Caracterización de fibra de Carbono reforzada como: Generadora y fuente de almacenamiento de energía eléctrica para suplir baterías de Ion-Litio

Characterization of reinforced Carbon fiber as: Generator and storage source of electric power to replace Ion-Lithium batteries

PÉREZ-AGUILAR, Antonio de Jesús†, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN-ARROYO, Edgar Iram y POSADA-SÁNCHEZ, Ana Elena

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Facultad de Ingeniería, Grupo de Tribología y Transporte, Cuerpo Académico 189 (Prevención de Desastres y Desarrollo Sustentable, Tribología, BUAP), Edificio de Posgrado, Primer nivel, Cubículo Núm. 16, Blvd. Valsequillo esq. Av. San Claudio, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, CP. 72570, Puebla México.

ID 1^{er} Autor: Antonio De Jesús, Perez-Aguilar / ORC ID: 0000-0002-5908-7249, Researcher ID Thomson: G-2749-2019, CVU CONACYT ID: 972697

ID 1^{er} Coautor: Marco Antonio, Cruz-Gómez / ORC ID: 0000-0003-1091-8133, Researcher ID Thomson: S-3098-2018, CVU CONACYT ID: 349626

ID 2^{do} Coautor: Edgar Iram, Villagrán-Arroyo / ORC ID: 0000-0003-0261-1721, CVU CONACYT ID: 505244

ID 3^{er} Coautor: Ana Elena, Posada-Sánchez / ORC ID: 0000-0001-6328-2576, Researcher ID Thomson: S-8705-2018, CVU CONACYT ID: 543011

DOI: 10.35429/JEA.2019.19.6.17.24

Recibido: 19 de Abril, 2019; Aceptado Junio 30, 2019

Resumen

Los materiales compuestos multifuncionales se están convirtiendo en parte importante para la industria de energía y el transporte, lo cual hace que los composites de fibra de carbono sean una excelente opción. La fibra de carbono reforzada (CF's) con una matriz polimérica genera un material compuesto multifuncional, el cual aumenta sus propiedades fisicoquímicas y conserva las intrínsecas (resistencia, rigidez, baja densidad, electroquímicas y piezoeléctricas). Esta investigación tiene como objetivo implementar CF's como fuente alternativa de generación y almacenamiento de energía eléctrica aplicada a medios de transporte sustentables. La metodología empleada tiene un enfoque cualitativo-cuantitativo en procesos inductivos y sistemáticos basados en recolección e interpretación de textos científicos con análisis de realidad objetiva. La CF's provenientes de los derivados del petróleo tienen mejores características intrínsecas que las que provienen de polímeros biodegradables (lignina, fibra de lana y plumas de pollo). El análisis de la caracterización de CF's permitió identificar la aplicación de estas como fuente alternativa de energía eléctrica sustentable y medio de almacenamiento, así como sus limitaciones y evaluación de la tasa de potencia entregada para el diseño de sistemas alimentación de dispositivos.

Baterías estructurales, Generación de voltaje con fibra de carbono, Fibra de carbono compuesta

Abstract

Multifunctional composite materials are becoming an important part of the energy and transportation industry, which makes composites of carbon fibers an excellent choice. The carbon fiber reinforced (CF's) with a polymeric matrix produces a multifunctional composite material, which increases its physicochemical properties and keeps intrinsic one (strength, stiffness, low density, electrochemical and piezoelectric). This research aims to implement CF's as an alternative generation source and storage of electric power applied to sustainable transport means. The used methodology has an approach qualitative-quantitative in inductive and systematic processes based on the collection and interpretation of scientific texts with objective reality analysis. CF's from petroleum derivatives have better intrinsic characteristics than those from biodegradable polymers (lignin, wool fiber and chicken feathers). The CF's characterization analysis allowed to identify the application of these as a sustainable alternative electric source and storage mean, as well as their limitations and evaluation of the power rate delivered for the design of device power systems.

