



¿ES POSIBLE MEJORAR LA AUTONOMÍA DE UNA MOTOCICLETA ELÉCTRICA?

Dra. Esther Guervós Sánchez^(a), Vidal Martínez Mateo^(b)

- (a) Dra. por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED. Licenciada en Ciencias Físicas. Universidad Alfonso X el Sabio Tf. 918109150. Email: guervos@uax.es
- (b) Ingeniero Mecánico. Universidad Alfonso X el Sabio. Máster en Ingeniería de Vehículos por Universidad de Mondragón. Máster en Ingeniería Ambiental por Universidad Alfonso X el Sabio. Head of Manufacturing Engineering Nacelles and Hub. Adwen (Offshore Wind Turbines) Tf. 646 567 709. Email: vidal.martinez@adwenoffshore.com

Resumen:

En la actualidad los vehículos híbridos y los vehículos eléctricos están incorporándose al transporte como una opción alternativa a los vehículos de combustión interna (gasolina, gasoil, gas natural, biocombustibles). En particular los vehículos eléctricos, por la total ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero y de gases contaminantes, son una de las mejores opciones para el transporte, por su posible uso en movilidad urbana e interurbana (de hasta 100km) además de su casi nula emisión de ruido haciendo que los entornos urbanos e interurbanos puedan alcanzar una mejor calidad medioambiental.

El estado actual de la técnica ha conseguido equivalencias en potencia y autonomía para los vehículos híbridos, pero aún no se ha conseguido que los vehículos 100% eléctricos puedan alcanzar el mismo nivel de autonomía, tanto por las tecnologías de baterías (capacidad eléctrica instalada) como por la escasa red de puntos de recarga eléctrica. Estos son sus dos puntos débiles, por una parte que no existe una red de carga por un problema de estandarización, inversión y tiempo de amortización que el parque actual de vehículos no justifica; y por otra que la autonomía de estos vehículos es notablemente inferior comparada con los actuales vehículos de combustión interna.

La capacidad eléctrica en los acumuladores de energía eléctrica está relacionada con la energía específica y la densidad de energía, mientras no se obtengan nuevos desarrollos y materiales para baterías que maximicen e incrementen dichos ratios se han de buscar y analizar diferentes opciones de mejorar la autonomía contando con las actuales baterías que conforman los acumuladores de energía eléctrica.

En el presente trabajo tomando como base el acumulador eléctrico de la batería de un vehículo eléctrico se estudia la posibilidad de realizar conexiones variables en las baterías que forman parte del acumulador de energía eléctrica con objeto de determinar cómo influye en su autonomía y analizar las condiciones en las cuáles dichas conexiones podrían realizarse.



Los resultados obtenidos permiten saber si es posible extrapolar su aplicación a otros vehículos eléctricos que cuenten con la misma topología de acumulador eléctrico de conexiones entre baterías y con las características de acceso y disponibilidad para cambiar la configuración de conexiones entre sus baterías (celdas) constituyentes.

Palabras clave: Electricidad, acumulador energía, batería, vehículo eléctrico

Abstract

Hybrid vehicles and the electrical vehicles are joining to the transport as an alternative option to internal combustion vehicles (petrol, diesel oil, natural gas and bio-fuel). Especially the electrical vehicles, for the total absence of emission of greenhouse gases and pollutant gases, are one of the best options for the transport with possible use in urban and inter-city mobility (up to 100km). These vehicles also almost don't have noise emission helping to the urban and inter-city areas a better environmental quality.

The current technology status reached power equivalences in the autonomy for the hybrid vehicles but still there has not been achieved the same level in the electrical vehicles due the battery technologies (electrical installed capacity) and due also the scanty recharge points (charge network). These are the two weak points for electric vehicle. In one hand because does not exist yet a global network of recharge points (standardization), other due necessary time and cost to prepare the recharge network (amortization) because the current amount of electric vehicles don't justify the investment and finally because the autonomy of electric vehicles is notably low compared with the current internal combustion vehicles.

