterials. To provide enough energy to generate the electric arc discharge, the design and construction of voltage sources that produce them in a controlled and sustained manner is necessary. In the present work, a linear direct current voltage source is constructed, which allows the vaporization of graphite rods by means of an electric arc discharge, to produce carbon nanostructures.

Keywords: *Carbon nanostructures, Arc discharge, linear voltage source.*

I INTRODUCCION

Actualmente la Agencia Internacional de Energía (AIE), reporta un crecimiento en la demanda de energía eléctrica, estimando que para el año 2040 el consumo de energía aumente en un 70% con relación al consumo actual, a consecuencia del crecimiento poblacional [1]. En los últimos años, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una de las fuentes de generación de energía eléctrica esenciales para frenar el cambio climático [2].

Las nanoestructuras de carbono por sus propiedades extraordinarias de transporte de portadores de carga, conductividad eléctrica y propiedades de absorción de luz, se pueden utilizar en la capa fotoactiva de las celdas fotovoltaicas solares, para aumentar la eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica [3] [4].

La descarga de arco se caracteriza por generarse con corrientes superiores a 1 A y voltajes inferiores a 1 kV, generando plasma con alta energía térmica [5] [6]. Este tipo de descarga es utilizado como método de síntesis de nanoestructuras de carbono por vaporización de grafito, al colocar dos electrodos de este material a una distancia milimétrica, generándose luz y calor intenso durante el proceso [7], [8].

La síntesis de nanoestructuras de carbono mediante descarga de arco eléctrico implica una configuración sencilla, obteniendo altos rendimientos de nanotubos ordenados y con mínimos defectos; bajo diferentes parámetros de voltaje, densidad de corriente, presión y tipo de gas para generar un ambiente inerte [9], [10].

Las condiciones eléctricas para que la descarga de arco sea recomendable para la síntesis de nanomateriales de carbono, son con voltajes generados en corriente directa en un rango de 10 a 100 V y corrientes sostenidas de 1 a 100 A [11], [12], [13].

La fuente de voltaje lineal puede proporcionar condiciones eléctricas necesarias para generar una descarga de arco sostenida. Esta configuración consiste en etapas seriadas de transformación, rectificación, filtración y regulación, las cuales permiten que a una variación de las condiciones de voltaje y corriente de entrada sea reflejada como un cambio de estas condiciones eléctricas a la salida [14].

La principal función de la fuente lineal es mantener estable la potencia que demanda la carga eléctrica a la cual energiza, [15]. Por ello, se propone la implementación de una fuente lineal que pueda originar la formación de una descarga de arco con energía suficiente para obtener

nanoestructuras de carbono a partir de la vaporización de grafito.

La importancia de sintetizar nanoestructuras de carbono, es porque son un tipo de nanomateriales que cobran cada día interés, al aplicarse en la construcción de dispositivos generadores de energía eléctrica o almacenamiento de hidrógeno [16], [17], entre otros, debido a sus grandes áreas superficiales [18] y alta porosidad [19].

II DESARROLLO

En este trabajo se presenta la construcción de una fuente de corriente directa de configuración lineal, que permita generar una descarga de arco capaz de vaporizar barras de grafito. Para este fin, la fuente se constituyó de etapas de transformación, rectificación y filtrado-regulación.

Para la etapa de transformación, se utiliza un transformador de núcleo toroidal, que proporciona menores pérdidas de energía comparados con otros tipos de transformadores, para reducir el voltaje de línea aplicado al primario de 120 a 70 V_{CA} en el secundario.

Para convertir el voltaje del secundario del transformador de CA a CD, aprovechando ambos ciclos, se usa un puente completo de diodos rectificadores que soporta 100 A, funcionando como etapa de rectificación.

