



Recepción: 03 / 02 / 2018

Aceptación: 12 / 04 / 2018

Publicación: 05 / 06 / 2018

Ciencias técnicas y aplicadas



Artículo científico

## Aplicación del grafeno en baterías para vehículos eléctricos

*Application of graphene in batteries for electric vehicles*

*Aplicação de grafeno em baterias para veículos elétricos*

Celin A. Padilla-Padilla <sup>I</sup>  
[celin.padilla@esPOCH.edu.ec](mailto:celin.padilla@esPOCH.edu.ec)  
Luis F. Buenaño-Moyano <sup>II</sup>  
[lfbuenaño@esPOCH.edu.ec](mailto:lfbuenaño@esPOCH.edu.ec)  
Bolívar A. Cuaical-Angulo <sup>III</sup>  
[bcuaical@esPOCH.edu.ec](mailto:bcuaical@esPOCH.edu.ec)  
Juan M. Ramos-Flores <sup>IV</sup>  
[jmramos@esPOCH.edu.ec](mailto:jmramos@esPOCH.edu.ec)  
Lenin H. Sánchez-Chávez <sup>V</sup>  
[lenin.sanchez@esPOCH.edu.ec](mailto:lenin.sanchez@esPOCH.edu.ec)  
Jorge I. Caicedo-Reyes <sup>VI</sup>  
[isaias.caicedo@esPOCH.edu.ec](mailto:isaias.caicedo@esPOCH.edu.ec)

Correspondencia: [celin.padilla@esPOCH.edu.ec](mailto:celin.padilla@esPOCH.edu.ec)

<sup>I</sup> Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Master en Ingeniería de Vehículos Híbridos y Eléctricos, Diplomado Superior en Gestión del Aprendizaje Universitario, Ingeniero Automotriz, Facultad de Mecánica, Escuela Ingeniería Automotriz, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo – Ecuador.

<sup>II</sup> Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Ingeniería Automotriz, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo – Ecuador.

<sup>III</sup> Magíster en Gestión de Energías, Ingeniero Automotriz, Facultad de Mecánica, Escuela Ingeniería Automotriz, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo – Ecuador.

<sup>IV</sup> Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química, Magíster en Seguridad Industrial, Doctor en Química, Facultad de Mecánica, Escuela Ingeniería Automotriz, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo – Ecuador.

<sup>V</sup> Ingeniero Automotriz, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo – Ecuador.

<sup>VI</sup> Magíster en Diseño Mecánico, Ingeniero Mecánico, Facultad de Mecánica, Escuela Ingeniería Mecánica, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo – Ecuador.

## Resumen

En el presente trabajo de investigación, se realizó una revisión bibliográfica del uso del grafito aplicado a las baterías para vehículos eléctricos. El problema de la autonomía en los vehículos eléctricos ha impedido que estos tengan el éxito esperado desaprovechando los beneficios que aportan al medio ambiente, ya que no emiten gases contaminantes y no contaminan acústicamente, por esta razón se busca materiales que puedan ser usados para la manufactura de baterías que contribuyan al incremento de la autonomía de este tipo de vehículos. El grafeno es una gran alternativa gracias a sus propiedades físicas y eléctricas. Para el análisis de la eficiencia y el comportamiento de los vehículos se cuenta con un programa facilitador que es Asesor, el cual presenta una herramienta amigable para usuarios para desarrollar diferentes estudios. Dentro de las ventajas importantes se tiene en este caso diferentes tipos de configuraciones y componentes, como en el caso de la batería de grafeno, la cual se presenta con todas las características que presenta. El grafeno no se utiliza al 100% para la construcción de la batería y se combina con otros elementos para crear sensores y cámaras. Gracias a sus propiedades de conductividad térmica y eléctrica, se concluyó que la batería de Litio-grafeno-aire es mucho más eficiente que una batería de litio, que se comercializa en la actualidad.

**Palabras clave:** Batería; grafeno; vehículo eléctrico; ánodo; cátodo.

## Abstract

In the present research work, a literature review of the use of graphite applied to batteries for electric vehicles was conducted. The problem of autonomy in electric vehicles has prevented them from having the expected success by not taking advantage of the benefits they bring to the environment, since they do not emit polluting gases and do not pollute acoustically, for this reason we look for materials that can be used for manufacturing of batteries that contribute to the increase of the autonomy of this type of vehicles. Graphene is a great alternative thanks to its physical and electrical properties. For the analysis of the efficiency and behavior of the vehicles, we have a facilitator program that is an Advisor, which presents a friendly tool for users to develop different studies. Among the important advantages in this case there are different types of configurations and components, as in the case of the graphene battery, which is presented with all the features it presents. Graphene is not used 100% for the construction of the battery and is combined with other elements to create sensors and cameras. Thanks to its properties of thermal

and electrical conductivity, it was concluded that the lithium-graphene-air battery is much more efficient than a lithium battery, which is currently commercialized.

**Keywords:** Battery; graphene; electric vehicle; anode; cathode.

## Resumo

Neste trabalho de pesquisa, foi realizada uma revisão da literatura sobre o uso de grafite aplicada a baterias para veículos elétricos. O problema da autonomia em veículos elétricos impediu que eles obtivessem o sucesso esperado por não aproveitarem os benefícios que trazem ao meio ambiente, pois não emitem gases poluentes e não poluem acusticamente, por isso buscam materiais que possam ser utilizados na fabricação de baterias que contribuam para o aumento da autonomia deste tipo de veículos. O grafeno é uma ótima alternativa graças às suas propriedades físicas e elétricas. Para a análise da eficiência e comportamento dos veículos, temos um programa facilitador que é um Consultor, que apresenta uma ferramenta amigável para os usuários desenvolverem diferentes estudos. Entre as vantagens importantes, neste caso, existem diferentes tipos de configurações e componentes, como no caso da bateria de grafeno, que é apresentada com todas as características que apresenta. O grafeno não é usado 100% para a construção da bateria e é combinado com outros elementos para criar sensores e câmeras. Graças às suas propriedades de condutividade térmica e elétrica, concluiu-se que a bateria de lítio-grafeno-ar é muito mais eficiente que uma bateria de lítio, atualmente comercializada.

**Palavras chave:** Bateria; grafeno; veículo elétrico; ânodo; cátodo.

## Introducción

En la actualidad el hándicap de los vehículos eléctricos es el almacenamiento de la energía eléctrica en acumuladores a bordo, que permitan obtener una suficiente autonomía igual o mayor a los vehículos con motores térmicos; el gran reto para impulsar la tecnología de los vehículos eléctricos se enfoca en el almacenamiento a bordo de la energía eléctrica con el objetivo que estos vehículos pueda sustituir por completo a los convencionales que traen consigo el mayor problema mundial que es la contaminación ambiental. Las baterías son el componente fundamental de los actuales vehículos híbridos como eléctricos, en ella radica la clave para la viabilidad técnica y económica, en los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías en lo que concierne a baterías desde las primeras baterías de plomo ácido, cuyo costo es relativamente

bajo pero proporcionan una baja densidad energética no suficiente para cubrir un grado de autonomía mínimo, hasta las baterías Ion Litio con extraordinarias cualidades electroquímicas que le proporciona de alta energía específica, con la principal desventaja de su elevado costo. La investigación se centra en el estudio energético de las baterías de grafeno en los vehículos eléctricos para determinar sus propiedades eléctricas para la obtención de una mayor eficiencia.

El grafeno es una de las formas alotrópicas del carbono que, gracias a su estructura presenta características interesantes que han despertado el interés de su estudio a nivel científico y empresarial, con muy amplios campos de aplicación.

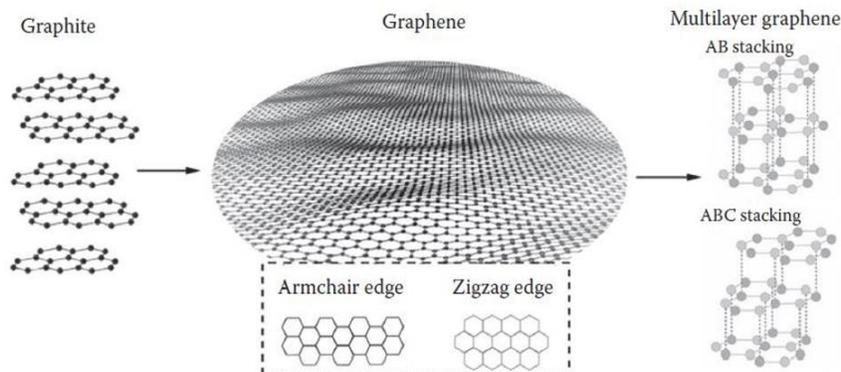
En el futuro los vehículos llegarán a ser autónomos, con sistemas inteligentes de control y mucho más sofisticados a los actuales, pero para lograr esto será necesario que los vehículos seguramente sean cien por ciento eléctricos, debido a que la disponibilidad de combustibles fósiles está en caída y siendo estos recursos no renovables su extinción tarde o temprano se dará , y ante el creciente aumento del número de unidades los contaminantes resultado de la combustión aumentan desmedidamente, por lo que sin duda los vehículos eléctricos tienen más posibilidades de ser el futuro de la movilidad. La empresa Tesla ha empezado con una producción en masa de vehículos eléctricos, pero tiene limitaciones en la construcción de las baterías debido a que están compuestas principalmente por elementos como el cobalto y níquel que, por el creciente aumento de los vehículos eléctricos y otros factores, su producción podría alcanzar un punto en el que no pueda satisfacer toda la demanda, esto a su vez puede ocasionar a que miles de interesados busquen fuentes de cobalto y níquel para minar lo más pronto posible, con lo que tendrá un impacto ambiental negativo (Peña Ordoñez, 2011).

