
Modificación de nanotubos de carbono de pared múltiple utilizando energía de ultrasonido a diferentes potencias

C. J. Cabello Alvarado*, A. Sáenz Galindo², C. Pérez Berumen², J. Sandoval Cortez², C. Ávila Orta³, C. Álvarez Toledano⁴ y J. Guadalupe López Cortes⁴

¹Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería Química, Campus de Ingenierías y Ciencias Exactas, Mérida, Yucatán, México. ²Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Química Orgánica Saltillo, Coahuila, México. ³Centro de Investigación en Química Aplicada, Departamento de Materiales Avanzados, Saltillo, Coahuila, México. ⁴Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal

Modification of carbon nanotubes multiple wall using ultrasound energy to different powers

Modificació de nanotubs de carboni de paret múltiple utilitzant energia d'ultrasò a diferents potències

Recibido: 26 de mayo de 2015; revisado: 11 de enero de 2016; aceptado: 18 de febrero de 2016

SUMMARY

In this paper the modification of MWCNT with two carboxylic acids such as: citric acid and acetic acid using ultrasonic tip is studied. The percentages of power levels in the ultrasound were of 20, 40 and 60% in 60 minutes of treatment time. The analyze of results was carried out by infrared spectroscopy (FT-IR), dispersion tests in polar and non-polar solvents, contact angle measurement, scanning electron microscopy (SEM) and electrochemical analysis. The results reveal the modification of the MWCNT, due to the change in the chemical and morphological characteristics of MWCNT

Keywords: Ultrasonic tip; MWCNT; carboxylic acids.

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la modificación de MWCNT con dos ácidos carboxílicos: ácido cítrico y ácido acético, usando punta ultrasónica a diferentes potencias. Los porcentajes de potencia fueron de 20, 40 y 60% durante 60 minutos de tratamiento. El análisis de los resultados se llevó a cabo mediante espectroscopia infrarroja (FT-IR), pruebas de dispersión en solventes polares y no polares, medición del ángulo de contacto, microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis electroquímico. Los

resultados revelan la modificación de la MWCNT, debido al cambio en las características químicas y morfológicas de los MWCNT.

Palabras clave: Punta ultrasónica; MWCNT; ácidos carboxílicos.

RESUM

En el present treball es presenta la modificació de MWCNT amb dos àcids carboxílics: àcid cítric i àcid acètic, usant punta ultrasònica a diferents potències. Els percentatges de potència van ser del 20, 40 i 60% durant 60 minuts de tractament. L'anàlisi dels resultats es va dur a terme mitjançant espectroscòpia infraroja (FT-IR), proves de dispersió en solvents polars i no polars, mesurament de l'angle de contacte, microscòpia electrònica de rastreig (SEM) i anàlisi electroquímica. Els resultats revelen la modificació de la MWCNT, a causa del canvi en les característiques químiques i morfològiques dels MWCNT.

Paraules clau: Punta ultrasònica; MWCNT; àcids carboxílics.

*Autor para la correspondencia: christian.cabello28@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El uso de los nanotubos de carbono (NTC) ha impulsado nuevas tecnologías, debido a que sus propiedades físicas, eléctricas y mecánicas los hacen propicios para su uso en diferentes áreas¹. Existen diferentes tipos de nanotubos: de carbono: nanotubos multipared (MWCNT) y de pared sencilla (SWCNT), estos dos tipos de nanotubos son utilizados en la investigación de materiales para nuevas aplicaciones. Actualmente, gracias a sus propiedades estructurales, los MWCNT se han empleado en áreas como: química², biología³, energías renovables⁴, ciencia de materiales⁵, etc. Una desventaja es su baja compatibilidad con otras moléculas, es por esto que se recurre a la funcionalización ó modificación de los MWCNT. Existen dos métodos diferentes para la modificación de MWCNT como son: la modificación covalente y no covalente. La modificación covalente provoca la unión irreversible de la molécula modificadora y los MWCNT, contrario de la modificación no covalente que puede ser reversible⁶.

El principal inconveniente que presentan las rutas sintéticas para la modificación superficial es el daño que producen sobre la estructura de los MWCNT, por sus prolongados tiempos de tratamiento y el tipo de ácidos utilizados⁷. En este artículo se presenta la modificación superficial de los MWCNT con ácidos carboxílicos que son considerados ácidos de origen renovable como son: el ácido acético y el ácido cítrico. La modificación se efectuó mediante energía de ultrasonido utilizando una punta rompedora, para promover la buena dispersión de los MWCNT y generar distintos sitios activos en su superficie. Ésta técnica tiene como ventaja que no produce daño adicional a las paredes de MWCNT, pero puede presentarse una baja cantidad de grupos modificantes en el material⁸.

