

PRODUCCIÓN DE NANOMATERIALES POR MEDIO DE UN PROCESO AUTOMATIZADO DE ARCO VOLTÁICO

J. A. CARRANZA BARRANTES^{1*}, J. VEGA BAUDRIT²⁺

1) Escuela de Ingeniería Electrónica, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: jairocb12@gmail.com

2) Laboratorio Nacional de Nanotecnología, San José, Costa Rica. Correo electrónico: jvegab@hotmail.com

RESUMEN

Con el fin de producir mayores cantidades de nanotubos de carbono por medio de la descarga de arco eléctrico, se necesita un plasma estable. El método de la descarga de arco eléctrico utiliza una máquina de soldar tipo TIG (*Tungstene Inert Gas*), para mantener el plasma lo más constante posible se debe tener en cuenta parámetros como: el flujo de gas, corriente invariable en el tiempo, distancia entre electrodos y movimiento de los electrodos. La máquina de soldar mantiene el flujo de gas y la corriente en el mismo nivel, pero para el operador de la torcha es complicado conservar una distancia constante entre electrodos y trazar un movimiento fluido. Por esa razón se introduce una máquina que permita el desplazamiento en los tres ejes coordenados XYZ, que simule el movimiento del usuario. El movimiento se realizó a partir de tres motores que eran controlados electrónicamente por medio de dos microcontroladores, que a su vez se conectaban por puerto USB a una computadora.

Palabras clave: NTC, Electrodo, Microcontrolador, Servomotor AC.

ABSTRACT

In order to produce higher yields of carbon nanotubes by the arc discharge method, a more stable plasma is needed. The arc discharge method works with a TIG welding machine (*Tungstene Inert Gas*). For keeping the plasma as constant as possible several parameters must be considered: gas flow, invariable current in time, distance between electrodes and relative movement to each other. The welding machine takes care of the gas flow and the current, but for the operator of the torch is complicated to keep a constant distance between the electrodes and trace a fluid path. Therefore an automatic machine is introduced which allows displacement in the XYZ axis and simulate the user's movements. This machine is based on three motors which are electronic controled by two microcontrollers and these ones are connected to a personal computer through a USB port.

Key words: NTC, electrode, microcontroller, AC servomotor

1. INTRODUCCION

Para producir nanotubos de carbono en el LANOTEC se utiliza una máquina de soldar tipo TIG, a la boquilla de expulsión del gas de protección se le incorpora un electrodo de grafito y este se consume a causa del plasma que se produce cuando el gas (helio o argón) se encuentra en presencia del arco eléctrico, el cátodo por su parte debe ir sumergido en agua con hielo, los pasos característicos de este proceso están basados en la patente de *Jeannette Benavides* [1] para la síntesis de nanotubos de carbono. El objetivo principal de este proyecto fue mantener una distancia constante entre los electrodos, a pesar del desgaste del ánodo, esto con tal de conservar el arco eléctrico sin interrupciones y por ende el plasma. Un plasma invariable mejora la síntesis de nanotubos de carbono debido a que se genera una mejora en el proceso catalítico, lo que conlleva a producciones de nanotubos a gran escala.

2. EXPERIMENTACION

Para delinear el trayecto por encima del cátodo cilíndrico se utilizaron dos movimientos

combinados: el primero de ellos consistía en la rotación del cátodo sobre su eje vertical, este movimiento se llevó a cabo por medio de un motor a pasos, el otro movimiento consistía en el desplazamiento en línea recta del ánodo desde el centro del cátodo hacia la parte exterior, así entonces el giro del cátodo más el desplazamiento lineal del ánodo dan como resultado una trayectoria en espiral. El movimiento lineal del ánodo se realizó con un servo motor AC modelo M-2330/4000 del fabricante *Teknic*. Otro motor se encargó de subir y bajar el ánodo a través de un tornillo sinfín, cuando el proceso terminaba el electrodo se alejaba y cuando el proceso estaba en funcionamiento bajaba conforme se diera el desgaste del electrodo, el motor utilizado fue SGDM-04ADA marca *Yaskawa*. La Figura 1 muestra los tres movimientos explicados anteriormente.