Por las razones mencionadas en la actualidad se buscan alternativas en materiales para la construcción de baterías u otros componentes que permitan almacenar grandes cantidades de energía, mediante lo cual abastecer a los vehículos eléctricos, proporcionándoles de suficiente autonomía, igual o mayor que un vehículo con motor térmico (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011).

### **Consideraciones teóricas**

El grafeno es un material derivado del carbono, compuesto que se basa en capas únicas de átomos, por lo que se consideran una estructura en dos dimensiones posee características únicas

como una configuración de sus átomos en estructura hexagonal, se considera como la cantidad mínima a la que puede alcanzar el grafito por medio de una exfoliación para producir capas monoatómicas (Castro Beltrán, Sepúlveda Guzmán, De La Cruz Hernández, & Cruz Silva, 2011).



*Figura 1.* Estructura del grafeno.

Puede considerarse al grafeno como el bloque básico a partir del cual se forman todos los demás materiales gráfiticos: si se envuelve, forma fullerenos; si se enrolla cilíndricamente, nanotubos; si se sobrepone tridimensionalmente, grafito. (Rodríguez González & Oxana Vasilievna, 2008)

### Propiedades

A pesar de ser una forma alotrópica del carbono (siendo este último un no-metal mal conductor de la electricidad), el grafeno presenta propiedades que se corresponden con los metales (Rodríguez González & Oxana Vasilievna, 2008; Rodríguez González & Oxana Vasilievna, 2008). Entre sus propiedades principales tenemos las siguientes:

- Efecto piezoeléctrico.- Es un material que genera electricidad al deformarse y se presionándolo y estirándolo, por lo que son un buen recurso para distintas aplicaciones de vanguardia como recolección de energía mecánica, como músculos artificiales y la principal aplicación para fabricar sensores de alta precisión (Rodríguez González & Oxana Vasilievna, 2008).
- Quiralidad.- Debido a la simetría de cristal exhibida por el grafeno sus cuasi-partículas deben ser descritas por funciones de onda de dos componentes en virtud de las contribuciones relativas de las dos subredes en la formación de cada una. Pero el spin en el grafeno indica la subred más que el spin real de los electrones surgiendo lo que es conocido como un

pseudoespín. Este pseudoespín nos permite introducir el término de quiralidad, definido como la proyección del pseudoespín en la dirección del movimiento siendo positivo para los electrones y negativo para los huecos (Rodríguez González & Oxana Vasilievna, 2008).

- Comportamiento metálico y efecto de campo eléctrico.- El carbono como elemento no metálico es un mal conductor de electricidad, pero el grafeno presenta propiedades similares a los metales ya que se comporta como semiconductor superficial con lo cual permite que los conductores de carga puedan ser modulados continuamente entre electrones y huecos en altas concentraciones, con lo que le convierte al grafeno en un excelente conductor (Saldivar, 2014). El grafeno tiene una conductividad eléctrica de  $0,96 \times 10^8 \frac{\Omega}{m}$ , comparado con la del cobre que es de  $0,60 \times 10^8 \frac{\Omega}{m}$ , por lo que es aún mejor que el cobre (Méndez Medrano, Haret Codratian, & Torres González, 2012).

### **Aplicación del grafeno en el almacenamiento de energía**

En la actualidad, debido a la contaminación ambiental principalmente por la emisión de gases, efecto de la combustión, la aplicación de la energía limpia y renovable ha tenido mayor relevancia con el objetivo de reducir el impacto ambiental. El estudio de las aplicaciones del grafeno es parte de las alternativas de solución que se pretende obtener para su aplicación en baterías o acumuladores de energía eléctrica, este material posee características que se podrían aplicar para mejorar la eficiencia de las baterías ya sea para la transformación así como para el almacenamiento de energía (Botas Velasco, 2014).

Se está estudiando más a profundidad la aplicación del grafeno en diversos campos como en las baterías de ion-litio, elementos portátiles, vehículos híbridos, eléctricos y dispositivos de potencia. Los materiales con los que están hechos los electrodos de las baterías sufren problemas relacionados al proceso de carga y descarga, por lo que se han propuesto electrodos en base a materiales de grafeno en las baterías de ion-litio como una alternativa más eficiente debido a la alta conductividad eléctrica y por su estructura considerada de dos dimensiones como una figura plana (Botas Velasco, 2014). Adicionalmente, por su alta relación superficie-volumen y elevada conductividad, el grafeno puede almacenar Li tanto en la superficie como en los bordes de la lámina, alcanzando valores hasta 500-1100 mAhg<sup>-1</sup> (Kheirabadi & Shafiekhani, 2012).

El grafeno es aplicado también para los super condensadores especialmente en los de tipo condensador eléctrico de doble capa (EDLC), este mediante a la gran área superficial que posee permite almacenar un campo electroestático, por lo que el grafeno tiene un gran potencial gracias a su característica de gran área superficial igual a  $2630 \text{ m}^2/\text{g}$  (Botas Velasco, 2014).

### **Vehículos eléctricos**

Son aquellos vehículos que utilizan uno o más motores eléctricos para su propulsión mediante la transformación de energía eléctrica almacenada en baterías en energía mecánica, que mediante un mecanismo de transmisión proporcione par a las ruedas (Granada, Arias, & Sánchez, 2017).

- Configuraciones de los vehículos eléctricos

La configuración general de un vehículo eléctrico consta principalmente de 3 grandes subsistemas, el sistema de almacenamiento de energía, propulsión eléctrica y auxiliar (López, 2015)

- La propulsión eléctrica consta de un controlador electrónico, el transformador de potencia, el motor eléctrico, la transmisión mecánica y las ruedas.
- El sistema de almacenamiento de energía está formado por el dispositivo de almacenamiento de energía propiamente dicho las baterías, la unidad de mantenimiento de energía y la unidad de recarga de energía eléctrica.
- El sistema auxiliar se compone por la unidad de conducción, la unidad de control de temperatura y el suministro auxiliar de potencia.

Para representar la configuración de los vehículos eléctricos se utilizará una flecha gruesa para indicar los enlaces eléctricos y los enlaces de control con una flecha delgada, para el control se tiene como base las entradas de freno y el acelerador para determinar las señales de control correctas, los elementos para la potencia sirven para controlar y manejar el flujo de potencia entre los dos elementos fundamentales de un vehículo eléctrico como lo son la batería y el motor eléctrico. La unidad de control electrónico también trabaja con la unidad de mantenimiento de energía para regular el frenado regenerativo y la energía recuperada, con la unidad de carga para la respectiva recarga de las baterías y monitorizar la utilización de la batería (Guevara, 2014).

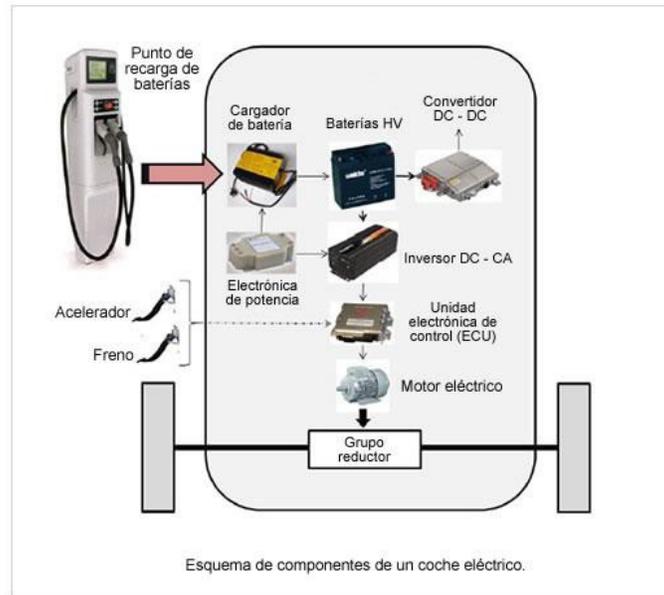


Figura 2. Esquema de control de un vehículo eléctrico.

### Variaciones de almacenamiento de energía

Existen varias configuraciones del sistema del vehículo eléctrico en base a la disposición del almacenamiento de energía, para lo cual en la siguiente figura se muestra las distintas configuraciones donde B representa a la batería, C al súper condensador, el volante de inercia de velocidad ultrarrápida es representado por la letra F y P el convertidor de potencia (Villa, Sanz, Sallan, & Perié, 2013).

