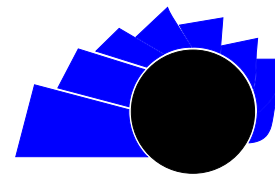


UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## Visión Electrónica

*Más que un estado sólido*

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>

VISIÓN ELECTRÓNICA

VISIÓN INVESTIGADORA

# Manejo de potencia para un vehículo con acople fotovoltaico en motor híbrido

## *Power management for a vehicle with a photovoltaic-hybrid motor coupling*

*Darío Amaya H.<sup>1</sup>, Nicolás F. Marrugo C.<sup>2</sup>, Jorge M. Ospina J.<sup>3</sup>*

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Enviado: 11/11/2015

Recibido: 23/11/2015

Aceptado: 12/02/2016

#### Palabras clave:

Acople fotovoltaico

Estado de carga

Motores híbridos

Radiación solar.

### RESUMEN

Actualmente, la visión de la industria en todo el mundo se enfoca en desarrollar e implementar soluciones novedosas a problemas frecuentes pero amigables con el medio ambiente; entre ellas, es considerada la utilización sistemática de motores híbridos y eléctricos. El trabajo propone la simulación de un algoritmo de manejo de potencias para un motor híbrido, cuya parte eléctrica se abastece mediante un sistema fotovoltaico. En este caso, se analiza la batería de un carro en función de su aceleración y desaceleración. Se obtiene como resultado un estudio del comportamiento de un sistema fotovoltaico en conjunto con un motor híbrido, donde se analiza el comportamiento de la batería según las condiciones meteorológicas que afectan al sistema.

### ABSTRACT

Nowadays, the industries vision around the world is focused on developing and presenting new solutions to frequent problems but they can be ecofriendly; being one of this solutions hybrid and electric motors. This paper presents the simulation of an algorithm for the management of power for a hybrid motor, which electric part is being supplied using a photovoltaic system. In this case, it allows the analysis of a car battery, in terms of acceleration and deceleration of the vehicle. Obtaining as a result, a study of the behavior of the photovoltaic system along with a hybrid motor where it is analyzed the battery's behavior according to the meteorological conditions affecting the system.



#### Keywords:

Photovoltaic coupling

State of charge

Hybrid motors

Solar radiation

<sup>1</sup>Ingeniero electrónico, Universidad Antonio Nariño, Colombia. MSc. en Teleinformática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Doctorado en Ingeniería Mecánica, Universidad Estadual de Campinas, Brasil. Lugar de trabajo: Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Correo electrónico: [dario.amaya@unimilitar.edu.co](mailto:dario.amaya@unimilitar.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniero mecatrónico, Universidad Piloto de Colombia, Colombia. Lugar de trabajo: Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Correo electrónico: [tmp.nicolas.marrugo@unimilitar.edu.co](mailto:tmp.nicolas.marrugo@unimilitar.edu.co)

<sup>3</sup>Ingeniero mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Lugar de trabajo: Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Correo electrónico: [u1801423@unimilitar.edu.co](mailto:u1801423@unimilitar.edu.co)

## 1. Introducción

En el ámbito mundial, la producción de las energías renovables se encuentra en crecimiento debido a la escasez de los recursos de combustibles fósiles y a las iniciativas estratégicas que buscan reducir las emisiones de carbono a la atmósfera [1]. Como consecuencia, el uso de energías alternativas ha adquirido gran relevancia en los sistemas de transporte existentes, aunque el combustible fósil sea considerado como la principal fuente de energía de estos sistemas [2].

Hoy en día, entre las soluciones alternativas para los sistemas de transporte con mayor desarrollo se puede hablar de los vehículos híbridos (HEV) y eléctricos (EV), tanto así que el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) proyecta que para el 2050 el 62% de los vehículos de Estados Unidos tengan sistemas HEV [3]. De la mano de estos desarrollos se encuentran también soluciones en las fuentes de almacenamiento de energía, tales como celdas de combustible, baterías, baterías de alta densidad de potencia y ultracapacitores [4], [5].

Por otro lado, es muy común que se agreguen sistemas alternativos en los vehículos; es el caso de los sistemas fotovoltaicos, que son una fuente alternativa para las baterías de un carro [6]. Los desarrollos con estos sistemas generalmente van enfocados en el sistema de almacenamiento para lo cual se debe ajustar la potencia generada y los parámetros necesarios para que los paneles solares funcionen adecuadamente y sea posible la correcta implementación con las cargas producidas por el carro [7].