Para reducir el rizado del voltaje y de la corriente, se utiliza un filtro inductivo-capacitivo (LC) conformado por un capacitor electrolítico y un inductor toroidal, como etapa de regulación-rectificación. El filtro LC también cumple la función de regulación del voltaje de la fuente, al interaccionar los elementos capacitivo e inductivo para estabilizar los comportamientos de voltaje y corriente. El diagrama de la fuente lineal se muestra en la Figura 1.

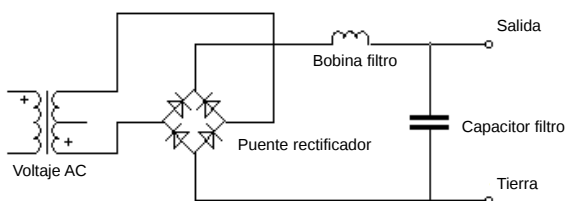


Figura 1 Diagrama de la fuente lineal.

La descarga de arco es formada en un reactor cilíndrico de pyrex, de 200 mm de longitud y 60 mm de diámetro, que es polarizado por la fuente lineal, a través de dos electrodos de grafito de 50 mm de longitud, con diámetros de 6 y 8 mm (Figura 2).

El reactor permite el libre flujo de argón para generar una atmosfera inerte y soporta una presión de vacío de 250 Torr, evitando que durante la vaporización de los electrodos de grafito, se presenten elementos contaminantes.

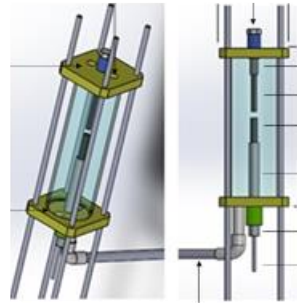


Figura 2 Reactor para descarga de plasma.

III RESULTADOS

En este apartado, se muestran las señales de voltaje y corriente proporcionadas por la fuente lineal durante la formación de la descarga de arco. Las mediciones de voltaje y corriente se realizaron con un osciloscopio Tektronics TBS-1102B-EDU, una sonda de corriente Tektronics A622 y un amperímetro de gancho FLUKE 323.

Para asegurar que la energía suministrada por la fuente lineal sea adecuada para generar la descarga de arco, se midieron los parámetros eléctricos de voltaje y corriente, en las etapas de transformación, rectificación, filtrado y regulación de la fuente de corriente directa de configuración lineal (Figura 3).

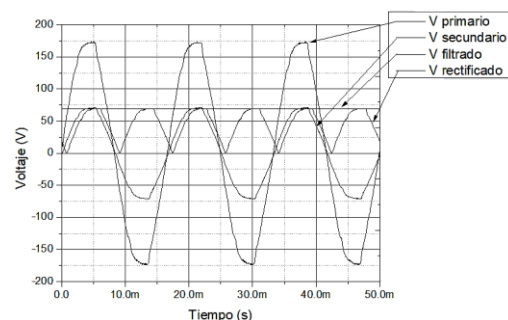


Figura 3 Voltajes de las etapas de la fuente lineal.

Como se observa en la Figura 3, el voltaje del secundario del transformador presenta una reducción de la amplitud del voltaje suministrado al primario por la red eléctrica. Se aprecia que el voltaje rectificado es de media onda sinusoidal (Figura 3) con una amplitud de 70 V_p. Para que la señal de V_{CD} fuera constante, el filtro inductivo-capacitivo, se conformó de una bobina de núcleo de toroidal de 10 H y un condensador electrolítico de 1000 µF. Con el uso del filtro, el voltaje obtenido a la salida del filtro LC (Figura 1) y por tanto de la fuente lineal, es de una amplitud de 70 V_{CD}.

Para medir la corriente que proporciona la fuente lineal, se simula una descarga de arco, utilizando una resistencia de 5.6 Ω como carga. Se muestra los comportamientos de las señales de voltaje y corriente durante la simulación en la Figura 4. Tanto el voltaje como la corriente proporcionados por la fuente lineal presentan un comportamiento constante y estable, siendo estas

condiciones las que inicialmente sirven de suministro de energía para generar la descarga de arco entre los electrodos de grafito.