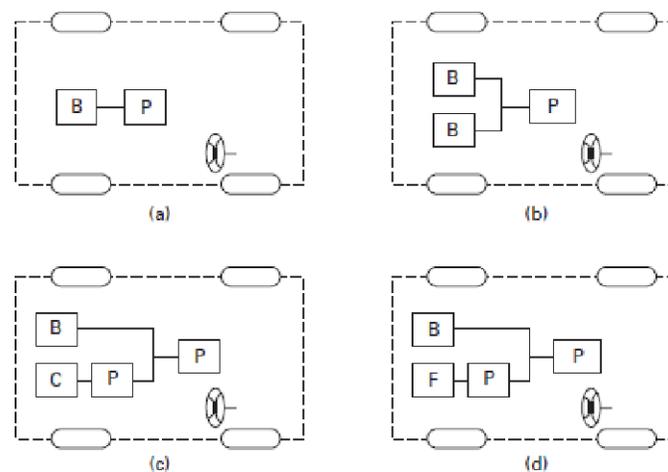


Figura 3.- Configuraciones del sistema de un Vehículo eléctrico.

El componente denominado “volante de inercia de velocidad ultrarrápida”, su función es emergente ya que permite captar energía eléctrica y almacenarla para posteriormente proporcionar una potencia elevada, así como una elevada energía receptiva (Mariscal Castilla, 2016).

- a) Esta configuración posee una sola batería, es la más usual en los vehículos eléctricos, la batería se distribuye por todo el coche, junto al maletero o distribuida por el suelo del vehículo, la batería debe tener la capacidad de ofrecer energía y potencia, y en el momento de la frenada regenerativa aprovechar a lo máximo para almacenarla (Mariscal Castilla, 2016).
- b) También existen vehículos eléctricos con dos baterías, cada una cumple funciones diferentes la una debe proporcionar energía específica para alimentar al motor eléctrico y la segunda tiene la función de ofrecer una alta potencia específica, esto provoca que los requisitos de energía y potencia sean dobles, esto a la vez provoca el uso de baterías recargables mecánicamente, las mismas que no permiten recibir energía de la frenada regenerativa en condiciones de conducción en una pendiente descendente (Mariscal Castilla, 2016).
- c) Debido al grave problema de una reducida cantidad de energía y potencia en esta configuración se emplea un componente denominado súper condensador para trabajar junto a una batería, esta se emplea para proporcionar un alta energía específica, en esta configuración es necesario la utilización de un dispositivo convertidor de potencia DC-DC para que se pueden conectar la batería con el súper condensador, debido a que este último funciona en un nivel de tensión relativamente bajo (Mariscal Castilla, 2016).
- d) En esta última configuración se caracteriza en que la batería debe ser seleccionada para proporcionar elevada potencia y energía específica, el volante de inercia funciona con un dispositivo AC que permite la transformación de la energía electromecánica, en la presente configuración se requiere de un elemento o dispositivo convertidor AC-DC que permita la conexión de la batería con este elemento el volante de inercia (Mariscal Castilla, 2016).

### **Aplicaciones del grafeno en baterías**

Las baterías de ion-litio, fueron introducidas al mercado en 1991 por Sony y han llegado a ser el tipo de batería más popular en el mundo, siendo usadas incluso en el segmento de vehículos

eléctricos (Kucinskis, Bajars, & Kleperis, 2013; Kucinskis, Bajars, & Kleperis, 2013). En la actualidad con diferentes técnicas sofisticadas han permitido aumentar el rendimiento de las baterías de ion-litio, pero con el actual rendimiento con respecto a diferentes factores entre uno de ellos el ciclo de vida no es suficiente para satisfacer la demanda, un ejemplo singular es el caso de los vehículos eléctricos, por lo que se requiere y es necesarios mejorar el rendimiento de estas baterías para proporcionar mayor potencia y autonomía al vehículo (Mariscal Castilla, 2016).

El material de los electrodos, además de ser el segundo componente más costoso de la batería (Kucinskis, Bajars, & Kleperis, 2013; Kucinskis, Bajars, & Kleperis, 2013), es el que mayor influencia tiene en el rendimiento de las baterías de ion-litio por lo que ha realizado investigaciones para mejorar los materiales con lo que estos están hechos para aumentar su rendimiento (Mariscal Castilla, 2016). Se busca que, aplicado al material de los electrodos se logre una alta capacidad, mejor índice potencial, mejor ciclo de estabilidad y una mayor seguridad. Análisis BET sugieren que el grafeno incrementa el área específica de los electrodos hasta valores entre los  $420 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  a  $684 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . (Kucinskis, Bajars, & Kleperis, 2013). Actualmente, los mejores ánodos basados en grafeno han alcanzado una capacidad específica de  $\sim 1200 \text{ mAhg}^{-1}$  con una tasa de corriente de  $100 \text{ mA g}^{-1}$  en media celda y  $\sim 100 \text{ mAhg}^{-1}$  a una tasa de corriente de  $29 \text{ mA g}^{-1}$  cuando se ensamblan en una batería llena (Hassoun, Bonaccorso, & Agostini, 2014).

Con la aparición del grafeno se han realizado distintos experimentos e investigaciones con baterías de ion-litio, con lo cual se ha conseguido aplicaciones potenciales del grafeno en este tipo de baterías, esto debido a que posee características extraordinarias: portador de carga de alta movilidad ( $20 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ), elevada área superficial ( $630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) (Kucinskis, Bajars, & Kleperis, 2013). Logrando así conseguir excelentes comportamientos electroquímicos y eléctricos (Mariscal Castilla, 2016).

### **Aplicación del grafeno en baterías Li-S**

Estas baterías se caracterizan en poseer ciertas características físicas y eléctricas mejores que las de ion-litio por lo que han sido el centro de diversas investigaciones, entre sus principales características se tiene que pueden generar una capacidad específica de hasta  $1675 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$ ,

así como una energía específica de  $2600 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$ , cabe mencionar que el Azufre se encuentra en abundantes cantidades en el medio por lo que su costo es bajo, pero a pesar de estos beneficios estas baterías no han logrado comercializarse en gran número ya que posee principalmente un problema con respecto al comportamiento químico presente en la pila, esto se debe a que elementos como el azufre y sus consecuentes productos se encuentran protegidos, provocando que su actividad electroquímica sea baja, otro causante es que los denominados polisulfatos sean solubles en el electrolito durante los repetitivos procesos de carga y descarga y por último debido insuficientes ciclos de estabilidad, por tal razón se necesita modificar un cátodo de azufre con el propósito de que sus deficiencias sean superadas, se puede añadir un conductor eléctrico para mejorar la conductividad, para modificar el azufre es necesario la utilización de elementos derivados del carbón con una alta conductividad y variables estructuras y morfológicas, para esto el ideal es el grafeno que reúne varias de las características necesarios para mejorar el rendimiento de las baterías de ion-litio (Mariscal Castilla, 2016).

En el 2011 se publicó un estudio realizado con materiales grafeno y azufre para baterías litio azufre, con lo que realizó el siguiente proceso.

Su experimento fue bastante simple. Primero se mezcló una nanocapa de grafeno con azufre en una relación de peso 1/1.5. Luego, se calentó la mezcla a  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  para permitir la infiltración de S en las capas de grafeno. Finalmente, calentaron la mezcla a  $300^\circ\text{C}$  dando una capa de S en láminas de grafeno. El resultado fue una distribución homogénea de S y C en el compuesto; de manera que el azufre se cubrió irregularmente en láminas de grafeno. Además, el porcentaje de peso del azufre fue bastante bajo (22%) en el compuesto grafeno/S. La capacidad de descarga inicial del compuesto basado en la masa de azufre en una densidad de corriente de  $50 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$  fue medida para ser  $1611 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$ , que es un 96% del valor teórico y fue más alto que en azufre puro ( $1100 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$ ), sugiriendo una alta utilización de S por modificación con grafeno. Sin embargo, el ciclo de estabilidad en el compuesto no se mejoró mucho. La capacidad de descarga disminuyó rápidamente a menos de  $600 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$  después de 40 ciclos, probablemente debido al hecho de que el S no se ancló firmemente en las láminas de grafeno y se expuso directamente en los electrolitos. (Mariscal Castilla, 2016).

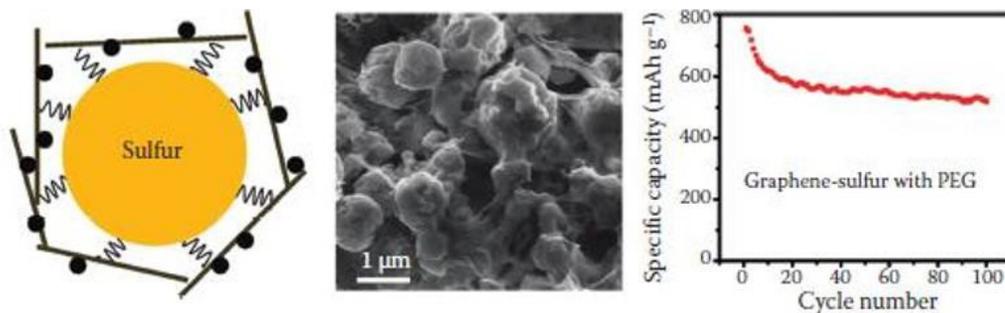


Figura 4. Propiedades del cátodo con Azufre envuelto en grafeno.