Structural batteries, Voltage generation with carbon fiber, Composite carbon fiber

Citación: PÉREZ-AGUILAR, Antonio de Jesús, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, VILLAGRÁN-ARROYO, Edgar Iram y POSADA-SÁNCHEZ, Ana Elena. Caracterización de fibra de Carbono reforzada como: Generadora y fuente de almacenamiento de energía eléctrica para suplir baterías de Ion-Litio. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2019. 6-19: 17-24

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: antonio.perez.ap404@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Abreviaturas

CF's	Fibra de carbono reforzada
PAN	Poliacrilonitrilo
NMC	Níquel-manganeso-cobalto
CFRP	Polímero reforzado con fibra de carbono

Introducción

Recientemente se ha investigado que las fibras de carbono reforzadas CF's pueden almacenar y generar energía eléctrica además de funcionar como un material estructural, es por eso que se están convirtiendo en una parte importante para el desarrollo de tecnología, la cual busca aprovechar sus características intrínsecas para la sustitución de baterías y aceros dentro del sector automotriz, aeronáutico, civil, militar, etc.

La CF's tienen potencial para desarrollarse en futuras aplicaciones y sobre todo para ayudar al medio ambiente, debido a ello se encuentran en perfeccionamiento continuo para optimizar sus aplicaciones y caracterización de nuevos materiales.

El enfoque de esta investigación es cualitativo-cuantitativo en procesos inductivos y sistemáticos basados en recolección e interpretación de textos científicos con análisis de realidad objetiva utilizándola para la descripción del funcionamiento y características de las CF's a partir de la recolección de datos numéricos de fibras existentes en el mercado.

La importancia que tiene los precursores dentro de las propiedades que puedan obtener los compuestos después de pasar por un proceso de producción son importantes y algunas de éstas son: la resistencia mecánica, rigidez, conductividad térmica, eléctrica y densidad, ya que las CF's elaboradas de polímeros provenientes del petróleo tienen mejores propiedades que las fibras de carbono elaboradas de polímeros biodegradables para su sustitución en el mercado.

El desarrollo de esta investigación se realizó mediante la recolección detallada de información técnica en artículos científicos, donde la finalidad fue encontrar el compuesto de mejores características (mecánicas, químicas y eléctricas) reportadas previamente por la producción de algunas empresas de países desarrollados.

Los resultados que se esperan de esta investigación son conocer las características (mecánicas, eléctricas y químicas) de las CF's identificadas hasta el momento con fines de evaluar su producción como fuente de generación eléctrica y en función de la potencia determinar el abastecimiento de sistemas eléctricos.

Lo que nos motiva es que podamos aportar al desarrollo tecnológico a partir del almacenamiento y generación de este material inteligente para el bien de la humanidad y por consiguiente del planeta mediante la investigación podremos ver en un futuro esta tecnología dentro de medios de transporte, construcción y diversas aplicaciones que puedan obtener después de su desarrollo.

Metodología

La metodología que se empleó para determinar el funcionamiento, propiedades, aplicaciones y el desempeño con el que cuentan algunas fibras de carbono comerciales basadas en PAN (poliacrilonitrilo) ya que Snyder *et. al* (2009.) escrito en Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014) dice que las fibras que poseen mejor resistencia y capacidad de almacenar energía son: toho toray IMS 65, T300; para explicar estas características se desarrollaron los siguientes temas:

1.-Presentar el estado del arte de las baterías estructurales y de las fibras de carbono generadoras de energía eléctrica, para dar a conocer las propiedades que tiene la fibra de carbono, su proceso de fabricación y su funcionamiento como batería estructural y como generador de energía.

2.- Dar a conocer algunas características y métodos de fabricación de algunas fibras de carbono biodegradables (lignina, plumas de pollo y fibra de lana) de las cuales se puede sacar provecho para aplicarlas en un futuro, ya que su proceso de producción es más barato con respecto a las CF's que provienen de PAN, además de poseer propiedades menos contaminantes.