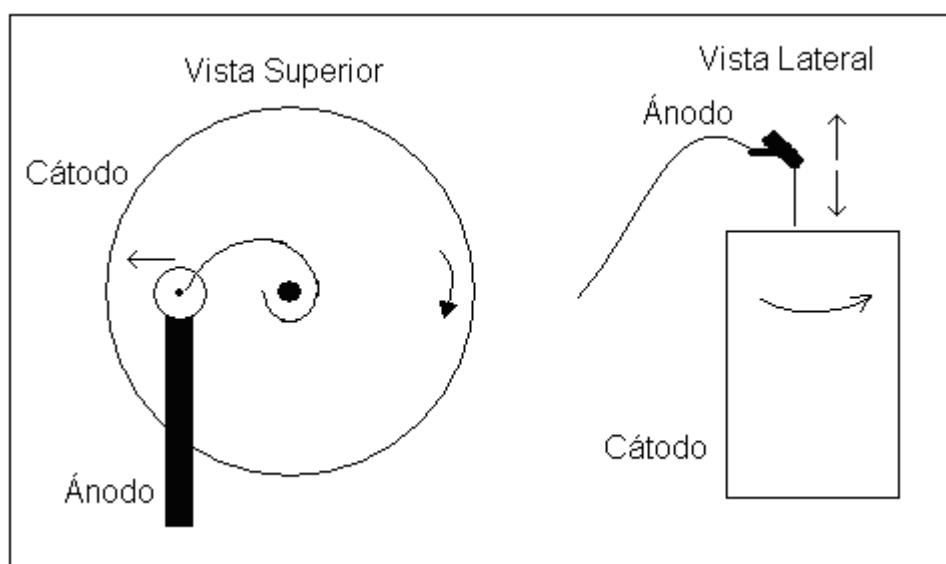


Figura 1. Movimientos de los electrodos manejados por motores.

Se evaluaron diferentes opciones para la medición de la distancia entre ánodo y cátodo, pero la dificultad yacía en que una vez creado el plasma, el calor y la luz no permitían la introducción de un sensor para una medición directa. Por esta razón se escogió realizar una medición indirecta a partir de la corriente que circulaba entre electrodos y desde esta determinar la distancia, como la máquina de soldar utiliza corriente continua se adquirió un sensor de corriente continua de efecto *Hall*, el cual se conectó alrededor del cable por el que circulaba la corriente.

La temperatura de la solución de agua con hielo también se midió, a través de un sensor electrónico, los datos de los diferentes sensores eran recibidos por los microcontroladores que guardaban estos datos en la memoria *flash* que al final del proceso eran enviados vía USB al ordenador.

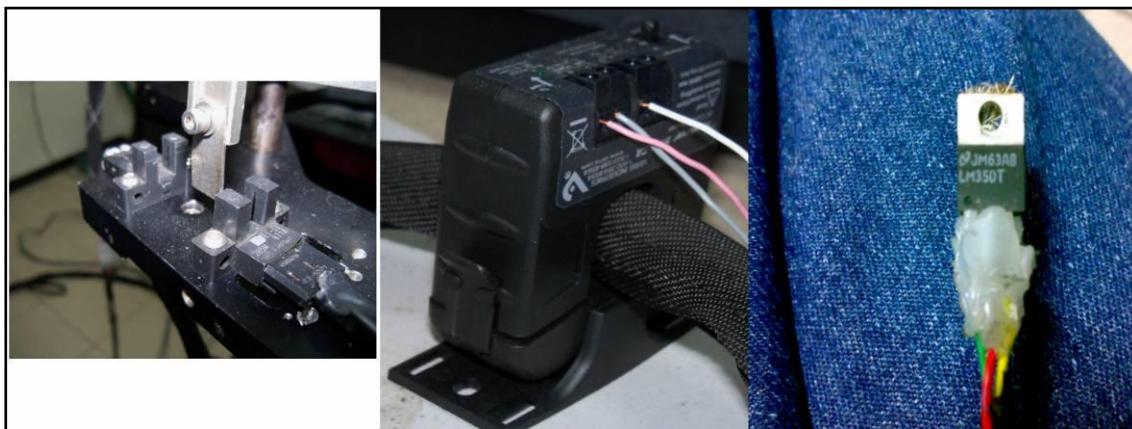


Figura 2. Sensores electrónicos: limitadores de carrera, sensor de corriente directa, sensor de temperatura.

3. RESULTADOS

Al ser alta potencia lo que estaba en juego en conjunto con circuitos digitales se tuvo en consideración que ambas partes quedaran aisladas una de la otra, pero el problema primordial se encontró al principio cuando se pretendió montar ambas partes en la pieza mecánica. La máquina de soldar a pesar de utilizar corriente continua, también agregaba una componente de alta frecuencia que ayudaba a crear un arco eléctrico cuando los dos electrodos se iban acercando uno al otro, esta componente de alta frecuencia causó un ruido electromagnético muy fuerte que interfería con el funcionamiento de los dispositivos electrónicos, y a pesar de que se aterrizó la máquina de soldar aún así no se pudo eliminar la interferencia. Por esa razón se tuvo que descartar la opción de alta frecuencia y dejar sólo la corriente continua, esto tiene la desventaja de que el arco eléctrico es un poco más inestable y la forma de crear el arco eléctrico inicial es diferente, pues primero se deben poner en contacto los dos electrodos, luego se debe esperar dos segundos y por último se debe alejar una distancia aproximada de 3 milímetros y con eso se forma el arco. Esta distancia es el rango dentro del cual debe permanecer el ánodo para que no se pierda el plasma.