Algunos estudios han reportado la modificación superficial de MWCNT empleando ácidos suaves, utilizando como única fuente de activación la energía ultrasónica, proporcionada por un baño de ultrasonido a periodos de tiempo de 8 horas¹⁰⁻¹¹. Poh y col. en el 2008¹¹ realizaron estudios de modificación de MWCNT con ácido cítrico y partículas de paladio mediante un baño de ultrasonido con una potencia de 100 Watts, para su posible aplicación en celdas de combustible¹².

Diferentes autores han reportaron resultados donde lograron obtener un recubrimiento ácido de 6 a 12 nm (nanómetros) de ancho con ácido nítrico y ácido sulfúrico mediante baño de ultrasonido a tiempos de 6 horas¹³⁻¹⁴. Funcionalizaciones superficiales de MWCNT con tioácidos y alquiltriazaoles han sido reportadas, el inconveniente de estas modificaciones es que el tipo de ácido utilizado es agresivo con la estructura de los MWCNT¹⁵⁻¹⁶.

La mayoría de los estudios con ácidos indican que el ultrasonido es una energía adecuada para la modificación de nanopartículas. El ultrasonido ayuda a la dispersión de MWCNT; además produce movimiento vibratorio, este movimiento es comunicado a las moléculas del medio, cada una de las cuales transmite el movimiento a las partículas adyacentes antes de retornar a su posición inicial¹⁷⁻¹⁹; la rapidez con la que se suministra la energía se determina por la potencia que proporciona el ultrasonido²⁰⁻²¹. El baño de ultrasonido es uno de los sistemas más populares de los equipos de sonicación, pero su desventaja es la baja cantidad de potencia aplicada comparado con el sistema de punta rompedora. La ventaja de la punta ultrasónica es la posibilidad de controlar la potencia aplicada. Los pro-

cesadores integrados a estos sistemas están diseñados para ofrecer una amplitud de onda constante ó variable. El aumento de amplitud de onda provoca un incremento no lineal de intensidad de la energía aplicada por la punta²²⁻²³. La variable más importante dependiendo del tipo de líquido es la viscosidad del medio, de esto depende la potencia aplicada. La potencia acústica en el ultrasonido es la cantidad de **energía** por unidad de tiempo, la cual es emitida por una fuente. Ésta potencia es determinada por la **amplitud** de la onda, cuanto mayor sea la amplitud de la onda, mayor es la cantidad de energía que se genera²⁴⁻²⁵. En este artículo se propone el uso de la energía de ultrasonido a diferentes potencias para la modificación de MWCNT, utilizando ácidos renovables como modificantes: el ácido acético y ácido cítrico. Las potencias utilizadas fueron: 20%, 40% y 60%, con un tiempo de modificación de 1 hora. La comprobación de la modificación de los MWCNT se llevó a cabo mediante estudios de espectroscopía de infrarrojo (FT-IR), pruebas de dispersión, ángulo de contacto, microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis electroquímico.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiales y reactivos

Se utilizaron MWCNT grado industrial con una pureza del 95 %, un diámetro externo de 30-50 nm y una longitud de 5-20 micras. Los ácidos orgánicos que se utilizaron fueron: ácido acético glacial (Productos Químicos de Monterrey) y ácido cítrico anhidro (Fisher). También se utilizó agua destilada con un pH aproximadamente de 7, fosfato dibásico de potasio y fosfato monobásico de potasio (Sigma-Aldrich), ferricianuro de potasio (Sigma-Aldrich) y etanol (CTR Scientific).

Modificación de MWCNT

La metodología utilizada para llevar a cabo este tratamiento consistió en dispersar 0.05 g de MWCNT en 25 mL de ácido acético y en 25 mL de una solución acuosa saturada de ácido cítrico (400 mg/mL). El tratamiento ácido se llevó a cabo sumergiendo la sonda de ultrasonido (ultrasonic processor, modelo CV 33, Cole Palmer) en la mezcla ácida y los MWCNT. El equipo de ultrasonido empleado permite trabajar a una potencia de 750 Watts, se seleccionaron tres diferentes condiciones de operación para cada uno de los tratamientos ácidos 20, 40 y 60% de la potencia total; dichas condiciones se impusieron durante un tiempo de 60 minutos a una temperatura de 60° C. Los MWCNT obtenidos se filtraron y lavaron con agua destilada hasta un pH de 7 para después ser secados en una estufa de vacío a una temperatura de 80 °C durante 4 horas.