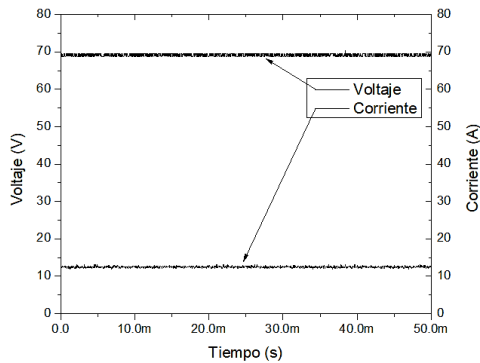


Figura 4 Voltaje y corriente de la fuente lineal antes de la descarga de arco.

Asegurando que la fuente lineal funciona correctamente, se procede a generar la descarga de arco, con un voltaje constante de 70 V, corriente directa de 100 A, flujo constante de 1.43 cm³/min de argón, presión de 290 Torr, entre ambos electrodos de grafito separados a 1 mm. Dos aspectos de la descarga de arco que se producen dentro del reactor se muestran en la Figura 5.

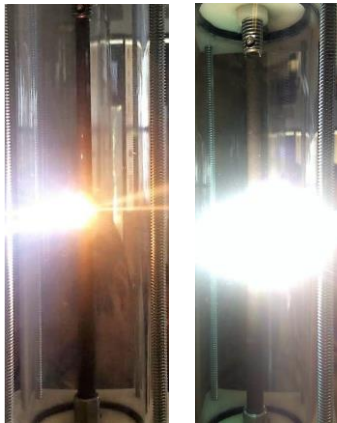


Figura 5. Aspectos de la descarga de arco

A continuación, se muestran las señales obtenidas de voltaje y corriente de la fuente lineal, durante la formación de la descarga de arco. En un primer experimento, se produjo la descarga de arco en condiciones no controladas, en atmósfera de aire y a presión atmosférica.

En las señales obtenidas (Figura 6), se observa que el voltaje tiene un comportamiento oscilante decayendo a un valor promedio de 27.5 V y que la corriente se presenta lapsos intermitentes de 100 A. Durante la descarga de arco con condiciones no controladas, se observó una vaporización de los electrodos poco constante.

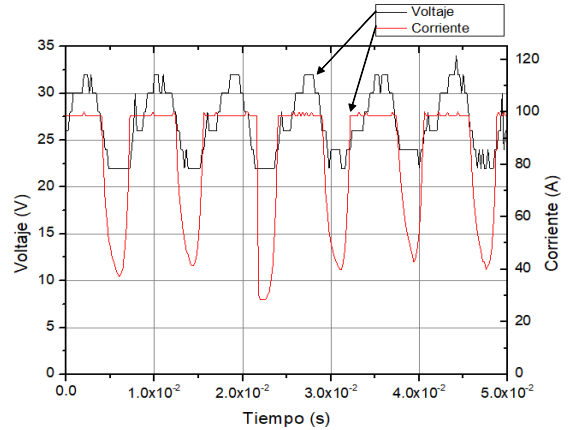


Figura 6 Voltaje y corriente durante la descarga de arco en condiciones no controladas.

En un segundo experimento, se produjo la descarga en condiciones controladas de atmósfera inerte de argón y presión de vacío de 290 Torr. Las señales de voltaje y corriente durante la descarga (Figura 7), tienen comportamientos similares, presentando variaciones debido a la mayor demanda de energía que se necesita para vaporizar a las moléculas de carbono de los electrodos de grafito.

Sin embargo, tanto el voltaje y la corriente proporcionadas por la fuente lineal, en condiciones controladas, permitieron observar una vaporización de los electrodos de grafito de forma constante.