El otro tema de importancia fue la sincronización y ajuste de los movimientos de los motores, pues los movimientos muy rápidos provocaban una pérdida en el plasma y movimientos muy lentos creaban residuos duros de carbón que también apagaban el plasma pues interferían con la punta del ánodo. La sincronización debía hacerse para que el electrodo no volviera a recorrer por encima de la muestra ya producida, por dos razones, el plasma podía destruir los nanotubos ya creados y los residuos de carbón interrumpían el plasma al desviar el trayecto del arco eléctrico.

Se logró que el plasma se sostuviera por trayectos de hasta 60 segundos sin perturbaciones, la figura 3 muestra el trayecto seguido por los motores y la información que se reenvió al ordenador.

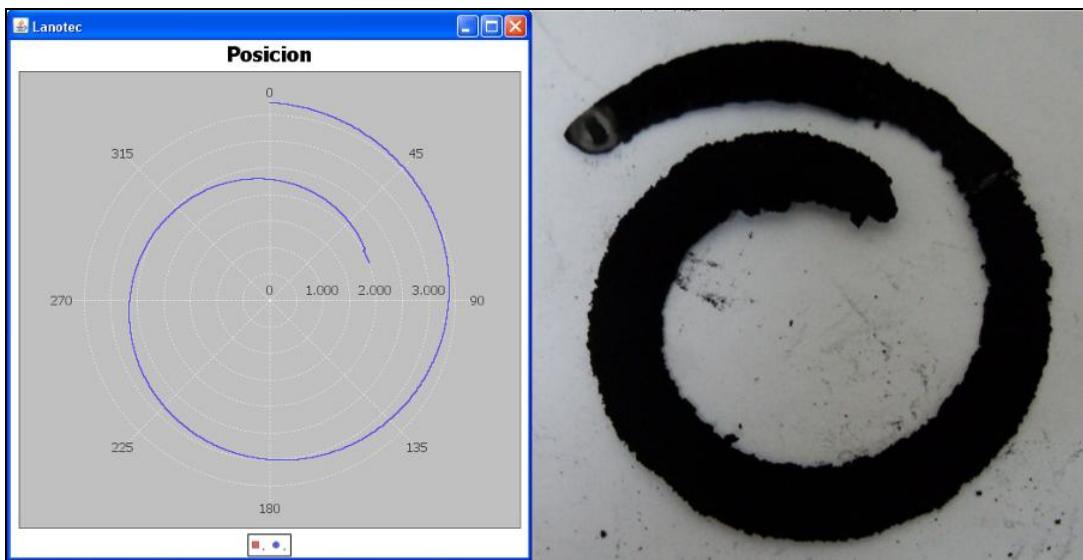


Figura 3. Trayectoria del proceso de soldadura automático, datos del ordenador y trayecto real.

La Figura 4 muestra la máquina de nanotubos en funcionamiento, se pueden observar los tornillos sinfín y la torcha de una máquina TIG convencional, una de las ventajas de la patente de *Benavides* es que se puede realizar el proceso a presión atmosférica, por esa razón la parte superior de la máquina muestra el resplandor del plasma sin ninguna cobertura.