Se han realizado mejoras a este compuesto con diferente microestructura, formando fuertes enlaces entre azufre y óxido de grafeno con el objetivo principalmente de que el azufre se inmovilice fuertemente en las capas de grafeno, logrando con esto mejorar los ciclos de estabilidad. El nano compuesto de azufre y grafeno entregar puede proporcionar una descarga de corriente muy alta de  $1320 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$  inicialmente; también la pila fue ciclada en 0,1 de partes de carbono mediante la cual la capacidad reversible permaneció en  $1000 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$  y disminuyó a  $950 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$  al someterse al segundo ciclo, después cincuenta ciclos su capacidad no decayó, con lo que mostró una gran estabilidad con la aplicación del compuesto de Azufre con grafeno (Mariscal Castilla, 2016).

Se han realizado investigaciones para buscar otros usos o aplicaciones del grafeno, diferentes a la que se ha mencionado anteriormente como modificar el cátodo de azufre con el objetivo se elevar su rendimiento electroquímico, en adición a la ya realizada con utilizando el grafeno con azufre con lo cual se formó un cátodo compuesto (Mariscal Castilla, 2016).

### Aplicación del grafeno en baterías de Litio-aire.

Estas baterías se caracterizan en poseer propiedades aún mejores por ejemplo tienen una alta densidad de energía, el ánodo está compuesto principalmente por Li que durante el proceso normal de descarga este compuesto tiende a oxidarse con lo cual se genera un ion positivo de Li en el medio es decir el electrolito, para el proceso de descarga se produce en sentido inverso. Por otro lado, el cátodo está compuesto por una estructura de material poroso con características conductoras, en este caso el elemento oxígeno es utilizado como agente combustible cuya función es producir energía eléctrica por medio de la estructura porosa, estas baterías se

subdividen en dos tipos la primera la denominada batería de litio aire no acuosas y las baterías de litio aire acuosas (Lacabana & Nacif, 2015).

### Baterías de Li-aire acuosas

Estas baterías se caracterizan principalmente en usar como medio de transferencia de iones entre cátodo y ánodo electrolitos acuosos para reemplazar a los disolventes orgánico, la descarga producida es Hidróxido de Litio, como parte de la investigaciones realizadas se usó grafeno como un electrocatalizador, esto se produjo en una corriente de 0,5 mA.  $[ \text{cm} ]^{-2}$ , dando como resultados una excelente actividad electrocatalítica, la pila se sometió a varios ciclos con lo que se obtuvo entre carga y descarga un valor de 0,56 V durante el primer ciclo del electrodo, resultado bajo para este tipo de baterías, en los próximos 50 ciclos la diferencia aumento a 1,2V, este resultado se debe la corrosión del grafeno debido a los defectos en las láminas del mismo reducido químicamente; cabe mencionar que es posible mejorar la estabilidad del ciclado de la pila mediante tratamiento a las láminas de grafeno aumentando su temperatura (Lacabana & Nacif, 2015).

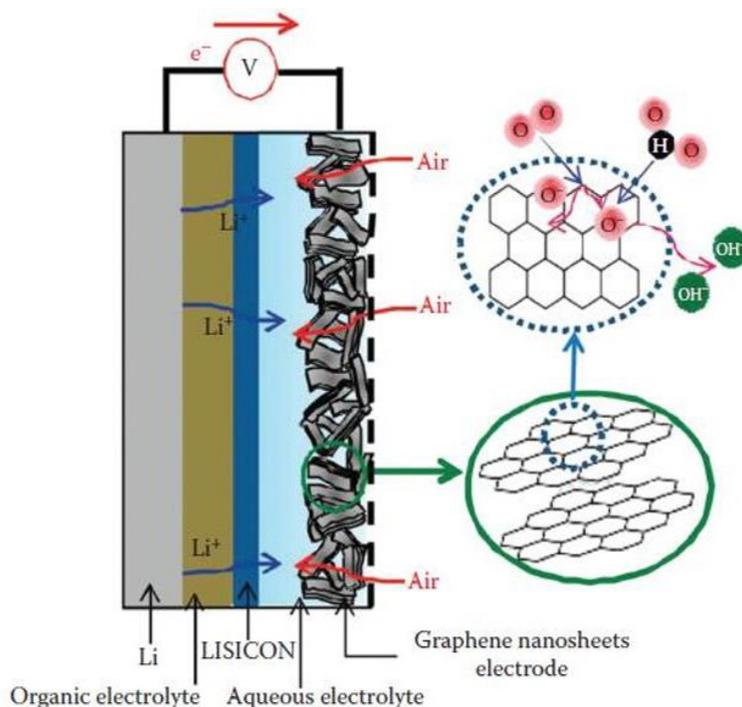
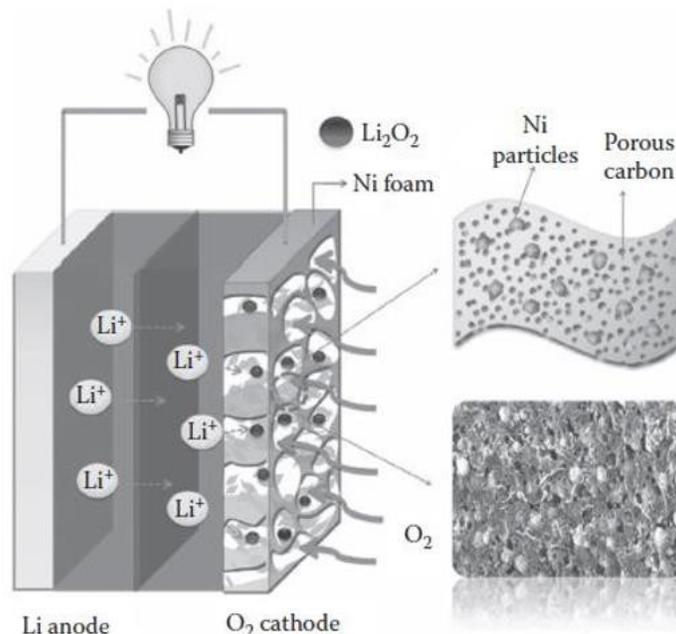


Figura 5- Estructura de una batería Li-aire acuosa.

## Baterías de Li-aire no acuosas

El grafeno aporta otra opción en el diseño de cátodos de carbón gracias a la propiedades físico-químicas que este posee, se creó un electrodo de aire basado compuesto principalmente por una estructura porosa jerárquica mediante el uso de láminas bidimensionales de grafeno, debido a sus características es ideal para el uso en el electrodo de aire, con lo cual favorece a que el oxígeno tenga una rápida difusión gracias al gran número de túneles. Al realizar las respectivas mediciones a las pilas de litio aire compuesto por grafeno con estructura porosa se determinó que la capacidad de descarga podría alcanzar hasta  $15000 \text{ mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$  con un valor de 2.7 Voltios, con una elevada densidad de energía de  $39714 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Mariscal Castilla, 2016).



**Figura 6.** Estructura de batería Li-aire no acuosa.

## Metodología

Para realizar el análisis de datos se utilizará ADVISOR, el cual es un conjunto de modelos, información, y archivos script los cuales se ejecutan y emplean en software's como Matlab y Simulink. Su función es el análisis rápido del comportamiento y la eficiencia de diferentes vehículos, lo que va a facilitar esta investigación (Mariscal Castilla, 2016).

Su fase inicial es:



*Figura 7.* Advisor interfaz

Se va a trabajar con GUI, el cual ofrece Advisor debido a que es más ilustrativo lo que es conveniente para el trabajo que se va a desarrollar.

Al ingresar a Advisor, se tendrá que realizar las configuraciones iniciales como selección de unidades y las diferentes entradas que aparecerán.

### **Definición de un vehículo**

Al dar start, se empieza con la configuración del vehículo, en primer lugar, se configura el tren de rodaje el mismo que va a determinar los componentes que tendrá a disposición para el tipo de tren de rodaje seleccionado. Los componentes pueden ser elegidos utilizándolos menús emergentes además se podrá añadir o eliminar componentes seleccionando sus respectivos archivos (.m).

Una vez seleccionado todos los componentes se puede modificar las entradas de las variables escalares. Terminado esta modificación de las variables se procede a guardar y cargar la configuración del vehículo. El archivo tendrá un formato de "filename\_in.m".

Para finalizar el auto-size coge el vehículo seleccionado y ajusta los parámetros del vehículo. Dentro de estos parámetros esta la masa del vehículo, potencia, entre otros (Mariscal Castilla, 2016). Los cuales van a tener un rango de funcionamiento.