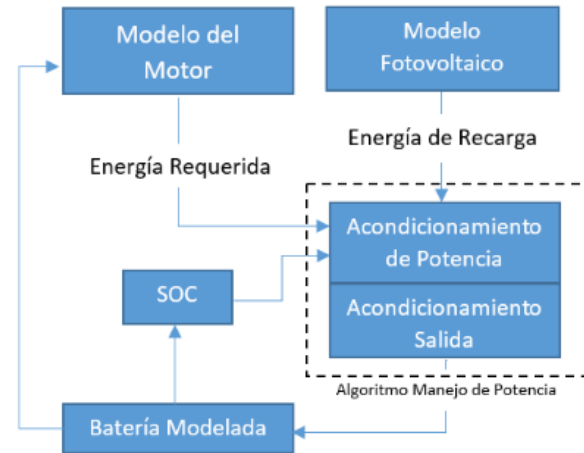
Al emplear modelos de control del sistema de almacenamiento, es posible reducir el costo y utilizar de la mejor forma la energía proveniente del sol. Entre estos modelos predictivos usados en países europeos es posible prever las saturaciones del sistema en carga y descarga; así se evitan sanciones económicas por no otorgar la potencia generada [8], [9]. Por otro lado, como parte de la normativa, se han implementado controles de potencia para cargar baterías de sistemas híbridos [10] y hallar los requerimientos del sistema energético [11].

## 2. Formulación del problema

Según lo anterior, en este trabajo se propone implementar un algoritmo para el manejo de potencia en la simulación de un motor híbrido diésel de 180 kW junto a un panel fotovoltaico con su batería, lo que permite ver el comportamiento del sistema en función

de las condiciones medioambientales de Bogotá. Como resultado se obtiene un análisis de descarga y carga de la batería, en relación con la generación eléctrica proveniente del motor y los paneles fotovoltaicos, al tiempo que se identifica el impacto que tiene la aplicación de energías renovables en sistemas HEV.

**Figura 1:** Esquema del sistema implementado



Fuente: elaboración propia.

## 3. Metodología

Para el desarrollo del proyecto, primero se relacionan las variables de entrada y salida a través de un esquema o diagrama (Figura 1). En este se puede observar que el algoritmo de manejo de potencia tiene como variables de entrada los valores del estado de carga (SOC), la energía que requiere el motor y la potencia generada por los paneles. El algoritmo, al acondicionar la señal de los paneles y la información del motor y las baterías, compara el estado actual de las baterías con la energía presente disponible para utilizar. A través del acondicionamiento de salida, decide si la energía de los paneles es requerida para recargar las baterías de acuerdo con el SOC, o bien, si no se utiliza.

Para el motor se tiene en cuenta la literatura del modelo de control, donde el análisis de la aceleración y desaceleración permiten indicar los requerimientos energéticos de la batería.

El modelo fotovoltaico se realiza por medio de la celda fotovoltaica disponible en Simulink®, que solo requiere como entrada el valor de la radiación. En este caso, de entrada de radiación, se emplearon los datos de un día

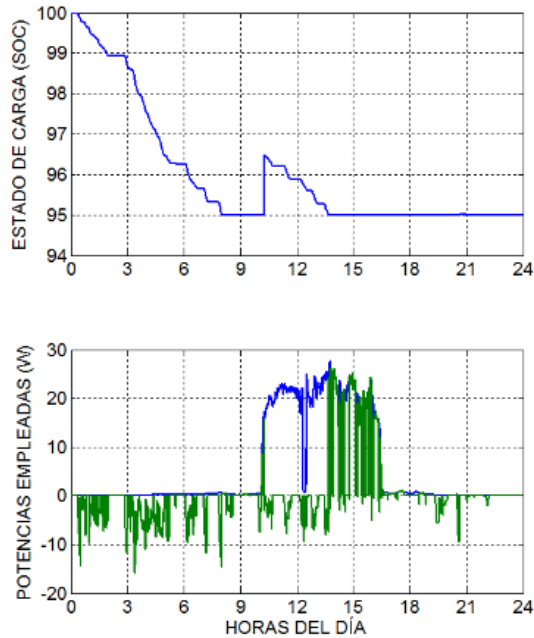
soleado en Bogotá tomados con un radiómetro.

La batería se obtuvo empleando tablas *Lookout* en el entorno de Simulink®, que permiten simular el comportamiento de una batería real de acuerdo con unos puntos de quiebre especificados. Las características tenidas en cuenta al realizar el modelo son el SOC y el valor de los voltajes en dichos valores. Para este sistema se emplearon baterías de litio de 4.4 V.