3.- Análisis comparativo del rendimiento de las CF's T300, IMS 65, T800 y MJ60 todas hechas de poliacrilonitrilo (PAN) para determinar su rendimiento, potencia, resistencia mecánica y eléctrica.

Estado del arte de las baterías estructurales y de las fibras de carbono generadoras de energía eléctrica

Características generales de las fibras de carbono

La CF's es un material al cual describiríamos como casi perfecto, ya que puede desempeñar diferentes funciones como: almacenar energía eléctrica, soportar cargas mecánicas más altas que el acero, anticorrosiva, producir energía eléctrica y, gracias a ello, funciona como un excelente remplazo para materiales estructurales como el acero, aluminio y aleaciones que componen la estructura de los medios de transporte.

Algunas de las funciones que mencionamos anteriormente, los científicos no han podido desarrollarlas, ya que representa un gran reto debido a que sus propiedades se están optimizando sin sacrificar una de la otra. Es por eso que le denominamos casi perfecto y hoy en día se continúa investigando para que puedan encontrar la mejor CF'S y pueda sustituir componentes estructurales de un medio de transporte. por ejemplo, la carrocería de un auto (Fredí, G *et al.*, 2018) para que éstos obtengan más autonomía.

La composición química se basa en materia prima a la cual denominamos precursores y estos pueden ser de materiales que provienen de los hidrocarburos o biodegradables los cuales tienen que someterse a procesos térmicos y químicos. (Huang, X. 2009). El proceso para producirlas siempre será diferente, depende en gran medida del precursor que utilicemos y este proceso consta de tres fases térmicas esenciales: oxidación, carbonización y estabilización. Para ello se someten a altas temperaturas y estas van desde 250°C hasta 1500°C como se muestra en la figura 1.

Figura 1 Proceso de producción de las fibras de carbono
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3 Ilustración esquemática de la sección transversal de la batería 3D.: Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014)

Después de pasar el proceso de fabricación, su composición química se basa en pequeños cristales de grafito alineados en un arreglo hexagonal, como se muestra en la figura 2 con una separación de 0.35 nm. Los átomos son unidos por enlaces covalentes en el orbital atómico SP2 mediante las fuerzas de Van der Waals.

Figura 2 Estructura de cristales gráfiticos y direcciones cristalinicas.: Huang, X. (2009)

La estructura que se forma depende del precursor que hayamos utilizado y en consecuencia nos proporcionará las características fisicoquímicas de nuestra fibra de carbono.

El almacenamiento lo obtiene mediante la incrustación de baterías de películas delgadas (ion-litio) en las fibras de carbono reforzadas y normalmente son con forma de sándwich.

La conductividad térmica y eléctrica de las fibras de carbono a lo largo del eje según Huang, X. (2009) se encuentra cercana a la de los metales y está en el rango de 21-125 W / (m*K).

Otra de las características que tiene es su capacidad para amortiguar las vibraciones que se produzcan en las partes estructurales para reducción de ruidos y recolección de energía.

En una investigación de Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014) realizó un nuevo diseño, que se muestra en la figura 3, representa una batería estructural cubierta con un electrolito de polímero sólido en un material de matriz dopada con un cátodo en común y es quizá la más reciente de las Cf's obteniendo una densidad de energía de hasta 175 (W*h*) / kg y un módulo de corte de 1 GPa.

Figura 5 La batería laminada Swerea SICOMP desarrollada en ALMACENAMIENTO: Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014)

Estructura de las baterías estructurales

La finalidad de ocuparse en el diseño estructural de la fibra de carbono es optimizar el rendimiento para aumentar la densidad de energía que pueda portar y la carga mecánica que resistirá como beneficio que se obtiene a partir de su diseño.

La mayoría de estos diseños aparentemente tienen forma de placas y si las observamos más cerca es un tipo sándwich, el cual se produjo mediante la experimentación para aumentar su rendimiento.