### **Iniciar la simulación**

Para empezar con la simulación se debe definir un ciclo de conducción, la ventaja de Advisor es que ofrece algunos ciclos además de tener la opción trip builder la cual permite crear nuestro

propio ciclo con la combinación de otros, permite guardarlo y ocuparlo en las diferentes simulaciones que se vaya a desarrollar (Mariscal Castilla, 2016).

Ahora bien, con la opción multiple cycles se puede simular el proceso con diferentes ciclos con las mismas condiciones iniciales. Al final se puede obtener una lista de resultados con las condiciones iniciales, pero con diferentes ciclos lo cual es de gran ayuda para obtener conclusiones y diferencias de las simulaciones. (Mariscal Castilla, 2016).

Se tiene dos opciones importantes las cuales con acceleration test y gradeability teste, la una permite un test de aceleración el cual será simulado en el ciclo elegido y la otra permite un test de degradación, respectivamente.

Un parametric study puede ser realizado para ver el efecto de tres variables, esto hará que se puede obtener 27 simulaciones. (Mariscal Castilla, 2016).

### Observar los resultados

Se obtiene la figura de resultados con algunos resúmenes, y permite al usuario dibujar 4 series de dibujos, esto seleccionando desde el menú (Mariscal Castilla, 2016). Si la opción de aceleración y degradación fueron seleccionadas estas aparecen en la figura como se muestra:

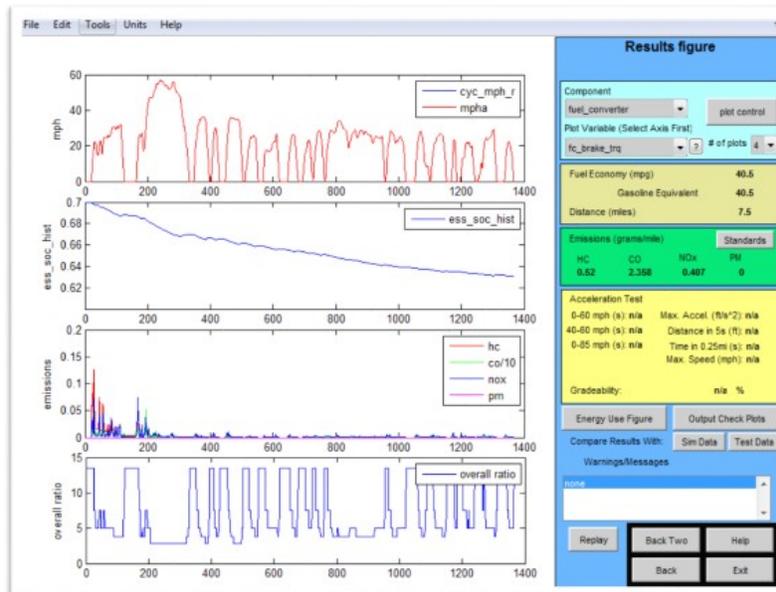


Figura 8. Pantalla de resultados

Además, con el botón Output Check Plots se puede generar todas las gráficas del comportamiento del vehículo que se realizó durante la simulación.

Una vez entendido las características y ventajas que ofrece este simulador, se va a proceder a realizar la simulación que corresponde a nuestro estudio.

### Simulación

Siguiendo los pasos que ya se mencionó, en este caso se ha seleccionado un vehículo eléctrico que tiene la siguiente configuración:

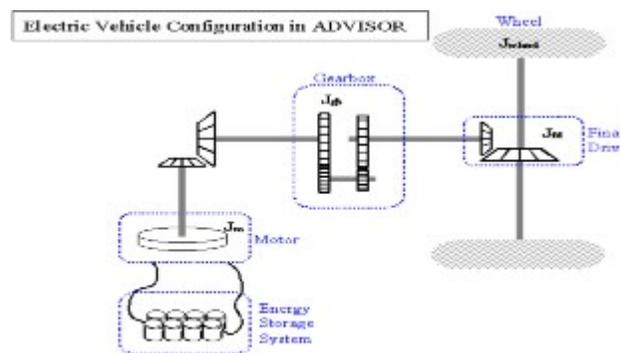


Figura 6.2: Configuración VE.

Figura 9. Configuración VE.

Además, los componentes del vehículo eléctrico son baterías y un motor. Dentro de las especificaciones se tiene que solo usa potencia eléctrica y puede usar el motor como generador para recuperar energía de frenado y carga a la batería (Mariscal Castilla, 2016). La batería empieza con cargar total (SOC de 1.0). La caja de cambios tiene una velocidad.

Ahora Avisor nos permite elegir entre cuatro modelos de batería, de los cuales el Modelo RC (Resistivo-capacitivo) es el modelo que nos interesa. Que presenta la siguiente configuración:

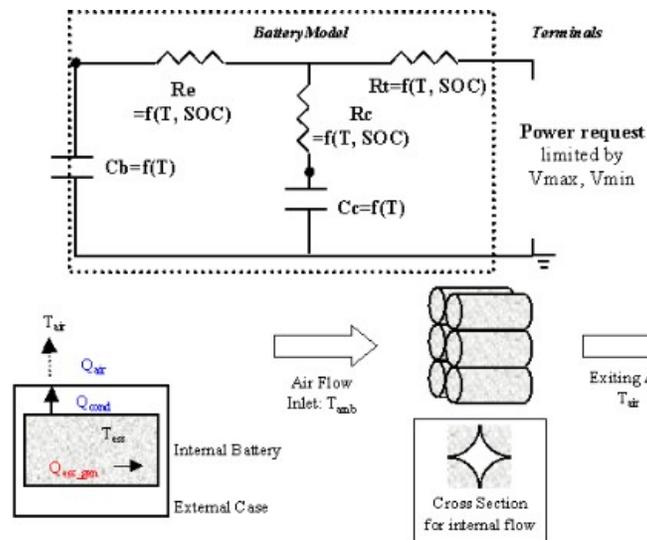


Figura 10.- Circuito RC batería.

En el apartado “Energy storage system” se selecciona el tipo de batería a utilizar, el compuesto del que está construida y la clase de batería (Mariscal, 2016).

Por lo cual queda de la siguiente manera:

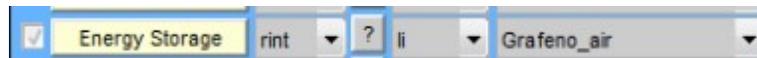
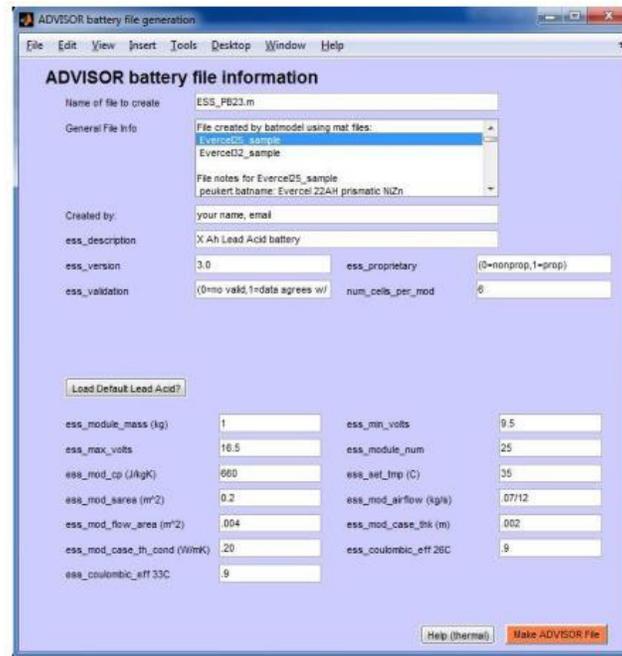


Figura 11.- Apartado Energy storage system.

El modelo es rint ya que el inicial RC tuvo inconvenientes, el compuesto li y la clase de batería Grafeno\_air. Esta batería no se encontraba dentro del programa por lo cual toco crearla con las diferentes características y ventajas que presenta como se muestra a continuación:

### Modelado de la batería grafeno-aire en Advisor

Debido a que los tipos de batería que presenta Advisor no cumplen con las ventajas que presenta una batería de grafeno-aire se tuvo que realizar una mediante la opción Batmodel en la Command Window de Matlab, la cual nos ayuda a definir el comportamiento de la batería. Se debe definir todos los valores que caracterizan nuestra batería procedemos a guardar el fichero de la batería.



*Figura 12.- Características de la batería.*

La batería tiene los datos que se observa en la figura 18, los mismos que han sido sacados de bibliografía luego de haber realizado un estudio específico.

Ya para finalizar se procede a seleccionar la batería que nos interesa del menú de baterías y agregarla al vehículo de interés del estudio.

## Resultados

Una vez ya teniendo la batería que se va a utilizar y teniendo en cuenta los distintos ciclos de conducción que presenta Advisor, se ha realizado tres ensayos diferentes en el mismo coche en dos ocasiones ya que se ocupó la batería que se ha creado con la batería de litio la cual es la más comercial. (Mariscal Castilla, 2016).

Los ciclos de ensayo fueron: Ciclo UDDS, Ciclo interurbano y ciclo a velocidad constante (104.61 km/h).