Caracterización espectroscópica

La caracterización se realizó mediante espectroscopía infrarrojo en un espectrofotómetro marca Perkin-Elmer GX00, empleando un dispositivo de ATR, con punta de diamante.

Medición del ángulo de contacto

Para estas pruebas se utilizó un medidor óptico de ángulo de contacto marca Data-physics, modelo Oca-15. La muestra de los MWCNT se preparó mediante una prensa, para obtener pastillas con una superficie plana.

Ensayos de dispersión a temperatura ambiente

Para realizar estos ensayos se pesaron 0.001 g de MWCNT modificados y sin modificar en 9 ml de disolvente y se sonicaron por 5 min. Las pruebas de dispersión se llevaron a cabo empleando solventes polares como: agua, metanol,

etanol, acetona, pentanol y no polares entre ellos están el ácido acético, cloroformo, cloruro de metileno y hexano; dichos solventes se seleccionaron en base a su polaridad para poder comprobar la modificación de los MWCNT lo cual debería modificar la polaridad de los mismos.

Microscopía Electrónica.

Las imágenes de la microscopía electrónica de barrido (SEM) se obtuvieron con un microscopio de alta resolución Titan, marca FEI, rango de 80 a 300kv, utilizando dispersiones de los MWNTC para después colocar un los en una rejilla de cobre.

Caracterización electroquímica

La caracterización electroquímica se llevó a cabo en una celda de tres electrodos empleando como electrodo de referencia el de Ag/AgCl, como electrodo auxiliar se empleó un alambre de platino y como electrodo de trabajo un electrodo de carbón vítreo modificado con dispersiones de MWNTC en etanol; estos fueron conectados a un potenciostato BASi modelo Epsilon. Los resultados obtenidos se evaluaron frente al par redox Fe^{3+}/Fe^{2+} empleando una solución de ferricianuro de potasio 1 mM en solución amortiguadora de fosfatos pH 7.4.

Modificación de electrodos

Las dispersiones de MWCNT en etanol se prepararon mezclando 0.25 mg de MWCNT en 1 mL de etanol, dicha mezcla se sometió a ultrasonido por un periodo de tiempo de 5 min a temperatura ambiente; de la dispersión obtenida se tomaron 20 μ L y se colocaron sobre la superficie del electrodo de carbón vítreo, estos fueron llevados a secado en estufa a 60 °C durante 20 min. La superficie de los electrodos de carbón vítreo fue previamente pulida con alúmina 1.0, 0.3 y 0.05 mm sucesivamente, la superficie se enjuaga con agua y se dejó secar a temperatura ambiente.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Caracterización espectroscópica

Los MWCNT modificados superficialmente con ácido cítrico y acético fueron caracterizados por diferentes pruebas químicas y físicas para comprobar que se llevó a cabo la modificación. En la Figura 1, se pueden apreciar los espectros de FT-IR (ATR) de los MWCNT funcionalizados con ácido acético, donde se pueden ver las señales características del grupo carboxílico en los valores de número de onda de 1750 cm^{-1} y en 3450 cm^{-1} para el enlace en tensión del O-H. Se supuso que para la funcionalización realizada al aplicar un 20% de potencia en el ultrasonido se consigue la funcionalización acida y con una potencia de 40% de potencia la energía causa la ruptura de los MWCNT. Después a un 60% de la potencial de ultrasonido se plantea que se logra funcionalización los MWCNT posterior al proceso de ruptura.

En la Figura 2 se presentan los espectros de FT-IR (ATR) de los MWCNT modificados superficialmente, utilizando ácido cítrico durante un tiempo de tratamiento de 60 minutos a diferentes potencias 20, 40 y 60% de potencia en el ultrasonido. En esta figura se observan señales características del ácido carboxílico mostrando una mayor intensidad en la señales de los MWCNT modificados con ácido cítrico con 20 % de potencia del ultrasonido. Analizando la estructura del ácido cítrico, contiene tres grupos del tipo ácido carboxílico y un hidroxilo, esto nos lleva a considerar que tiene la capacidad de combinarse en diferentes maneras, dicho comportamiento lo podemos ver ilustrado en el esquema de la Figura 3.