The capacity in the electric accumulators is related with the specific energy and the density of energy, while new developments are not been obtained for the batteries new materials and technologies to increase the above mentioned ratios it is necessary to look for and think different options to improve the autonomy with the current battery technologies.

The present work used the electrical accumulator of an existent electrical motorcycle to study the possibility of realizing variable connections in the batteries that form a part of the electric accumulator in order to determine the influence in its autonomy and the technical constraints to realize in the reality the mentioned connections. The results obtained could allow known if it is possible to extrapolate this study to the reality and to other motorcycles and electrical vehicles that possessed the same topology of electrical accumulator and the same characteristics of access and availability to change the configuration of connections into his batteries.

Key words: Electricity, energy storage, electric battery, electric vehicle



1. Introducción

El incremento en la demanda energética, la complejidad de su extracción y posible agotamiento [1] y las diversas crisis del petróleo [2] han motivado planes de investigación, desarrollo y búsqueda de otras formas de energía para su aplicación en el transporte.

En particular el transporte es un sector con dependencia de los combustibles derivados del petróleo [3] por lo que la evolución presumible de este sector consistirá en reducir los consumos, las emisiones, fomentar la eficiencia energética y el uso de vehículos limpios.

En los últimos treinta años se han producido grandes desarrollos tecnológicos en elementos para el consumo, el ocio y la comunicación en sistemas que ahora son tan cotidianos como los ordenadores portátiles y los teléfonos móviles, lo que ha supuesto un desarrollo y evolución en el almacenamiento de la energía eléctrica. Además existe en la actualidad un renovado interés por la aplicación de tecnologías hacia sistemas de movilidad eléctrica que mejoran la calidad ambiental por la preocupación de la contaminación atmosférica especialmente en las ciudades.

Los acumuladores de energía eléctrica, comúnmente denominados baterías, se han demostrado como un elemento esencial para activar y hacer funcionar los equipos y elementos eléctrico-electrónicos tanto de consumo (teléfonos móviles, cámaras de fotos, reproductores portátiles de música, etc.), como para los medios de transporte (batería de arranque), así como su empleo para almacenamiento y regulación en parques solares, eólicos y para usos domésticos (luz y servicio eléctrico para electrodomésticos).

La electricidad como forma generalizada de energía no constituye en sí una novedad pero sí ha supuesto un reto en los procesos de descarga y carga de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica para permitir el uso y funcionalidad de los aparatos, sistemas y medios empleados para el transporte como sistemas eléctricos.

El parámetro clave desde el punto de vista del uso de las baterías es el tiempo o autonomía de uso, el cual depende principalmente del requerimiento del flujo de corriente demandada y del número de elementos a los que haya que dar consumo. De los elementos que forman parte del ámbito eléctrico desde la central generadora, su red de distribución y la red de comercialización, son aún hoy las baterías el eslabón con mayor potencialidad de desarrollo al ser el más débil.

Por todo lo anteriormente expuesto, los estudios actuales sobre baterías son de gran interés para conocer sus variables, estudiar su funcionamiento y establecer correlaciones, propuestas y opciones que permitan seguir con su desarrollo y crecimiento tecnológico.

2. Almacenamiento de energía

En la última década del siglo XX, y más de 100 años después de los primeros desarrollos de vehículos autónomos a baterías, han sido las nuevas necesidades urbanas respecto de la calidad medio ambiental por ruido y emisiones a la atmósfera, y las necesidades y uso cotidiano de elementos portátiles y portables que necesitan de electricidad.



El uso de estos elementos tecnológicos ha promovido que el desarrollo tecnológico haya vuelto de nuevo la mirada hacia la electricidad, sus aplicaciones y las fuentes de energía que emplean (baterías) considerándose a día de hoy en la industria del transporte a la batería como el principal impedimento para la implantación y desarrollo comercial de los vehículos 100% eléctricos.