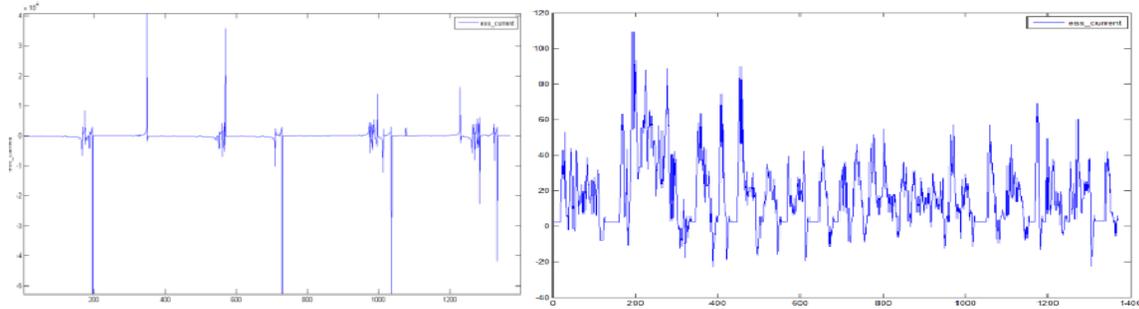
### Ciclo UDDS

Es un ciclo muy utilizado en los estudios de eficiencia y emisiones de CO<sub>2</sub>. Dentro de sus características podemos decir que el recorrido tiene alrededor de 17 paradas, se recorre unos

12km en un tiempo de 23 min. Tiene una velocidad máxima de 91.25 km/h y una velocidad media de 31.51 km/h.

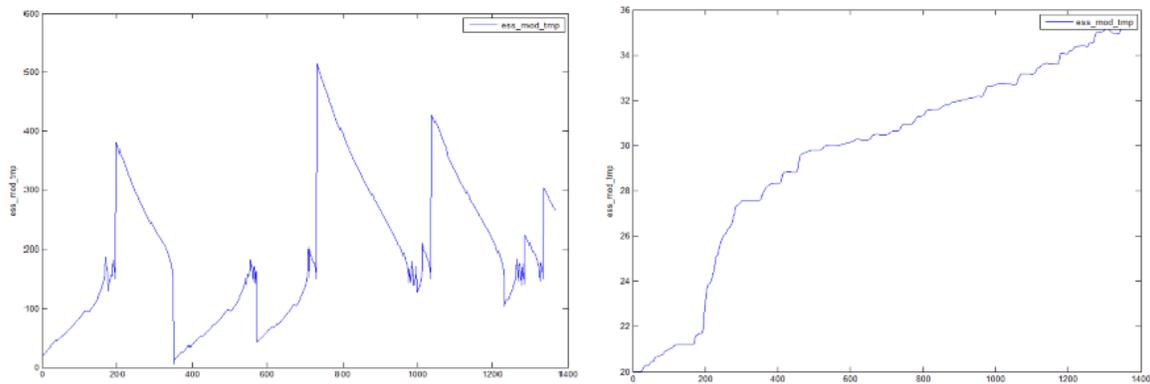
Los resultados que se obtuvieron se observan en la siguiente gráfica:

Corriente batería de Grafeno y Litio



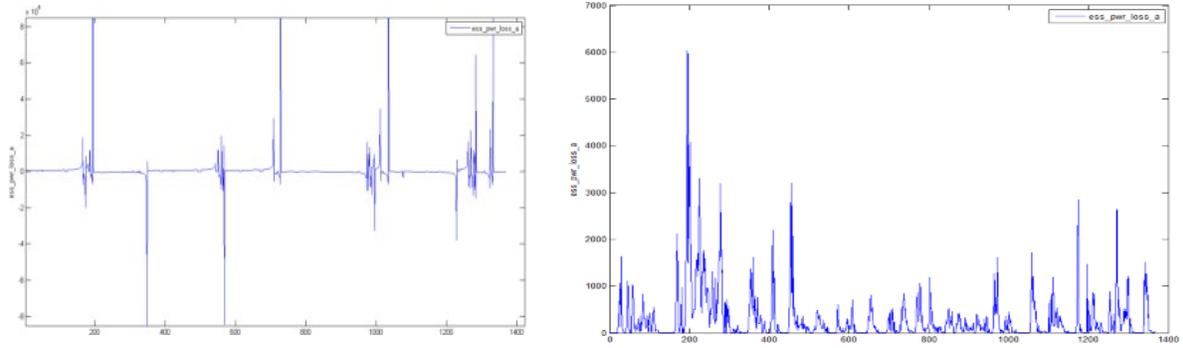
**Figura 13.-** Corriente batería de grafeno y Litio

Temperatura del módulo batería de Grafeno y Litio



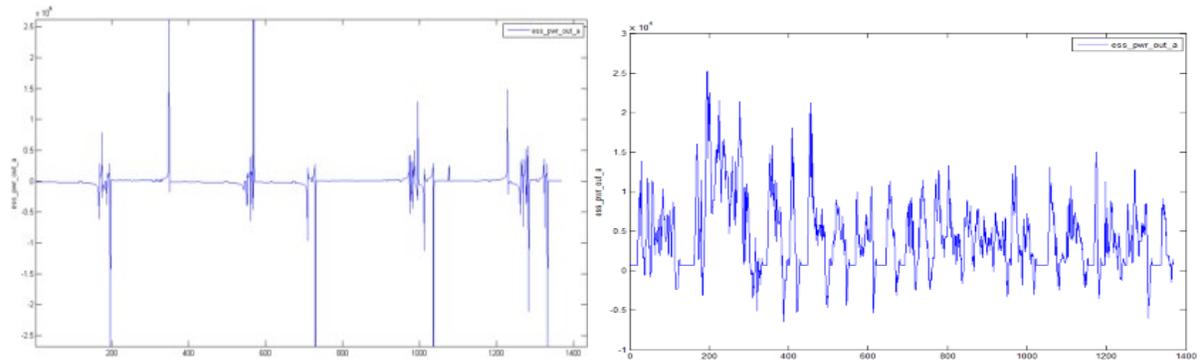
**Figura 14.-** Temperatura del módulo batería de Grafeno y Litio.

Pérdidas de potencia batería de grafeno y litio



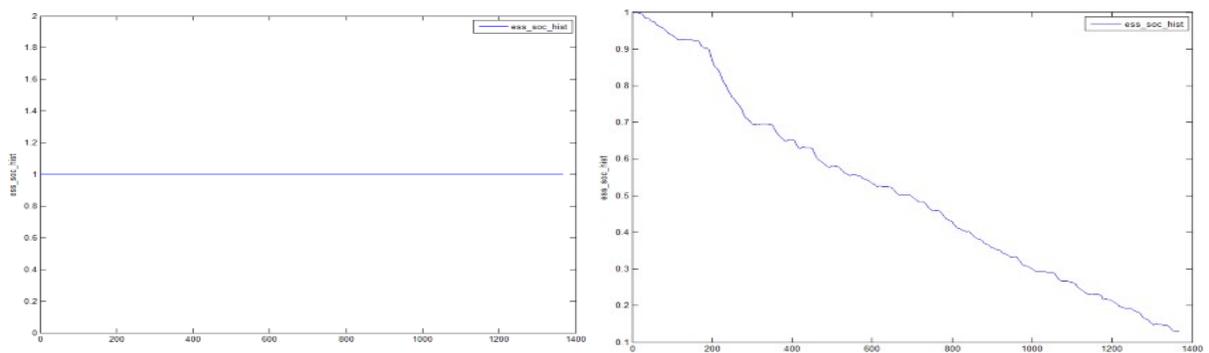
**Figura 15.-** Pérdidas de potencia batería de grafeno y litio

Potencia de salida disponible batería de grafeno y litio



**Figura 16.-** Potencia de salida disponible batería de grafeno y litio

SOC de la batería de grafeno y litio



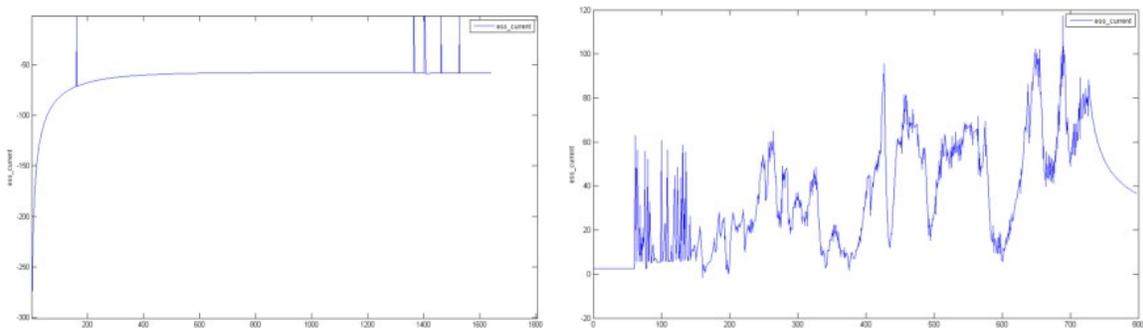
**Figura 17.-** SOC de la batería de grafeno y litio

### Ciclo interurbano

Las características que tiene este ciclo es que recorrerá 25 km aproximadamente en un tiempo de 27 min. Alcanzando una velocidad máxima de 97.74km/h y una velocidad media del ciclo de 54.75km/h. (Mariscal Castilla, 2016).