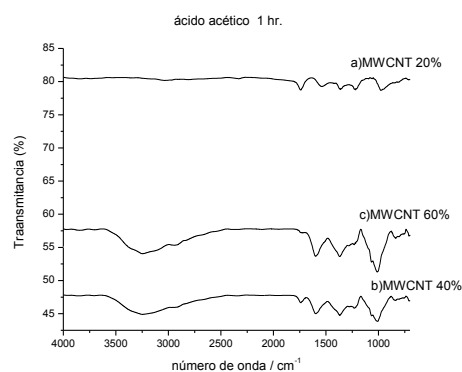


Figura 1. Espectro FT-IR (ATR) de los MWCNT modificados con ácido acético durante 60 min. , a) 20%, b) 40% y c) 60 % de potencia en el ultrasonido

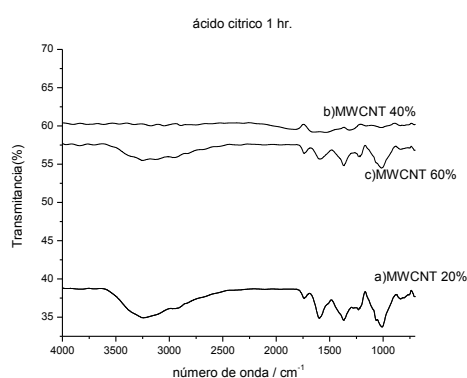


Figura 2. Espectros de FT-IR (ATR) de los MWCNT modificados con durante 60 minutos a diferentes potencias 20,40 y 60% de potencia

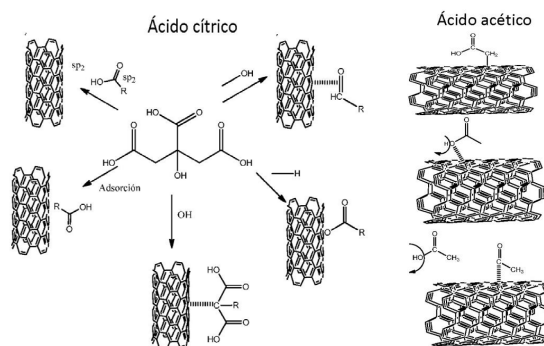


Figura 3. Esquema de los lugares posibles de interacción entre los MWCNT y los ácidos carboxílicos utilizados.

Ángulo de contacto

Otra técnica de caracterización que se llevó a cabo para demostrar la modificación superficial de los MWCNT fue la medición de ángulo de contacto. Se realizó la comparación grafica entre los ángulos de contacto obtenidos de las muestras analizadas (Figura 4), las cuales fueron tratadas a diferentes potencias: 20 %, 40 % y 60 %. En la gráfica se puede observar que al aplicarles un 20 % de potencia, el ángulo de contacto es menor que a 40 y 60 %, demostrando que las muestras se volvieron hidrofílicas. Al aplicarles un 40 % de potencia, el ángulo de contacto aumenta, este comportamiento es adjudicado a que energía de ultrasonido provoca un daño en la estructura

de los MWCNT y una disminución en la oxidación de los mismos. Al ampliar la potencia en un 60 % disminuye de nuevo el valor de ángulo de contacto, debido a una aparente aumento en la modificación en el área superficial de los MWCNT. Esto lo podemos ver ilustrado en el esquema de la Figura 5.

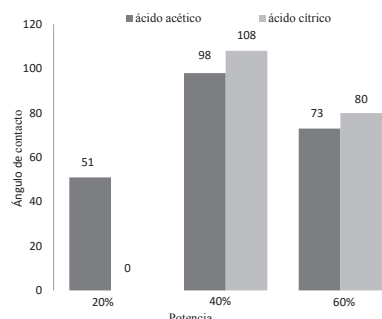


Figura 4. Comparación gráfica de los ángulos de contacto de los MWCNT funcionalizados con ácido acético y ácido cítrico.