El problema comparando la energía eléctrica contenida en los sistemas de almacenamiento con el petróleo (gasolina, diésel), está en la densidad de energía la cuál es superior en el caso de los combustibles fósiles como se aprecia en la Figura 1. Un combustible hipotético ocuparía el ángulo superior derecho del gráfico de la Figura 1 representando por tanto cómo las diferentes fuentes de energía se posicionan mejor o peor respecto de sus características basado el análisis en la capacidad de almacenar energía por:

- Energía por Unidad de Masa: Energía específica (Gravimetric Density, MJ/kg)
- Energía por Unidad de Volumen: Densidad de energía (Volumetric Density, MJ/l)

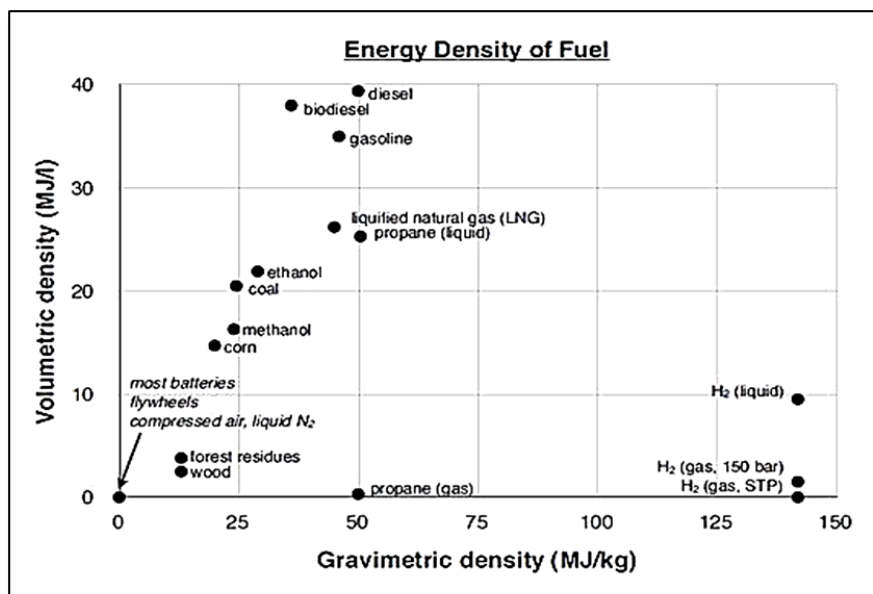


Figura 1. Densidad de energía en combustibles. Fuente: International Forum of Globalization [4]

De acuerdo con la Figura 1 puede comprobarse cómo la energía eléctrica proveniente de las baterías no contienen suficiente densidad de energía comparadas con otras fuentes (posición mínima en el eje de abscisas), e igualmente necesitaría de volumen de casi 40 veces más para que con su densidad energética pudiera igualar la capacidad de almacenamiento de energía del combustible diésel.

La Figura 1 demuestra cómo han de emplearse grandes bancos de acumuladores de energía o grandes baterías para intentar contener una suficiente energía almacenada.



Está demostrada por tanto la diferencia existente entre el nivel energético que contienen los combustibles fósiles respecto del que presenta una batería, y como la autonomía para el transporte marca la diferencia en el uso que se aplica todavía de la movilidad eléctrica.

3. Potencial de mejora en autonomía

Tal y como se ha descrito en el apartado anterior los medios de transporte con sistemas de tracción 100% eléctrica a baterías necesitan de nuevos materiales, nuevos desarrollos y mejoras en la gestión energética para que paso a paso puedan alcanzar niveles interesantes de autonomía que hagan de éste tipo de vehículos una alternativa a los actuales vehículos que emplean combustibles fósiles.

Es conocido que un vehículo eléctrico no genera en su utilización gases contaminantes ni de gases de efecto invernadero porque no emplea un recurso finito como el petróleo. Sin embargo a continuación se resumen las dos características que deben ser tenidas en cuenta para un mayor desarrollo y aplicación de los vehículos eléctricos:

- Red de Carga: No es un caso de problema técnico sino un problema de capacidad eléctrica, inversión y amortización de la misma porque el parque de vehículos eléctricos no justifica la implantación extensa y masiva de puntos de recarga. Hasta el momento se han desarrollado diferentes sistemas y conexiones y hay una amplia normativa que sigue ampliándose mientras los fabricantes prueban y desarrollan también diferentes métodos y tipos de conexión por lo que la falta de una estandarización definitiva del sistema de carga y del punto de conexión aumenta las limitaciones que todavía existen para la instalación de electrolineras que faciliten y permitan la incorporación de más vehículos eléctricos al tráfico.
- Autonomía: La comparación de un vehículo eléctrico con los actuales vehículos de combustión interna pone de manifiesto su menor autonomía. La capacidad eléctrica de los vehículos eléctricos está relacionada con la energía específica y la densidad de energía y mientras no se obtengan nuevos desarrollos que maximicen e incrementen la energía específica y la densidad de energía [4] los aumentos de capacidad eléctrica están directamente relacionados con el incremento de peso y de volumen del acumulador de energía. Como los parámetros peso y volumen están limitados al hueco y masa que se puede aplicar en los vehículos para mantener las mismas características de diseño y confort (capacidad de pasajeros y de maletero), el resultado que se obtiene en los actuales vehículos eléctricos es una capacidad eléctrica limitada que genera también una autonomía muy ajustada.



Es esta necesidad de mejorar y avanzar en autonomía de los vehículos eléctricos lo que hace que se realicen estudios y pruebas para adquirir datos que permitan validar nuevas ideas y desarrollos teóricos para mejorar la eficiencia eléctrica y buscando un impacto positivo en la autonomía.

Enmarcado en este tipo de estudios está el trabajo que aquí se presenta teniendo en cuenta que los estudios y desarrollos para la autonomía de vehículos 100% eléctricos han estado referidos a las siguientes áreas y sistemas:

- Diferentes tipos de baterías (desde las clásicas baterías de plomo-ácido a las nuevas baterías de ion litio polímero), lo que ha permitido aumentar la densidad energética de los acumuladores de energía eléctrica, y por tanto su autonomía.
- Sistemas de gestión de la capacidad instalada de energía en los acumuladores eléctricos para aumentar la eficiencia de uso y su seguridad durante los procesos de carga y descarga.

Sin embargo entre ambos tipos de estudios, desarrollos y trabajos se sitúa el presente estudio.

Actualmente los acumuladores de energía basados en baterías emplean conexiones fijas de sus células secundarias (baterías recargables) y esta situación lleva a proponer preguntas como las siguientes:

- ¿Las conexiones fijas podrían limitar el uso en el tiempo de la energía almacenada?
- ¿Y si las conexiones en las baterías del acumulador eléctrico fueran conexiones variables?

Partiendo de las preguntas enunciadas se plantea el estudio para una misma capacidad eléctrica instalada tomando como base el acumulador eléctrico a baterías de un vehículo eléctrico del mercado para analizar la afección en la autonomía de las posibles conexiones que pueden realizarse entre sus baterías.

4. Objetivos

La capacidad eléctrica instalada de una batería está directamente referida a cómo han sido configuradas las conexiones internas del acumulador de energía eléctrica, que actualmente tienen una estructura de conexión interna permanente y no variable, como se muestra en la Figura 2.

El objetivo de este trabajo es estudiar la posible mejora en la autonomía de un vehículo eléctrico, medida en tiempo de un acumulador eléctrico formado por baterías estándar de



plomo-ácido para una misma demanda de energía, empleando una estructura de conexión variable.

La conexión variable se consigue realizando una combinación de conexiones serie-paralelo de las diferentes celdas constituyentes de la batería, tal como se muestra en la Figura 3.