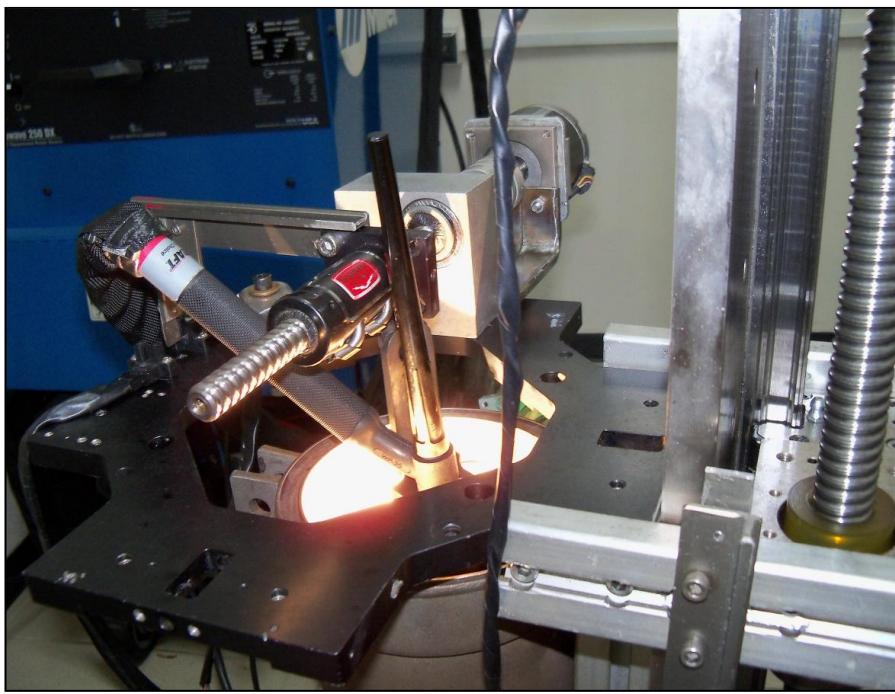


Figura 4. Imagen de la máquina automática en funcionamiento.

En la Figura 5 se muestran los pequeños fragmentos alargados que se pueden denominar nanotubos, los residuos más grandes con forma cúbica aún no se determina si es parte del electrodo

no consumido.

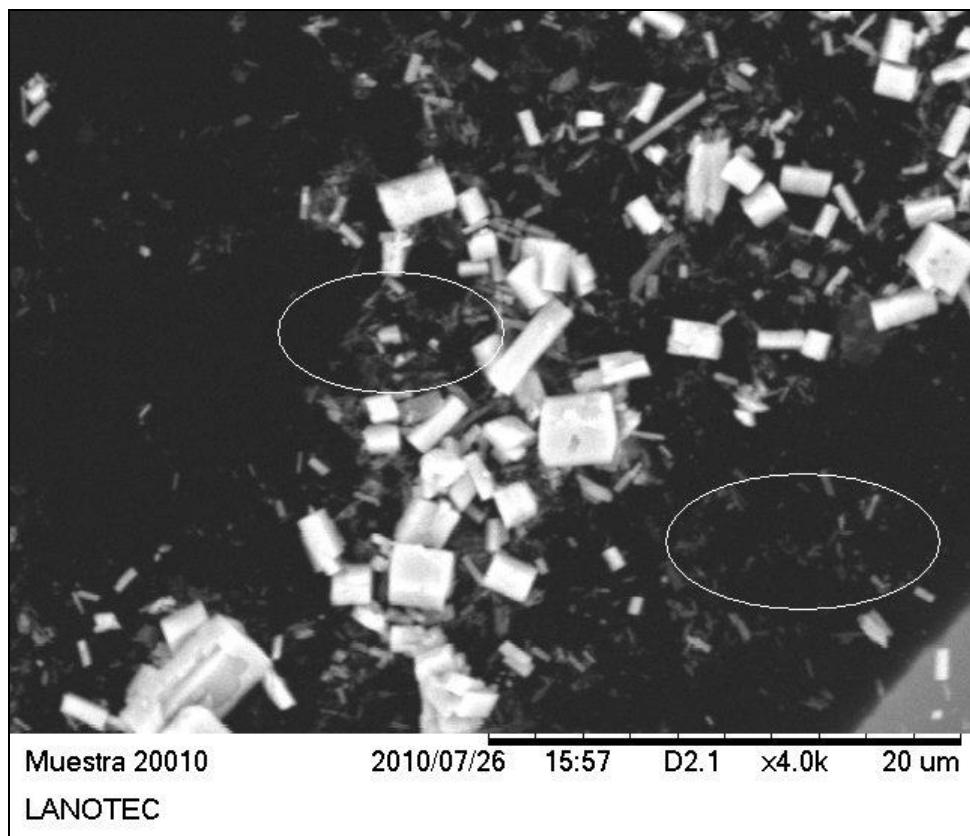


Figura 5. Nanotubos de carbono. Imagen SEM tomada con equipo de la escuela de ingeniería electrónica.

4. CONCLUSIONES

- Una vez formada la chispa, la corriente alcanza el máximo establecido y no presenta variaciones importantes durante el recorrido, a pesar de pequeñas variaciones en la altura, a menos que se pierda completamente el arco eléctrico.
- Para lograr un proceso sin interrupciones, los movimientos deben ser suaves, pequeños movimientos bruscos o espurias en el cátodo afectan la continuidad del plasma.
- El movimiento radial y de rotación, con velocidad constante, forman una espiral del tipo logarítmica, esto tiene un defecto pues el desplazamiento y la velocidad a la que se ve sometido el ánodo en la parte más externa es mayor e influye en la longitud de la espiral.
- La temperatura inicial del agua al comienzo del proceso se mantiene casi constante durante el desarrollo de este.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Benavides, et al., "Method of manufacturing carbon nanotubes," U.S. Patent 6,740,224, 25 de mayo, 2004.