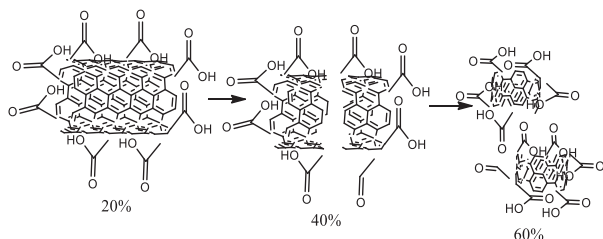


Figura 5. Esquema propuesto del comportamiento de los MWCNT durante el tratamiento ácido a diferentes potencias 20%, 40% y 60 % de energía de ultrasonido

Ensayos de dispersión a temperatura ambiente

De los resultados de las pruebas de dispersión podemos destacar que los MWCNT sin modificar no se dispersan en ningún solvente, por lo que se puede decir que no existe ninguna modificación. En la Tabla 1 se muestran los resultados de las pruebas de dispersión para los MWCNT sin modificar y MWCNT tratados con ácido acético a diferentes potencias. Dichas pruebas fueron llevadas a cabo a temperatura ambiente mostrando los mejores resultados al evaluar los MWCNT-ácido acético a 40% de potencia durante 60 minutos, los cuales se dispersaron en solventes como cloroformo, metanol, agua y cloruro de metileno, debido a que estos solventes tienden a formar puentes de hidrógeno.

Tabla 1. Comportamiento en las pruebas de dispersión de MWCNT -ácido acético a diferentes potencias 20, 40 y 60 % durante 60 minutos de tratamiento.

Solvente Polares	MWCNT	MWCNT-ácido acético 20% 60 min	MWCNT-ácido acético 40% 60min	MWCNT-ácido acético 60% 60min
Pentanol	X	X	X	X
Agua	X	X	√	X
Etanol	X	X	X	X
Cetona	X	X	X	X
Metanol	X	X	√	X
Pentanol	X	X	X	X
Solvente No polares	MWCNT	MWCNT-ácido acético 20% 60 min	MWCNT-ácido acético 40% 60min	MWCNT-ácido acético 60% 60min
Cloroformo	X	X	√	X
Hexano	X	X	X	X
Cloruro de metileno	X	X	√	X
Acido acético	X	X	X	X

X=No se dispersaron √=si se dispersaron

En la Tabla 2, se pueden observar los resultados de las pruebas de solubilidad de los MWCNT modificados con ácido cítrico a diferentes potencias 20, 40 y 60%, donde podemos observar que en solventes como lo son cloroformo, etanol, agua y cloruro de metileno, los MWCNT-ácido cítrico con una potencia de 40 % si se dispersaron, esto debido a la polaridad de estos solventes y la presencia de elementos halogenados.

Tabla 2. Comportamiento de MWCNT -ácido acético a diferentes potencias 20, 40 y 60 % durante 60 minutos de tratamiento frente a solventes polares y no polares.

Solvente polares	MWCNT	MWCNT-ácido cítrico 20% 60 min	MWCNT-ácido cítrico 40% 60min	MWCNT-ácido cítrico 60% 60 min
Pentanol	X	X	X	X
Agua	X	X	√	X
Etanol	X	X	X	X
Cetona	X	X	X	X
Metanol	X	X	√	X
Pentanol	X	X	X	X
Solvente No polares	MWCNT	MWCNT-ácido cítrico 20% 60min	MWCNT-ácido cítrico 40% 60min	MWCNT-ácido cítrico 60% 60min
Cloroformo	X	X	√	X
Hexano	X	X	X	X
Cloruro de metileno	X	X	√	X
Acido acético	X	X	X	X

X=No se dispersaron √=si se dispersaron

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Las micrografías mediante SEM de los MWCNT sin modificar se presentan en la Figura 6, los MWCNT presentan una superficie limpia y sin ningún recubrimiento, además se observa que se encuentran aglomerados, debido a las fuerzas electrostáticas que se generan por su tamaño nanométrico.

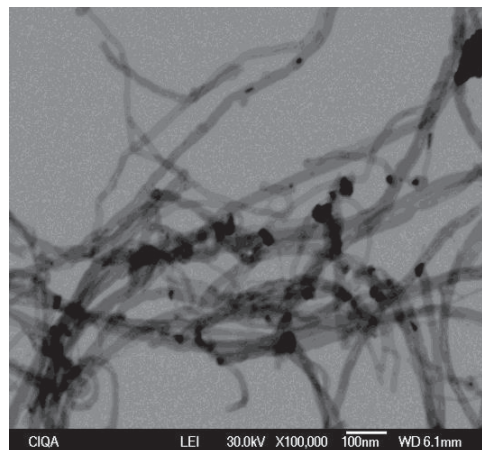


Figura 6. Imagen de SEM de los MWNTC antes de la sonicación

La imagen de SEM de los MWCNT tratados ácido cítrico a 20% se presenta en la Figura 7, donde podemos observar que hay un recubrimiento sobre toda la superficie de los MWCNT, esto nos revela que si se llevó a cabo una modificación.