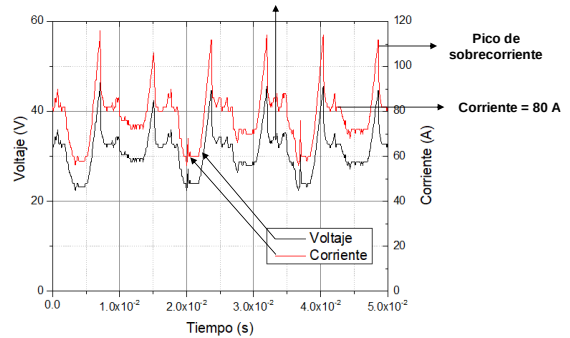


Figura 7 Voltaje y corriente durante la descarga de arco en condiciones controladas.

Para detectar la presencia de nanoestructuras de carbono, se realizó una micrografía del polvo de carbono después de la vaporización por descarga de arco, en condiciones no controladas, mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (MEB) JEOL JSM-6610LV.

Con la micrografía realizada fueron detectados aglomerados de estructuras esféricas con dimensiones menores a 1 micrómetro (Figura 8), con lo que se corroboró que las condiciones eléctricas entregadas por la fuente lineal son capaces de pulverizar a niveles micrométricos al grafito,

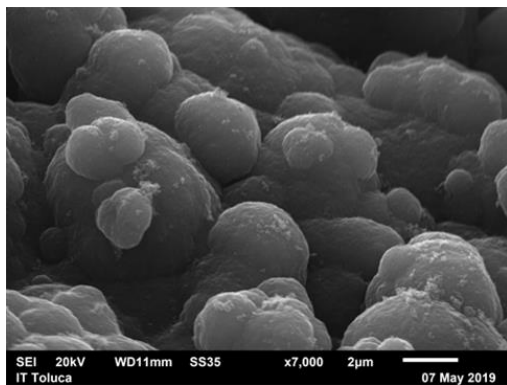


Figura 8 Aglomerados de carbono después de la vaporización.

Se procedió a realizar una segunda descarga con voltaje constante de 70 V y corriente directa de 80 A, controlando el tiempo de síntesis a 20 s, con presión de 290 Torr y flujo constante de 1.43 cm³/min de argón, para determinar la posibilidad de modificar al grafito a estructuras cilíndricas debajo de niveles micrométricos.

En la Figura 9, se muestra la micrografía realizada al polvo pulverizado producido por la descarga en condiciones controladas de tiempo, presión y flujo de argón. Se observa que fue posible formar estructuras cilíndricas, con diámetros menores al micrómetro y longitudes micrométricas, que podrían corresponder a alguna nanoestructura lineal de carbono.

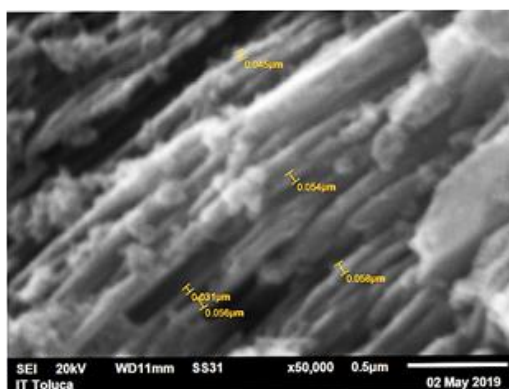


Figura 9 Estructuras cilíndricas de carbono obtenidas después de la vaporización.

CONCLUSIONES

La caracterización de las señales de voltaje y corriente durante la formación de la descarga de arco, determinaron que las condiciones de energía suministradas por la fuente lineal implementada son suficientes para vaporizar de forma constante a los electrodos de grafito.

El análisis de las señales eléctricas ayuda a comprender el comportamiento de la descarga de arco durante la vaporización del grafito y síntesis de nanoestructuras de carbono en una atmósfera de argón. La fuente lineal proporciona la energía necesaria para la formación de nanoestructuras de carbono sintetizadas a temperatura ambiente, presión de vacío y atmósfera de argón.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada. Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto con clave 5687.19-P. Al Instituto Tecnológico de Toluca, por las facilidades otorgadas para el préstamo de equipos por parte del Laboratorio de Ingeniería Electrónica y del Laboratorio de Manufactura.