Uno de los primeros diseños laminares fue desarrollado en los laboratorios de investigación de la armada de EUA liderado por Wetzel, E.D.(2004) en Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014) donde las partes que contenían su diseño eran: una lámina de metal cubierta y ésta actuaba como el cátodo; una capa de fibra de vidrio como separador entre el ánodo, cubierta con un poco de electrolito para permitir el paso de los electrones; una capa fibra de carbono fabricada para que actuará como ánodo ver figura 4.

Figura 4 El concepto de batería laminada ARL.: Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014)

No hace mucho Carlson *et. Al.* (2018) en Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014) desarrollaron un compuesto de batería estructural laminada (figura 5) como parte de un proyecto donde utilizaron una fibra de carbono comercial “IMS 65” como ánodo, un electrolito desarrollado por el Imperial College London utilizado para súper capacitores estructurales y una lámina cubierta de litio ferfosfato (LiFePO₄) como cátodo. Este compuesto laminar tuvo el nombre de “Swerea SISCOMP” y logró encender un LED durante 1 minuto y 10 s. Existe otro diseño de baterías estructurales desarrollado por Ladpli, P *et al.*, (2019) al cual denominaron estructuras compuestas de almacenamiento de energía multifuncional (MESC), los cuales mediante un diseño novedoso ofrecen robustez y seguridad sin ayuda de algún refuerzo externo para la implementación en chasis o amortiguadores de impacto en la zona de deformación de los vehículos eléctricos.

Esta configuración se realiza mediante la encapsulación de baterías de ion-litio y, lo más importante de este tipo de diseño (como se muestra en la figura 6), es que llevan remaches de polímero entrelazados que se colocan para darle estabilidad y asegurar las capas del electrodo para que no se muevan, evitando cortes típicos de las capas y contribuyendo al rendimiento de la carga de la estructura (Ladpli, P. *et al* 2019). Algunos de los resultados obtenidos después de aplicar diferentes pruebas fueron:

601 (W*h) /L en la densidad de energía en un pedazo de 4x 4 cm y 14.3 Pa en su módulo de corte.

Figura 6 3D ilustración esquemática del MESC.: Ladpli, P.*et al* (2019)

Fibra de carbono como generadora de energía eléctrica

El descubrimiento de generación de energía eléctrica ocurrió porque durante algunas pruebas (Jacques *et. al* 2013) en Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014) se dieron cuenta de que las fibras de carbono podían generarla a través de la recolección cargas parásitas que se producen mediante el movimiento o deformaciones y a la vez se va almacenado en la batería estructural. Su principal idea es utilizar esta energía en otros componentes como sensores electrónicos.

La forma en la que logran generar la energía eléctrica es mediante el efecto piezoeléctrico a partir de una deformación en el material. Esto abre la posibilidad de también poder hacer fibras como sensores electrónicos (Gibson, R.F. 2010)

Fibras de carbono provenientes de precursores biodegradables

Nos estamos encaminando hacia un mundo en donde el objetivo principal es cuidarlo mediante el uso de productos ecológicos y hacia el futuro de cero emisiones de vehículos eléctricos. Bien sabemos que los materiales en su proceso de producción que emplean las fibras de carbono actualmente provienen de materias primas que contaminan al ambiente y afectan a nuestra salud (Karthik, T., Rathinamoorthy, R., 2017) la desventaja es que se siguen empleando debido a que tienen mejores características físicas y químicas (Asp, L.E. & Greenhalgh, E., 2014) y la finalidad de dar a conocer algunas de las características de las fibras de carbono hechas de materiales biodegradables es que en un futuro puedan sustituirlas para cuidar a nuestro planeta.

Es por eso que se está investigando en materiales más ecológicos y de fácil degradación, en este caso polímeros que contribuyan al cuidado del medio ambiente los cuales al implementarlos en materiales multifuncionales (baterías estructurales, sustituto de materiales estructurales, medio de conducción y generación de energía eléctrica). Provocarían como consecuencia de su utilización en medios de transporte, la reducción de emisiones de dióxido de carbono que contribuyen al calentamiento global.