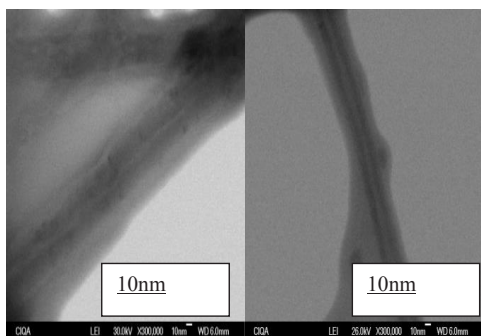


Figura 7. Imágenes de SEM de los MWCNT modificados con ácido cítrico aplicándoles 20 % de potencia en la radiación ultrasónica 10 nm

Los MWCNT tratados con ácido cítrico modificados a un 40% de potencia se presenta en la Figura 8, donde los MWCNT muestran un revestimiento el cual es provocado por la modificación en la superficie de los MWCNT, este recubrimiento ayuda a que los MWCNT se puedan dispersar mejor en diferentes solventes.

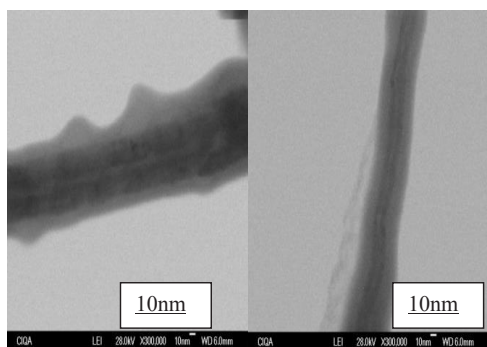


Figura 8. Imágenes de SEM de los MWCNT modificados con ácido cítrico aplicándoles 40 % de potencia en la radiación ultrasónica 10 nm

Caracterización electroquímica

La Figura 9 muestra el comportamiento electroquímico mediante voltamperometría cíclica de los MWCNT modificados con ácido cítrico. Cuando los MWCNT fueron sometidos a un tratamiento de ultrasonido con una potencia del 20% (a) se obtiene una corriente de reducción del Fe^{3+} de 24.73 μA , en comparación con la intensidad de corriente de 33.62 μA , desarrollada por los MWCNT tratados con un 60% (c) de potencia; es importante mencionar que cuando se trataron los MWCNT con un 40% (b) de potencial del equipo de ultrasonido, la intensidad de corriente del proceso faradáico disminuyó, esto está en concordancia con los resultados de ángulo de contacto.

En la Figura 10, podemos observar el comportamiento electroquímico mediante voltamperometría cíclica de los MWCNT sometidos a tratamiento con ácido acético; la tendencia de los cambios observados en la intensidad de corriente de reducción del Fe^{3+} es el mismo que se observa cuando se trataron los MWCNT con ácido cítrico, teniendo un valor de corriente de 34.89 μA cuando se empleó un 20% de potencia (a), 18.13 μA para un 40 % (b) y 112.83 μA cuando se empleó 60% (c); estos valores son siempre mayores que los correspondientes obtenidos con el tratamiento con ácido cítrico.

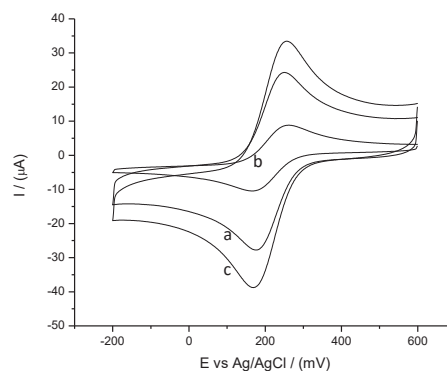


Figura 9. Voltamperogramas cíclicos obtenidos con un electrodo de CV modificado con MWCNT tratados con ácido cítrico a diferentes potencias de ultrasonido, a) 20%, b) 40% y c) 60%; $\nu=100 \text{ mV/s}$, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 1 mM, solución amortiguadora de fosfatos pH 7.4

