

1. Introducción.

El encarecimiento y agotamiento de los recursos energéticos ha dado lugar además de la búsqueda de fuentes alternas de energía, a la necesidad de incrementar la eficiencia con la que estos recursos son utilizados.

Si bien los combustibles fósiles pueden ser utilizados en demanda, es decir, cuando son requeridos, muchas de las fuentes alternativas de energía solo están disponibles en determinados periodos de tiempo, por ejemplo la energía solar obviamente solo está disponible cuando esta soleado, mientras que la energía eólica solo está disponible cuando el clima lo permite. Para que estas fuentes alternativas de energía puedan tener una mayor utilización es necesario almacenar la energía que generan para cuando ésta sea requerida.

Existen varias formas de almacenar energía eléctrica, por ejemplo bombeando agua a un reservorio a mayor altura, comprimiendo aire en tanques de almacenamiento, obteniendo hidrógeno por medio de electrólisis de agua, almacenando energía inercial (flywheels), almacenando energía térmica en fluidos (por ejemplo sal fundida) o en baterías electroquímicas, siendo esta última alternativa la más utilizada en la actualidad.

Para mejorar la eficiencia de los sistemas energéticos se han aplicado enfoques como la mejora de los métodos de control, la utilización de alternativas más eficientes (por ejemplo la sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes o LED) o el aprovechamiento de la energía consumida pero no utilizada. En esta última opción se pueden tomar enfoques como la utilización de la energía térmica de desecho para aclimatación o cogeneración, o la regeneración de energía inercial en energía eléctrica. La regeneración es el enfoque que se utiliza en medios de transporte híbridos, como por ejemplo en trenes o en automóviles; en el caso de los trenes, la energía regenerada puede ir de vuelta a la red de alimentación (en el caso de trenes eléctricos), o al igual que en los automóviles híbridos, ser almacenada en el vehículo para volver a ser utilizada por el mismo. Este almacenamiento generalmente se realiza por medio de baterías electroquímicas.

Sin embargo las baterías electroquímicas tienen limitaciones importantes, como un número limitado de ciclos de vida útil y la capacidad de cargarse o entregar energía dentro de ciertos límites de corriente. Por otro lado, la energía eléctrica también puede ser almacenada por medio de capacitores, los cuales tienen mayores límites de funcionamiento, pero carecen de suficiente densidad de almacenamiento de energía para ser utilizados en muchas aplicaciones.

Los supercapacitores son dispositivos con características intermedias entre las de los capacitores y las de las baterías recargables, sin embargo sus características no los hacen candidatos para reemplazar a ninguno de los 2 (menor densidad de energía que las baterías, menor velocidad de carga y descarga que los capacitores), pero los hacen candidatos para

complementarlos, por ejemplo, un sistema de almacenamiento de energía híbrido con baterías y supercapacitores almacenaría la mayor parte de la energía en baterías y utilizaría a los supercapacitores para picos de corriente de carga o descarga, prolongando la vida útil de las baterías.

Durante décadas se ha hablado de las aplicaciones potenciales de los nanomateriales, sin embargo pocas han llegado a estar disponibles comercialmente, principalmente por el alto costo de estos materiales. Parte de este alto costo se debe a la pureza que deben de tener estos materiales para presentar características útiles y parte a la poca producción que se realiza debido a la falta de aplicaciones comerciales. Para incrementar la demanda y reducir el costo de estos materiales se debe de encontrar aplicaciones comerciales que utilicen pequeñas cantidades de materiales de pureza baja o intermedia y que por lo tanto no incrementen demasiado los costos de fabricación.

Entre las aplicaciones de nanomateriales con mayor factibilidad de llegar a estar disponibles comercialmente a corto plazo se encuentra su utilización en la fabricación de supercapacitores. En los últimos años se ha estudiado la aplicación de nanotubos de carbono como material para la fabricación de electrodos de supercapacitores ^[1.1, 1.2, 1.3, 1.4], sin embargo la mayor parte de estos estudios ha utilizado nanotubos de alta pureza, y por lo tanto alto costo, lo que deja en duda la factibilidad de su aplicación en sistemas comerciales.

Para el presente trabajo se propone estudiar la factibilidad de la utilización de nanotubos de carbono de bajo costo para la fabricación de electrodos de supercapacitores, con el objetivo de desarrollar métodos confiables para su eventual aplicación comercial.

1.1 Referencias.

[1.1] Signorelli, R. *et al.* "Electrochemical Double-Layer Capacitors Using Carbon Nanotube Electrode Structures". *Proceedings of the IEEE*, 2009. Volumen 97 1837pp. DOI: [10.1109/JPROC.2009.2030240](https://doi.org/10.1109/JPROC.2009.2030240)

[1.2] Kang S.J, *et al.* "Printed Multilayer Superstructures of Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes for Electronic Applications" *Nano Letters*, 2007. Volumen 7 3343pp. DOI: [10.1021/nl071596s](https://doi.org/10.1021/nl071596s)

[1.3] 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)

[1.4] 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)