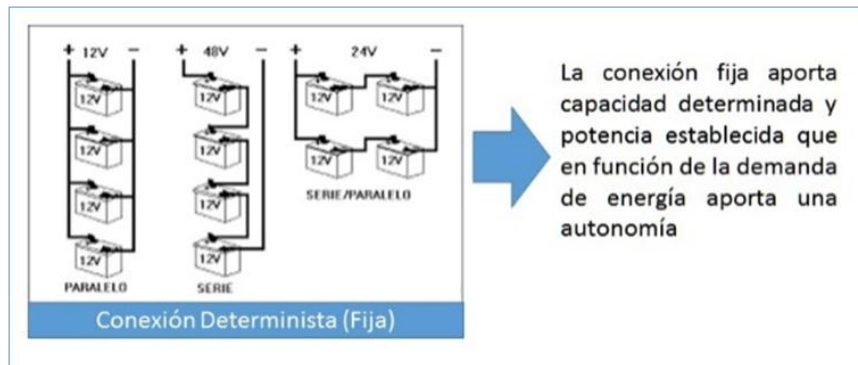


Figura 2. Estructura fija de conexión de células de baterías. Fuente: Elaboración propia

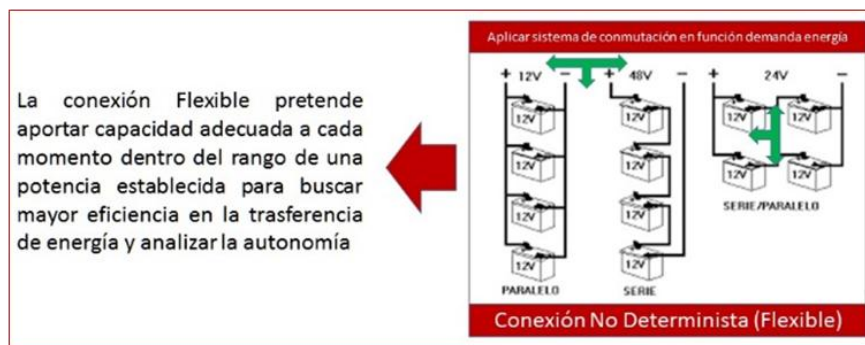


Figura 3. Estructura variable de conexión de células de baterías. Fuente: Elaboración propia

5. Plan de Trabajo

Con la llegada de desarrollos en el área del cálculo numérico existen herramientas software que ayudan a analizar, experimentar teóricamente y tomar de decisiones en el diseño de productos y procesos siendo la simulación la técnica empleada para ello [5]. El concepto de simulación engloba soluciones para diversos propósitos y es un conjunto de relaciones lógicas, matemáticas e incluso probabilísticas que permiten describir el comportamiento de un sistema.

La definición de elementos y sus interrelaciones es lo que se denomina modelo de simulación en el cuál se incluyen los elementos que forman parte del sistema a describir y las relaciones entre los elementos.



La selección, cálculo y preparación de datos se realiza tomando como referencia el programa Matlab ®-Simulink [6].

Se emplean los parámetros del vehículo eléctrico a partir del cual se analizan sus sistemas, sus modelos de batería y motor y se desarrollan las variables que representan el comportamiento de los mismos.

Los elementos empleados en el modelo de simulación para la preparación de la plataforma de ensayo software son:

- Elemento Batería: Se describe respecto de los parámetros eléctricos que la definen, voltaje y capacidad (ver Figura 4) y sobre el que no se realiza desarrollo, análisis, eventos ni cálculo de estados de sistema a sus subprocesos los cuales estarían centrados en el entorno de la electroquímica y el modo en el que para cada tipo y característica de batería se realiza la generación y almacenamiento de energía eléctrica y que no es objeto del presente estudio.

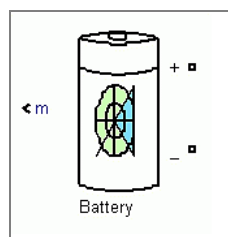


Figura 4. Elemento batería [7]

- Elemento Acumulador: No es un elemento en sí sino que el acumulador es la combinación de series o paralelos de elementos baterías, células del acumulador, para el que se realizan 3 tipos diferentes de conexiones.
- Elemento Motor: Se identifica el modelo de motor que se puede emplear de acuerdo de las características básicas que lo definen (ver Figura 5) pero en el que no se realiza desarrollo, análisis, eventos ni estados de sistema a sus subprocesos los cuales estarían centrados en el entorno de la ingeniería eléctrica y la cuál no es objeto de estudio en el presente trabajo.