REFERENCIAS

- [1] E. J. André, L. M. de Castro y E. Cerdá, «Las energías renovables en el ámbito internacional,» Cuadernos Económicos de ICE, n° 83, pp. 11 - 36, 2012.
- [2] M. H. Badii, A. Guillen y J. L. Abreu, «Energías renovables y conservación de energía,» Daena: International Journal of Good Conscience., vol. 11, n° 1, pp. 141 - 155, 2016.
- [3] S. L. Candelaria, Y. Shao y W. Zhou, «Nanostructured carbon for energy storage and conversion,» Nano Energy, n° 1, p. 195 - 220, 2012.
- [4] L. Wen, B. Jong-Beom y D. Liming, «Preface,» de Carbon Nanomaterials for Advanced Energy Systems, New Jersey, EU., Wiley, 2015, pp. xvii-xviii.
- [5] Y. P. Raizer, Gas Discharge Physics, Berlin: Springer-Verlag, 1991.
- [6] J. R. Roth, Industrial Plasma Engineering, Volume 1: principles., Bristol, R.U: Institute of Physics Publishing, 1995.
- [7] Y. Hernández, G. Holguín, M. Baquero y F. Gómez-Baquero, «Síntesis de nanotubos de carbono por el método de arco de descarga eléctrica,» Revista Colombiana de Física, vol. 36, n° 2, pp. 296-300, 2004.
- [8] I. Levchenko, M. Keidar y S. Xu, «Low-temperature plasmas in carbon nanostructure synthesis,» Journal of Vacuum Science Tech., vol. 31, n° 5, pp. 1-16, 2013.
- [9] P. Collins y P. Avouris, « Les nanotubes en électronique, » Pour la Science, n° 280, pp. 68-76, 2001.
- [10] A. V. Medovnik, V. A. Burdovitsin, A. V. Kazakov y E. M. Oks, «Millisecond pulsed arc discharge in a fore vacuum-pressure plasma-cathode electron source,» IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 45, n° 8, pp. 2075 - 2079, 2017.
- [11] A. G. Ostrogorsky y C. Marín, «Heat transfer during production of carbon nanotubes by the electric-arc process,» Heat Mass Transfer, vol. 42, pp. 470-477, 2006.
- [12] M. I. Mohammad, A. A. Moosa y J. H. Potgieter, «Carbon nanotubes synthesis via arc discharge with an yttria catalyst,» ISRN Nanomaterials, vol. 2013, pp. 1-7, 2013.

- [13] R. Sharma, A. K. Sharma y V. Sharma, «Synthesis of carbon nanotubes by arc-discharge and chemical vapor deposition method with analysis of its morphology, dispersion and functionalization characteristics,» *Materials Engineering*, vol. 2, pp. 1-10, 2015.
- [14] A. R. Hambley, *Electrónica*, Madrid: Pearson Educacion , 2001.
- [15] L. Prat Viñas, *Circuitos y Dispositivos Electrónicos: Fundamentos de Electrónica*, Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- [16] Z. Yu, L. Tetard, L. Zhai y J. Thomas, «Supercapacitor electrode materials: nanostructures from 0 to 3 dimensions,» *Energy Environ. Sci.*, vol. 8, n° 3, pp. 702 - 730, 2015.
- [17] W. Lu, J.-B. Baek y L. Dai, *Carbon Nanomaterials for Advanced Energy Systems: Advances in Materials Synthesis and Device Applications*, New Jersey, USA.: Wiley, 2015.
- [18] T. Chen y L. Dai, «Carbon nanomaterials for high performance supercapacitors,» *Materials Today*, vol. 16, n° 7/8, pp. 272 - 280, 2013.
- [19] L. L. Zhang y X. S. Zhao, «Carbon-based materials as supercapacitor electrodes,» *Chemical Society Review*, vol. 38, pp. 2520 - 2531, 2009.