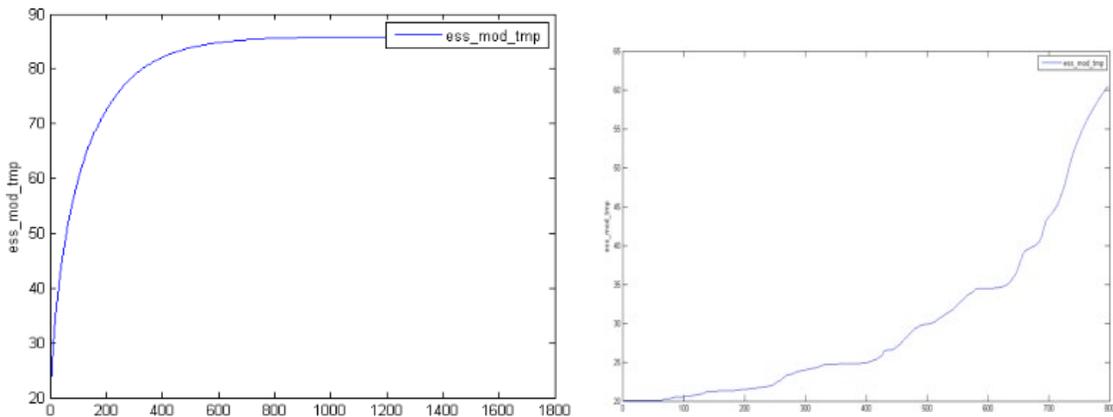
Dentro de los resultados que se obtuvieron se tiene:

Corriente en batería de grafeno y litio



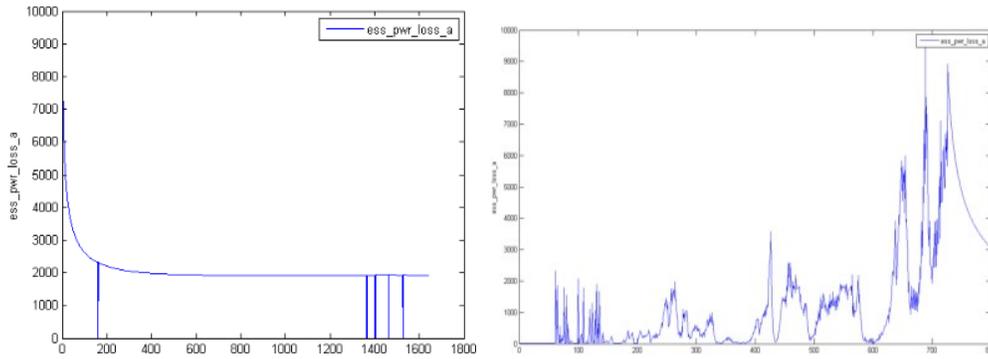
**Figura 18.-** Corriente en batería de grafeno y litio

Temperatura del módulo en batería de grafeno y litio



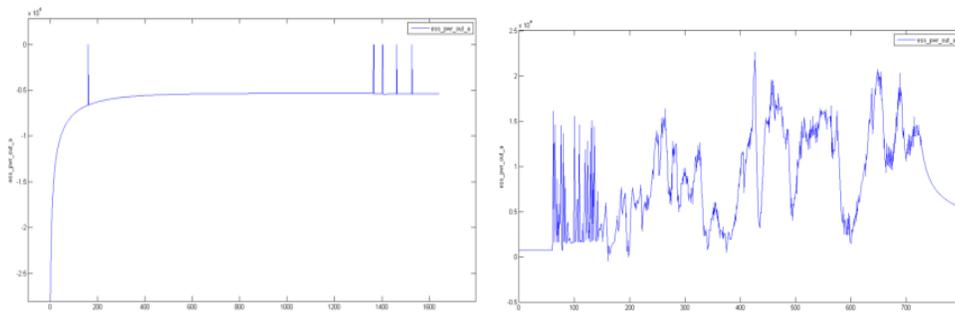
**Figura 19.-** Temperatura del módulo en batería de grafeno y litio

### Pérdidas de potencia en batería de grafeno y litio



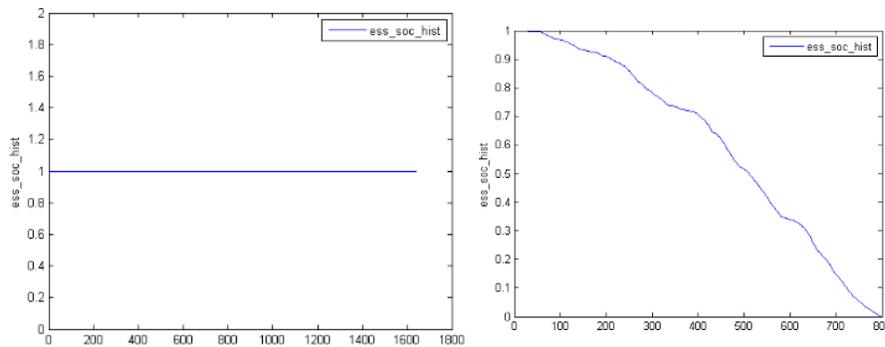
**Figura 20.-** Pérdidas de potencia en batería de grafeno y litio

### Potencia de salida disponible en batería de grafeno y litio



**Figura 21.-** Potencia de salida disponible en batería de grafeno y litio

### SOC para batería de grafeno y litio

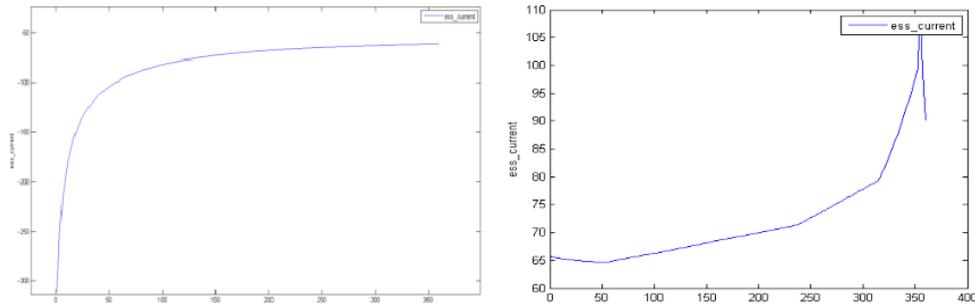


**Figura 22.-** SOC de la batería de grafeno y Litio

### Ciclo a velocidad constante

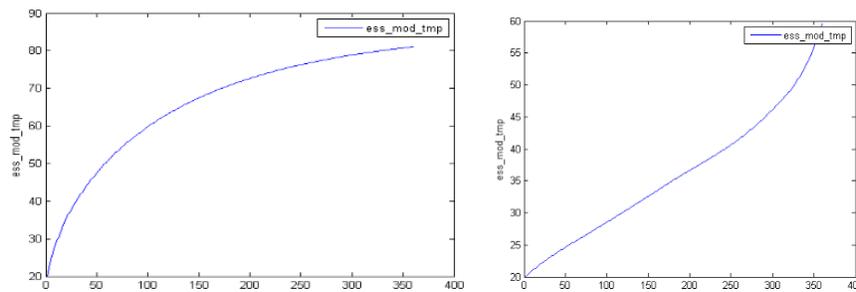
La distancia que va a recorrer es de 10.46 km. a una velocidad constante de 104.61km/h, y los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Corriente en batería de grafeno y litio



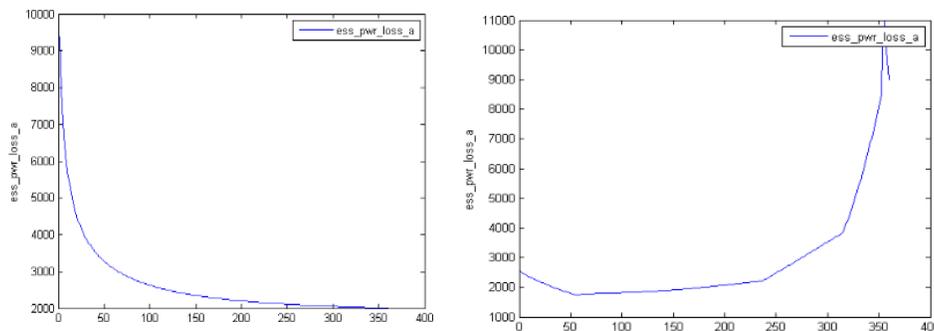
**Figura 23.-** Corriente en batería de grafeno y litio