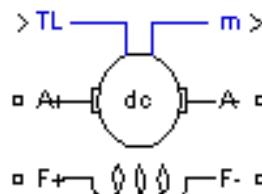


Figura 5. Elemento motor de corriente continua [8]

De acuerdo con lo descrito y tomando como referencia para el modelo de simulación los modelos batería y motor según Figuras 4 y 5, el sistema eléctrico en diagrama de bloques que se emplear para realizar el modelo de simulación es el que se representa en la Figura 6.

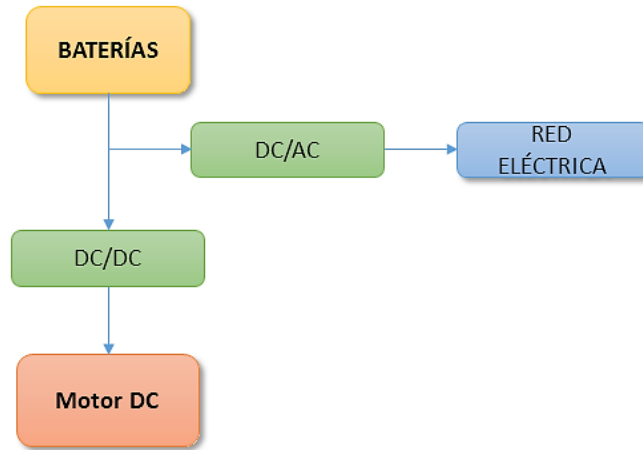


Figura 6. Esquema de la configuración eléctrica del vehículo tomado de referencia para establecer el modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia

6. Resultados

Con los parámetros técnicos del vehículo de referencia escogido y los valores característicos de las baterías que forman parte del acumulador eléctrico del vehículo se pueden ejecutar las experiencias de simulación.

El ciclo que se toma para realizar las experiencias de simulación de la hipótesis de estudio es el ciclo de conducción urbana ECE-15 [9] [10] porque es el tipo de recorrido que puede realizar el vehículo eléctrico seleccionado para el estudio.

Por el tipo de test aquellos vehículos con sistemas de parada (Start-Stop), híbridos y 100% eléctricos obtendrán unos valores muy interesantes en consumo y emisiones, sobre todo en el caso de vehículos 100% eléctricos donde las emisiones de gases de efecto invernadero, de contaminantes y emisiones acústicas son nulas aportando una ventaja medioambiental completa al medio urbano.

El ciclo de potencia para la curva de velocidades del ciclo ECE-15 para la ejecución de las experiencias se ha modificado para adecuarse a las condiciones de potencia que requiere el vehículo eléctrico tomado como base del estudio pero manteniendo el perfil de velocidad y potencia que se requiere en el ciclo. Como el vehículo cuenta con una transmisión directa (Direct Drive) [11] no es necesaria una adecuación y cálculo de la potencia a través de la relación de transmisión.

De acuerdo a las primeras experiencias y ejecución de las simulaciones realizadas se alcanzan unos valores teóricos de autonomía que alcancen de 157,40 a 199,98km



7. Conclusiones

Los ensayos se han realizado para el modelo de batería de plomo-ácido que forma parte del acumulador de energía eléctrica de un prototipo posible de vehículo eléctrico con base de partida de 48V y 23Ah de capacidad máxima para diversas experiencias correspondientes a posibles configuraciones.

Partiendo de la topología de un vehículo eléctrico existente en el mercado y con las experiencias desarrolladas se ha realizado el estudio de manera práctica, sencilla, económica y flexible. El modelo de simulación para las pruebas se ha configurado en base a la velocidad y potencia necesarias para realizar el ciclo de ensayo estándar homologado (ECE-15) ajustado a las características de potencia y velocidad máxima que el vehículo eléctrico puede obtener pero manteniendo el perfil de requerimientos como se ha indicado en el apartado 6.

Con los resultados obtenidos y de acuerdo al cálculo que relaciona la capacidad eléctrica (Q) con el tiempo (t) y la intensidad de descarga (I) para la misma tasa de descarga (0.05C), se puede concluir que la hipótesis del estudio aumentar el tiempo de uso de la energía almacenada y por tanto el número de ciclos de ensayo ECE-15 que el vehículo eléctrico es capaz de realizar mejorando su autonomía.