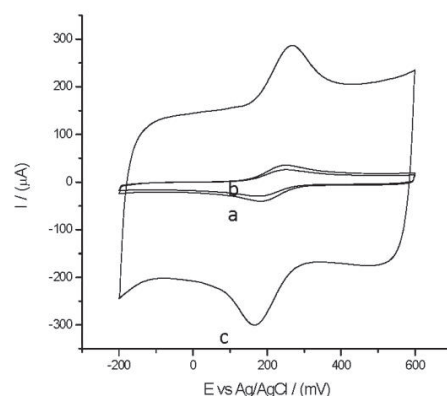


Figura 10. Voltamperogramas cíclicos obtenidos con un electrodo de CV modificado con MWCNT tratados con ácido acético a diferentes potencias de ultrasonido, a) 20%, b) 40% y c) 60%; $\nu=100 \text{ mV/s}$, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 1 mM, solución amortiguadora de fosfatos pH 7.4.

Es importante remarcar el hecho de que al tratar los MWCNT con un 60% de potencia del equipo de ultrasonido, se logra una modificación tal que permite un desarrollo de corriente mayor cuando se compara con los resultados de los materiales tratados con el mismo ácido, esto se puede observar en la Figura 11-A, en las líneas a y b. A su vez el tratamiento con ácido acético permite obtener un desarrollo de corriente del proceso de reducción del Fe^{3+} mucho mayor que en cualquiera de las demás condiciones de tratamiento, lo que se puede observar en los voltamperogramas de la figura 11-B.

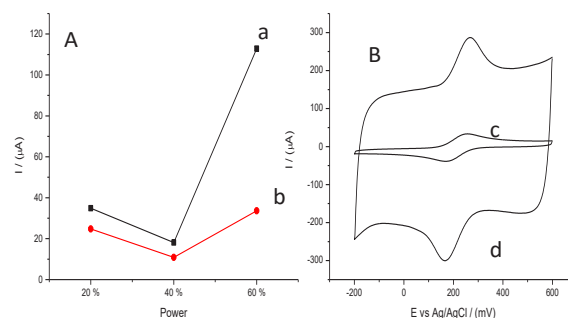


Figura 11. Comparativo de la corriente desarrollada por los procesos faradáicos del par redox del hierro A) concentrado

de los datos de corriente del proceso faradámico del hierro con los MWCNT tratados con ácido acético(a) y ácido cítrico (b) a las diferentes potencias del equipo de ultrasonido; B) voltamperogramas cíclicos obtenidos con NTC tratados con ácido cítrico c) y ácido acético d) con un 60% de potencia.

El comportamiento errático o no proporcional del valor de la corriente desarrollada por la reducción del Fe^{3+} , observada al aumentar la potencia del equipo de ultrasonido, se debe a que cuando se impone un 20% de potencia del ultrasonido se logra la modificación superficial con una gran cantidad de grupos carboxilo en la superficie de los MWCNT; cuando se tratan los MWCNT con una potencia de 40%, la gran mayoría de la energía suministrada se va en el proceso de ruptura de los MWCNT y no en la oxidación de los mismos; finalmente cuando se impone un 60% de la potencial del ultrasonido, además de la ruptura de los MWCNT se logra la modificación con una gran cantidad de grupos carboxilo, esto último implica el desarrollo de grandes corrientes capacitivas y a su vez también una gran corriente de los procesos faradámicos que sobre su superficie puedan verificarse, esto es exactamente lo que se observa en el voltamperograma (b) de la Figura 11-B. Este estudio nos demuestra que existe una modificación en las propiedades electroquímicas de estas nanopartículas y los resultados obtenidos concuerdan con los sus resultados de las otras técnicas de caracterización, por lo tanto podemos decir que la modificación en los MWCNT se dio debido a que cambian sus propiedades físicas y químicas.

CONCLUSIONES

Se logró la modificación de los MWCNT con diferentes ácidos renovables como lo son ácido acético y ácido cítrico a 20, 40 y 60 % de potencia durante 60 minutos mediante ultrasonido de punta rompedora. Realizando el estudio de caracterización espectroscópica mediante FT-IR (ATR), los MWCNT modificados por ultrasonido mostraron señales características de los ácidos carboxílicos en las muestras tratadas con punta de ultrasonido, lo que indica la posible evidencia de la modificación de los mismos. En las pruebas de dispersión, los MWCNT modificados con los **ácidos renovables** como lo son: **ácido acético y ácido cítrico**, los MWCNT obtenidos al aplicarles una potencia de 40 % fueron los únicos que se pudieron dispersar en solventes polares y no polares.