Fibras de carbono hechas de lignina

La lignina es un material biodegradable que proviene de la madera, es un compuesto fenólico con un contenido de carbón del 63.4%, es 50% más barato que el PAN y tiene buena abundancia en la naturaleza lo cual, la hace un excelente remplazo y un candidato fuerte para la producción de fibra de carbono aplicada en la industria automotriz o cualquier medio de transporte (Huang, X. 2009) (Karthik, T., Rathinamoorthy, R., 2017).

Las propiedades estructurales y químicas (peso, grupo funcional, grado de condensación) varían en gran medida por el tipo de madera usada, el monómero, la duración y el tipo de proceso químico al que es sometida (Karthik, T., Rathinamoorthy, R. 2017).

El uso de lignina como precursor de fibra de carbono tiene la ventaja de que al ser un polímero natural abundante en la tierra la hace sostenible, ya que también proviene del papel el cual es desechado en grandes cantidades.

Existe lignina comercial y lignina hecha de madera dura; la primera en mayor degradación porque en su proceso de producción utilizan mayor fragmentación y las segundas se utilizan en mayor cantidad como precursor para la producción de fibras de carbono, porque es un material renovable y barato.

Kadla *et. al* (2002) en Huang, X. (2009) produjo una fibra de carbono hecha de madera dura y una comercial mezclada de diferentes ligninas combinada poli-óxido de etileno, para las cuales después de pasar el proceso químico y térmico se obtuvo un rendimiento del 40-46% de contenido de carbono y un módulo de elasticidad de 400-550 MPa en las hechas de madera dura y 30-60 GPa en las segundas.

Fibras de carbono hechas de plumas de pollo

En una investigación realizada por Melissa E.N. Miller and Richard P. Wool en la universidad de Delaware, Newark, utilizaron plumas de pollo como fuente para la producción de microtubos de carbono, las cuales son un desperdicio en la industria avícola.

En su investigación descubrieron que las plumas de pollo son huecas y fuertes. Tienen un contenido de aproximadamente el 48% de carbono y 91% de queratina. Para obtener el carbono de este tipo de precursores lo sometieron a un proceso de carbonización a temperaturas aproximadas de 248°C durante 26 horas y después a un ambiente de nitrógeno durante 2 horas a 450°C.

Para reforzar la fibra y hacer un biocompuesto utilizaron una resina a base de soya; el resultado después de pruebas mecánicas fue de 145 GPa el cual compararon con una fibra de carbono de modulo bajo.

Fibras de carbono hechas de fibra de lana

Las fibras elaboradas de fibra de lana se consideran una opción de producción de fibra de carbono ya que, si se implementan podría ser un precursor de fibra de carbono sostenible y renovable además se sabe que contiene el 50% de carbón y está por encima del algodón.

La fibra de lana es renovable y tienen buenas propiedades mecánicas según Hassan y McLaughlin, (2013 en (Karthik, T., Rathinamoorthy, R. 2017) además de que abundan y están a un accesible precio.

Los resultados de una investigación de Hassan y McLaughlin (2013) revelaron que las fibras de lana entrecruzadas pudieron producir una fibra de carbono fuerte con mayor resistencia a la tracción que la fibra de lana sin tratar y esto en función del tipo de agentes de reticulación aplicados.

Análisis comparativo de fibras de carbono comerciales

Para la comparación de CF's elegimos a las que estaban elaboradas de PAN. La finalidad de la comparación es encontrar las mejores características de las fibras IMS 65. T800, T300 y MJ60.

Comparamos la resistencia a la tracción, conductividad térmica, densidad y módulo de elasticidad mediante los datos recolectados de la información que proporcionan los fabricantes vaciando los datos en una tabla para de esta forma a hacer el análisis de cada propiedad y elegir la que más convenga hasta el momento.