8. Bibliografía

- [1] **Eva Molero Piñeiro, Ana Pozo Ruz (2013).** El vehículo eléctrico y su infraestructura de carga. Capítulo 1. Introducción. 1.1 Introducción. Página 1. Editado por Marcombo. ISBN: 978-84-267-1909-6
- [2] **Organización de Países Exportadores de Petróleo (2016).** OPEC - Organization of the Petroleum Exporting Countries. Home. Taxes on oil. Composite barrel and its components OECD. 5-year moving average. Disponible en Internet. <http://asb.opec.org/index.php/taxes-on-oil>
[12/09/2016]
- [3] **Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE).** Transporte y Consumo de Energía. El sector del Transporte en España es el principal consumidor de energía final. Disponible en Internet. <http://www.idae.es/index.php/idpag.863/relcategoria.4046/mod.pags/mem.detalles> [18/09/2016]



- [4] **Richard Heinberg (2009)**. Searching for a Miracle. Part #4 False Solution Series. The International Forum on Globalization and the Post Carbon Institute. Chapter 2. Punto 9: Transportability. Diagram 1: Volumetric and Gravimetric Density of Fuels. Edita IFG – International Forum on Globalization (www.ifg.org). Publications. Direction 1009 General Kennedy Ave. 2, San Francisco CA 94129. September 2009.. Página 21 Disponible en internet. <http://ifg.org/what-we-do/publications/> y http://ifg.org/v2/wp-content/uploads/2014/04/Searching-for-a-Miracle_web10nov09.pdf
[16/07/2015]
- [5] **Eduardo García Dunna, Heriberto García Reyes, Leopoldo E. Cárdenas Barrón (2006)**. Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel. Capítulo 1. 1.1 Introducción a la simulación. ISBN: 970-26-0773-6. Editorial Pearson. Página 2
- [6] **Javier Remírez (2012)**. Complementos del Procesado de Señal y Comunicaciones. Máster en Sistemas Multimedia. Introducción a Matlab® y Simulink®. Tutorial Matlab®. Páginas 2 y 3. Elaborado por Javier Remírez (javierrp@ugr.es). Acceso al tutorial en: <http://www.ugr.es/~javierrp>
http://www.ugr.es/~javierrp/master_files/Seminario%20de%20Matlab%.pdf
[14/09/2015]
- [7] **MATLAB® Help Documentation (2012)**. Search Matlab® Documentation. Libraries. SimPowerSystems. Electrical Sources. Elemento: Battery. Consulta de la ayuda del programa Matlab® [13/04/2016]
- [8] **MATLAB® Help Documentation (2012)**. Search Matlab® Documentation. Libraries. Simscape\SimPowerSystems\Machines\DC Machine. Elemento: DC Machine. Consulta de la ayuda del programa Matlab® [15/04/2016]
- [9] **Cornel Stan, Giovanni Cipolla (2008)**. Alternative Propulsion System for Automobiles II. Chapter 7. Energy Management using Fuel Cell & Super Caps. 2 Reference case study: fuel cell stand-alone powered vehicle: European Driving Cycle (Directiva 90/C81/01). Ciclo de Conducción Europeo para ensayos y simulación de consumos y emisiones de gases contaminantes. ISBN: 978-3-8169-2835-5. Editorial: Expert Verlag. Página 100.



- [10] **Directiva 98/69/CE (13 de octubre de 1998).** Medidas contra la contaminación atmosférica. Disponible en internet: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9ee5d16b-1a4a-4a72-ac90-5e3a0bb1d745.0010.02/DOC_1&format=PDF [12/09/2015]
- [11] **Fernando Reyes Cortés, Jaime Cid Monjaraz, Emilio Vargas Soto (2014).** Mecatrónica. Control y Automatización. Capítulo 4 Actuadores Eléctricos. 4.3 Servomotores. 4.3.4 Servomotores de transmisión directa. ISBN: 978-84-26-2082-5. Editorial Marcombo. Página 160