Referente al análisis de **ángulo** de contacto todas las muestras modificadas con los dos tipos de ácidos y 20%, 40% y 60 % de potencia del ultrasonido fueron afines al agua. De la microscopia tipo SEM se obtuvieron imágenes donde se logró apreciar un recubrimiento en los MWCNT modificados que los MWNTC sin modificar no aparece. Los MWCNT modificados tuvieron mayor intensidad de corriente y por consiguiente fueron modificadas las propiedades electroquímicas de los MWCNT originales.

En general se propuso el comportamiento que sufren los MWCNT en relación al aumento de potencia, donde en un punto máximo se especula que hay una saturación de grupos carboxílicos (20%) y después de este porcentaje de potencia, ocurre un daño a los MWCNT (40%). En seguida de esto vuelve a darse una saturación de grupos ácidos en los fragmentos dañados de los MWCNT (60%).

REFERENCIAS

1. Azdrubal, B.; Valencia, R.; Hernandez, Montero N.; Sarasua, J. R.; Rev. Lat. Am. Metalurgia Mater. **2013**, 33, 54.
2. Cruz, V.; Avila, C.; Perez, O.; Garcia, M.; Ideas Conacyteg. **2011**, 6, 72.
3. Ruhai ,A.; Rana, J. S.; Kumar, S.; Kumar, A.; Int. J. Modern Eng. **2012**, 2, 1310.
4. Fernando, C. A.; Priyankara, W. T.; Harmadas, I. M.; **Renew. Energ.** **2002**, 25, 69.
5. Olivas, I.; García, P.; Martel, A.; Martínez , R.; Martínez, A; Martínez, C. A.; Rev. Mex. Ing. Quím. **2009**, 8, 205.
6. **Gonzalez, G.; Albano, C.; Herman, V.; Boyer, I.; Monsalve, A.; Brito, J.A.; Mater. Charact.** **2012** , 64, 96.
7. McGilvray, K. L.; Decan, M. R.; Wang,, D.; Scaiano, J. C.; J Am. Chem. Soc. **2006**, 128, 15980.
8. Hao, Y.; Yuguang, J.; **Peng, F.**; Wang, H.; Yang, J.; **J Phys. Chem.** **2008**, **112**, 6758.
9. Zhu, L.; Wool, R. P.; Department of Chemical Engineering, University of Delaware, **2006**, 197, 16,.
10. Cabello C., et al. *Afinidad*. **2014**. 71, 566, 139-145.
11. Cabello C., et al., Rev. LatinAm. Metal. Mat. **2015**, 35, 27-33.
12. Poh, C. K. ; J. Power Sources. **2008**, 176, 70.
13. Shi, J., Yang, B., Hong, S., Eur. Polym. J. **2009**, 45, 1002.
14. Henao, J. E.; Gómez, M.A.; Calderón, J. A.; Rev. Facultad de Ingeniería Universidad Antioquia, **2009**, 49, 70-80.
15. Wang , F.; Swager, T.; J Am. Chem. Soc. **2011**, 133, 11181.
16. Fatirahn, F.; Shafinaz, A.; Dig. J. Nanomater. Bio. **2012**, 7, 33.
17. Andreassi, M. G.; Cardiovasc. Ultrasoun. **2004**, 2, 25.
18. Huang, Y. Y.; Terentjev, E. M.; Polymers .**2012**, 4, 275.
19. Li, Q.; Ma, Y.; Mao, C.; Wu, C.; Ultrason. Sonochem. **2009**, 16, 752.
20. Rodríguez J., Abstrac, IV Congreso Internacional de la Sociedad Cubana de Medicina Física, La Habana, Cuba, 2007.
21. Tan, F.R.; Li, H. B.; Gui, H.; Zhang, J.; Li, R.; Jin, H.; Acta Phys. Scie. **2012**, 28, 1790.
22. Kobus, Z.; Kusinska, E.; Teka, Kom. Mot. Energ. Roln , **2008**, 8, 71.
23. Gkikas, G.; Barkoula, N. M.; Paipetis, A.S.; Compos Part B-Eng. **2012**, 43, 2697.
24. Tatum, J. B.; Physics Celestial Mechanics, **2007**, 18, 2.
25. Godse, A.P.; Bakshi, U.A.; Communication Engineering. Technical Publications, 6th ed. Technical Publications Pune, India, **2008**.