

5. Conclusiones.

5.1 Tinta a base de MWCNT.

La tinta fabricada para el presente trabajo presenta una adherencia y flexibilidad adecuada para la fabricación de recubrimientos para electrodos, y podría tener otras aplicaciones, por ejemplo escudo contra interferencia electromagnética, como compuesto conductor térmico para disipadores de calor en aplicaciones de electrónica, como aditivo para la fabricación de materiales compuestos, o incluso como soporte para la regeneración de tejidos orgánicos ^[5.1].

Como ya se ha mencionado, las principales ventajas de utilizar una tinta para depositar el recubrimiento de los electrodos es la simplificación del proceso de fabricación de EDLCs y la posibilidad de adaptarse a procesos de fabricación actuales con pocas modificaciones (por ejemplo utilizando las mismas maquinas que son utilizadas para cortar, enrollar y empaquetar electrodos de capacitores electrolíticos).

5.2 Supercapacitor con electrodos recubiertos de nanotubos de carbono.

Se logró probar la factibilidad de fabricar EDLCs con MWCNT de grado industrial, aunque los dispositivos fabricados para el presente trabajo aun tienen la necesidad de mejorar sus características para que su aplicación comercial sea viable, principalmente la resistencia equivalente en paralelo de los dispositivos.

El costo de los materiales para fabricar el EDLC B fue de aproximadamente 36 MXN, siendo el componente más caro el etanol anhídrido utilizado como solvente para la tinta. El costo se compara favorablemente con el precio de EDLCs comerciales de 10 F de entre 50 y 170 MXN (precios del 2010 en DigiKey.com), demostrando la viabilidad de la eventual aplicación comercial de nanotubos de carbono de grado industrial para la fabricación de EDLCs.

Los valores de capacitancia obtenidos son altamente variables en relación al voltaje de operación del dispositivo. Esto se debe a que el principal aporte de capacitancia proviene de la parte variable, como se muestra en el modelo eléctrico utilizado, obteniéndose **7.071 F @ 1 V**, y **13.416 F @ 2.5 V**. Esta variabilidad tiene ventajas y desventajas; ocasiona que la aplicación práctica de los dispositivos sea más compleja, pero permite que buena parte del almacenamiento de energía se realice a un mayor voltaje, a diferencia de un capacitor convencional, en el cual aunque le quede el 50 % de carga, podría ya no tener energía aprovechable por el circuito que alimenta (por ejemplo un capacitor cargado hasta 3.6 V alimentando un LED rojo, ya no puede proporcionarle energía para su operación a menos de 1.8 V aunque aun tenga el 50 % de su carga, mientras que a un EDLC hipotético en condiciones similares podría quedarle solamente el 25 % de su carga). Los valores de capacitancia específica de entre **20.31 F/g @ 1 V** y **38.55 F/g @ 2.5 V**, son competitivos en cuanto a lo que se ha logrado con carbón

activado (entre 20 y 100 F/g)^[5.2], pero inferiores a los logrados en otros estudios que han utilizado nanotubos de carbono como material para electrodos de EDLCs (entre 36 y 200 F/g)^[5.3, 5.4].

5.3 Trabajo a futuro.

Para mejorar las características de los EDLCs se pueden tomar varias alternativas, por ejemplo:

- Agregar otros materiales a la tinta, como carbón activado, nanotubos de mayor calidad o nano alambres metálicos^[5.3].
- Someter los nanotubos a procesos de activación térmica o química.
- Utilizar colectores de corriente más gruesos y/o pre-enrollarlos antes de recubrirlos; para reducir los daños que sufren el recubrimiento y los electrodos al ser enrollados.
- Utilizar un separador más delgado y resistente, como por ejemplo tela de polipropileno hidrofílico.
- Utilizar un solvente de menor calidad para reducir el costo de la tinta.
- Utilizar un electrolito que soporte mayor voltaje.
- Utilizar una máquina para el enrollado de los electrodos.
- Utilizar empaques herméticos para encapsular los EDLCs.
- Mejorar la conexión entre los colectores de corriente y las terminales de los EDLCs.

5.4 Referencias.

^[5.1] Simmons, T.J. et al. "Antiseptic single wall carbon nanotube bandages". *Carbon*, 2009. *Volumen 47 1561pp*. DOI: [10.1016/j.carbon.2009.02.005](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2009.02.005)

^[5.2] Frackowiak, E. Beguin, F. "Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors". *Carbon*, 2001. *Volumen 39 937pp*. DOI: [10.1016/S0008-6223\(00\)00183-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00183-4)

^[5.3] Hu, L. et al. "Highly conductive paper for energy-storage devices". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009. *Volumen 106 21490pp*. DOI: [10.1073/pnas.0908858106](https://doi.org/10.1073/pnas.0908858106)

^[5.4] Kaempgen, M. et al. "Printable Thin Film Supercapacitors Using Single-Walled Carbon Nanotubes". *Nano Letters*, 2009. *Volumen 9 1872pp*. DOI: [10.1021/nl8038579](https://doi.org/10.1021/nl8038579)