Para el algoritmo, se emplearon bloques operacionales para utilizarse junto con los modelos, teniendo en cuenta las siguientes restricciones:  $P_{bat} > 0$  se refiere a la descarga de las baterías y  $P_{bat} < 0$  se refiere a la carga de las baterías, como se indica en (1):

$$P_{bat}(t) = \begin{cases} P_{bat}^*, & SOC_{bat} \leq SOC_{val} \\ P_{bat}, & SOC_{bat} > SOC_{val} \end{cases} \quad (1)$$

**Figura 2:** Valores del SOC y de las potencias resultantes al emplear el algoritmo



Fuente: elaboración propia.

#### 4. Resultados

Los resultados de las pruebas del automóvil al aplicarle la carga dieron resultados que se muestran en la Figura 2, donde se puede observar que el SOC disminuye hasta el punto delimitado por el usuario (95)

y se mantiene a través del día gracias al algoritmo de manejo de energía. De esta forma, emplea solo una parte de la energía de los paneles para recargar las baterías.

Se puede observar también la energía consumida por las baterías representada por los vatios negativos, junto a la potencia obtenida del panel fotovoltaico.

#### 5. Conclusiones

Es posible emplear la energía proveniente del sol de manera eficiente, a través de un algoritmo que maneje las variables de la radiación solar del día y el estado de carga de las baterías. De esta forma, combinando ambas tecnologías con el algoritmo implementado, se mantiene un estado de carga suficiente para alimentar el vehículo. De igual manera, los modelos empleados en la simulación permiten ver el comportamiento de estos sistemas ante una carga de aceleración y desaceleración en un automóvil. Así, es posible verificar los beneficios de emplear energías renovables con tecnologías de vehículos híbridos.

#### 6. Reconocimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, por la financiación del proyecto “Abastecimiento energético autónomo mediante SFRC para áreas de laboratorio en el campus de Cajicá”, código (IMP-ING 1576) del 2015.

#### Referencias

- [1] S. Sperati, S. Alessandrini, P. Pinson, y G. Kariniotakis, “The ‘Weather Intelligence for Renewable Energies’ Benchmarking Exercise on Short-Term Forecasting of Wind and Solar Power Generation”, *Energies*, vol. 8, no. 9, pp. 9594-9619, 2015.
- [2] J. A. M. de la Carrera, “Control óptimo de la energía en un vehículo híbrido eléctrico empleando redes neuronales” Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2004.
- [3] B. M. Marshall, J. C. Kelly, T.-K. Lee, G. A. Keoleian y Z. Filipi, “Environmental assessment of plug-in hybrid electric vehicles using naturalistic drive cycles and vehicle travel patterns: A Michigan case study,” *Energy Policy*, vol. 58, pp. 358-370, Julio 2013.
- [4] B. K. Bose, “Neural Network Applications in Power Electronics and Motor Drives mdash;An Introduction

- and Perspective,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, no. 1, pp. 14-33, febrero 2007.
- [5] M. Erol-Kantarci y H. T. Mouftah, “Prediction-based charging of PHEVs from the smart grid with dynamic pricing,” en *2010 IEEE 35th Conference on Local Computer Networks (LCN)*, pp. 1032-1039, 2010.
- [6] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen y F. Blaabjerg, “A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules,” *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 41, no. 5, pp. 1292-1306, 2005.
- [7] M. M. Vallina, “Instalaciones solares fotovoltaicas”. Madrid: Editorial Paraninfo, 2010.
- [8] M. Lafoz, L. García-Tabares y M. Blanco, “Energy Management in solar photovoltaic plants based on ESS,” en *Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC 2008*, 13th, pp. 2481-2486, 2008
- [9] E. Pérez, H. Beltrán, N. Aparicio y P. Rodriguez, “Predictive Power Control for PV Plants With Energy Storage,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 4, no. 2, pp. 482-490, Abril 2013.
- [10] H. Fakhm, D. Lu y B. Francois, “Power Control Design of a Battery Charger in a Hybrid Active PV Generator for Load-Following Applications,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 1, pp. 85-94, enero 2011.
- [11] J. Marcos, O. Storkël, L. Marroyo, M. García y E. Lorenzo, “Storage requirements for PV power ramp-rate control”, *Solar Energy*, vol. 99, pp. 28-35, enero 2014.