Temperatura del módulo en batería de grafeno y litio



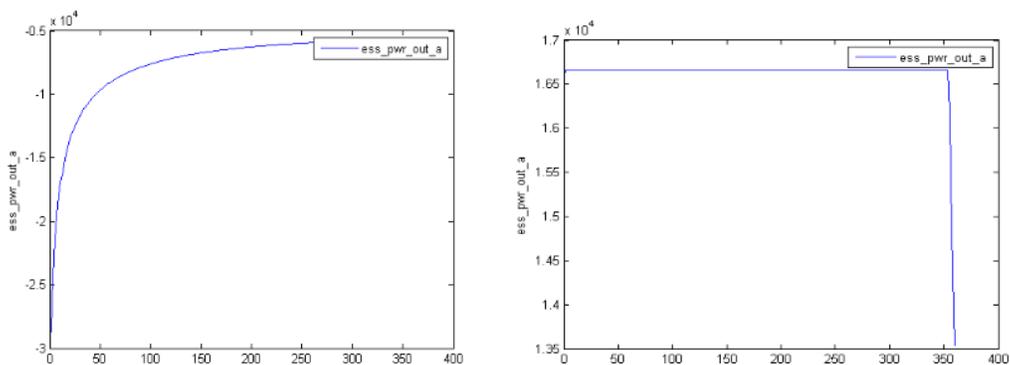
**Figura 24.-** Temperatura del módulo en batería de grafeno y litio

Pérdidas de potencia en batería de grafeno y litio



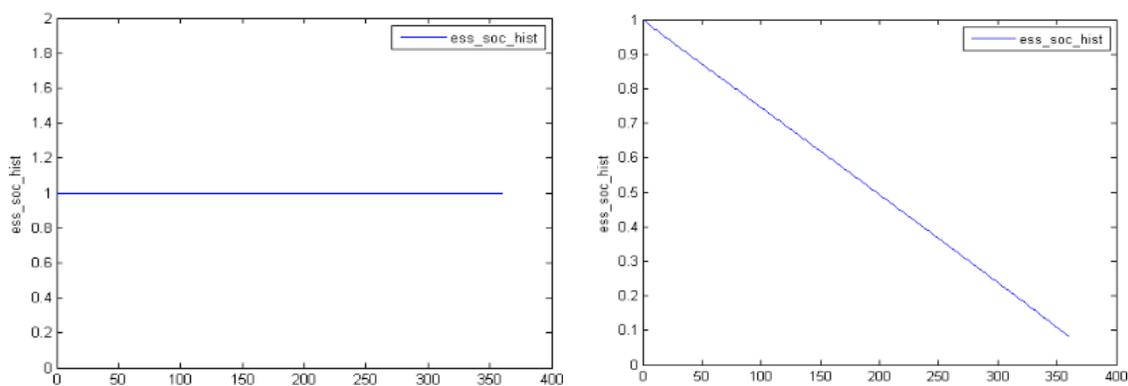
**Figura 25.-** Pérdidas de potencia en batería de grafeno y litio

### Potencia de salida disponible en batería de grafeno y litio



**Figura 26.-** Potencia de salida disponible en batería de grafeno y litio

### SOC para batería de grafeno y litio



**Figura 47.-** SOC para batería de grafeno y litio

### Interpretación de resultados

Una vez observado las diferentes imágenes de resultados que se obtuvo de las distintas simulaciones se procede a interpretar los datos, cabe mencionar que los picos excesivos no se tomarán en cuenta debido a que pueden ser origen de error del sistema. Se realiza una comparación de las variables más importantes del estudio que son:

## **Corriente**

Las gráficas que se obtuvieron en la batería de litio son menos estables. Y los picos de intensidad coinciden con las velocidades más altas y los descensos con las frenadas y las velocidades menores. (Mariscal Castilla, 2016).

## **Potencia de salida disponible**

Como se sabe la potencia depende de la intensidad (Mariscal Castilla, 2016). Es por lo cual, que las gráficas de la corriente con la potencia coinciden, los valores para ciclos interurbanos y a velocidad constante son más estables. Las potencias de salida oscilan entre los 25 kW y los 5kW.

## **Pérdidas de potencia**

Estas vuelven a tener la misma figura que la corriente. Esto se debe al efecto Joule dependiente de la intensidad. Pero cabe mencionar que las pérdidas son menores en la batería de grafeno, es decir es más eficiente que una batería de litio (Mariscal Castilla, 2016).

## **SOC**

En la batería de grafeno el estado de carga no se ve afectado en un corto tiempo y trayecto, mientras que el estado de carga de la batería de litio desciende casi linealmente.

## **Variables térmicas**

En lo que se refiere a la temperatura del módulo, la batería de litio presenta valores más bajos que la batería de grafeno. Mientras que la temperatura del aire en las baterías es más estable en un ciclo completo en la batería de grafeno.

## **Conclusiones**

Luego de haber estudiado las baterías de grafeno y las propiedades eléctricas y térmicas que posee. Los resultados que se obtuvieron es que el grafeno no es utilizado el 100% para la construcción de una batería sino más bien es combinado con otros elementos para la producción de la batería.

Pero el grafeno es el mejor material para crear ánodos y cátodos. Ya que tiene dos propiedades importantes que son: la conductividad térmica y eléctrica. Esto se reafirma con los resultados

que se obtuvieron ya que el valor en cuanto a la conductividad térmica es mayor que la batería de litio.

Al estudiar la corriente y las diferentes variables que dependen de ella, tenemos una batería más eficiente que necesita un amperaje menor para realizar un mismo recorrido o ciclo de conducción en este caso.

Para finalizar luego de haber observado, estudiado e interpretado las propiedades, características y resultados de la simulación con los diferentes ciclos se concluye que una batería Litio-Grafeno-Aire es mucho más eficiente que una batería de Litio comercial en muchos aspectos que anteriormente se puso en consideración.

## **Referencias Bibliográficas**

Aparicio, F., Vera, C., & Días, V. (2001). Teoría de los vehículos automóviles (Segunda ed.). Madrid, España: Sección de publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Botas Velasco, C. (2014). Síntesis y caracterización de materiales grafénicos: aplicación en almacenamiento de energía.

Castro Beltrán, A., Sepúlveda Guzmán, S., De La Cruz Hernández, W., & Cruz Silva, R. (2011). Obtención de grafeno mediante la reducción química del óxido de grafito. *Ingenierías*, 34-42.

Granada, M., Arias, A., & Sánchez, J. (2017). Vehículos eléctricos, energía y movilidad. Pereira: Editorial de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Guevara, R. (2014). Freno regenerativo en automoviles para uso hibrido. (Bachelor's thesis, Universidad Nacional Autónoma de México). Mexico.

Hassoun, J., Bonaccorso, F., & Agostini, M. (2014). An Advanced Lithium-Ion Battery Based on a Graphene Anode and a Lithium Iron Phosphate Cathode. *Nano Letters*, 14(8), 4901-4906.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación.

- Kheirabadi, N., & Shafiekhani, A. (2012). Graphene/Li-ion battery. *Journal of Applied Physics*, 112(12).
- Kindler, H. (1986). *Matemática aplicada para la técnica del automóvil* (Octava ed.). (J. Company, Trad.) Barcelona, España: Reverté.
- Kucinskis, G., Bajars, G., & Kleperis, J. (2013). Graphene in lithium ion battery cathode materials: A review. *Journal of Power Sources*.
- Lacabana, F., & Nacif, M. (2015). *ABC DEL LITIO SUDAMERICANO*. Buenos Aires: Ediciones CCC, Centro Cultural de la Cooperación Floreal Gorini.
- López, J. (2015). *Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor*. Madrid: Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Mariscal Castilla, A. (2016). *Estudio Energético de las Baterías de grafeno en vehículos eléctricos*. Tesis de pre grado.
- Méndez Medrano, M., Haret Codratian, R., & Torres González, L. (2012). Grafeno: el alótropo más prometedor del carbono. *Acta Universitaria*.
- Miranda, J. M., & Iglesias, N. (Diciembre de 2015). Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico. *Observatorio Medioambiental*. doi:0.5209/rev\_OBMD.2015.v18.51285
- Mojica, P., Cuéllar, S., & Medina, C. (2016). *Boletín tecnológico Agosto 2016 Sistemas de carga para vehículos eléctricos*. Bogota: Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial - CIGEPI.
- Peña Ordoñez, C. (2011). *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. Tesis de pregrado. España.
- Perez, D. (2 de noviembre de 2017). *Baterías: el gran problema del Tesla Model 3 y de los coches eléctricos*. Obtenido de Omicromo: <http://omicrono.lespanol.com/2017/11/baterias-problema-coches-electricos-tesla-model-3/>
- Rodríguez González, C., & Oxana Vasilievna, K. (2008). *Propiedades y aplicaciones del grafeno*. 17-23.

Sociedad de Técnicos de Automoción. (2011). El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio. Libbooks.

Villa Gazulla, J. L. (2009). Sistemas de transferencia de energía para vehículos eléctricos mediante acoplamiento inductivo. Doctoral dissertation. Zaragoza.

Villa, J., Sanz, J., Sallan, J., & Perié, J. (2013). Inductive Battery Charging System for Electric. EVS27 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium. doi:10.1109/EVS.2013.6914927