	T800	T300	M60J	IMS65
Módulo de elasticidad (GPa)	294	230	588	290
Resistencia a la tracción (MPa)	5490	3530	3920	6000
Conductividad térmica (Cal/cm·s·°c)	0.0839	0.025	0.363	-
Densidad (g/cm³)	1.81	1.76	1.93	1.78
Resistividad eléctrica (Ω · cm)	1.4·10 ⁻³	1.5·10 ⁻³	0.7 · 10 ⁻³	1.45 · 10 ⁻³

Tabla 1 Tabla de datos de las CF's
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 1 Gráfica de resistencia eléctrica
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2 Gráfica de densidad
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3 Gráfica de conductividad térmica
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4 Gráfica de resistencia a la tracción
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5 Gráfica de módulo de elasticidad
Fuente: Elaboración Propia

La elaboración de estas graficas fue con el fin de seleccionar la fibra de carbono más eficiente hasta el momento; cómo podemos observar, todo depende para el fin que le demos, es decir si necesitamos un material estructural podríamos elegir la IMS 65, ya que es más resistente.

Conclusiones

El material de mejor opción en estos tiempos dependerá en gran medida del uso que le demos pues, no podemos utilizar uno estándar que tenga las características para realizar diferentes tareas sin sacrificar otra.

Los materiales multifuncionales serian de gran ayuda para la humanidad en el caso del almacenamiento y en la parte estructural, pues se usarían dos o más componentes en ellos,no obstante aún se puede desarrollar esta tecnología si bien sabemos que es un gran reto por lo que representa trabajar con un material cuyas variables están relacionadas y esto en automático afecta a sus propiedades.

Esperamos que en un futuro ver desarrollada esta tecnología para la contribución del cuidado del planeta y de gran ayuda para ser humano.

Agradecimientos

- A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Facultad de ingeniería, por el apoyo
- Al grupo de tribología y transporte perteneciente al cuerpo académico 189 prevención de desastres y desarrollo sustentable, tribología, BUAP, por su colaboración en la ejecución y desarrollo en esta investigación
- A todos mis familiares, amigos y otras personas que participaron brindado su apoyo de alguna u otra manera, ya sea moral o económica.

Referencias

Asp, L.E. & Greenhalgh, E. (2014, Julio 5). Structural power composites. *Composites Science and Technology*, 101 , 41–61. octubre 2018, De Elsevier Ltd Base de datos.

Fredi, G., Jeschke, S., Boulaoued, A., Wallenstein,J., Rashidi, M., Liu, F., Harnden, R., Hagberg, D.Z.J., Lindbergh, G., Johansson, P., Stievano, L. & Asp, L.E. (2018, Agosto 28). Graphitic microstructure and performance of carbon fibre Li-ion structural battery electrodes. *Multifunctional Materials*, 1, 1-14. 2018, octubre, De IOP Publishing Ltd Base de datos.

Gibson, R.F.. (2010, Mayo 8). A review of recent research on mechanics of multifunctional composite materials and structures. *Composite Structures*, 92, 2793–2810. 2018, Diciembre, De Elsevier Ltd. Base de datos.

Huang, X. (2009, Diciembre 16). Fabrication and Properties of Carbon Fibers. *Chemical Sciences & Materials Systems Laboratory, General Motors Research & Development*, 2, 2369-2403. Octubre 2018, De Materials Base de datos.

Karthik, T., Rathinamoorthy, R. (2017). Sustainable synthetic fibre production.8- *Sustainable Fibres and Textiles*, 8, 191-240 . 2018, Noviembre, De Elsevier Ltd Base de datos.

Ladpli, P., Nardari,R., Kopsaftopoulos, F. & Chang, F.K . (2019, Enero 22). Multifunctional energy storage composite structures with embedded lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 414, 517–529. Enero 2019, De Elsevier B.V Base de datos