

# Diseño e implementación de un prototipo de vehículo solar con almacenamiento de energía<sup>1</sup>

Design and implementation of a prototype solar vehicle energy storage

Concepção e implementação de um dispositivo de armazenamento de energia solar, veículo protótipo

Fecha de recepción: abril 2013  
Fecha de aceptación: agosto 2013

Juan Pablo Arévalo Molina<sup>2</sup>  
Rubén Darío Ortíz Jiménez<sup>3</sup>  
Erika Nathalia Gama<sup>4</sup>  
Olga Lucia Ramos<sup>5</sup>  
Jaime Duque<sup>6</sup>

## Resumen

En esta investigación se realizó el diseño, la construcción, implementación y las pruebas de un vehículo alimentado por energía solar, que contiene un sistema de almacenamiento de energía para la alimentación de dos motores para producir el movimiento de una estructura por un tiempo determinado, teniendo en cuenta la incidencia de la luz solar y la carga y descarga de la batería que será el suministro de energía para la estructura. Inicialmente se hizo el diseño del componente eléctrico del vehículo teniendo como parámetros prioritarios: el voltaje, corriente, tiempo de carga y descarga de la batería, dependiendo de la carga colocada a los motores y muchos otros factores que pueden incidir en el funcionamiento del vehículo, teniendo presente la construcción del componente mecánico, las dimensiones y peso adecuado para el buen funcionamiento del vehículo. Por último, se realizó la implementación y pruebas de este carro, determinando su efectividad y los tiempos de funcionamiento.

**Palabras clave:** energía solar, almacenamiento de energía, sistema fotovoltaico.

## Abstract

In this work we performed the design, construction, implementation and testing of a solar-powered vehicle, which contains an energy storage system capable of supplying the energy to two engines to produce movement of a structure for a given time, taking into account the incidence of

- 
- 1 Artículo de investigación, resultado del proyecto PIC 1142, del grupo de investigación GAV, programa de ingeniería mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia.
  - 2 Estudiante del programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Contacto: u1801242@unimilitar.edu.co
  - 3 Estudiantes del programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Contacto: u1801093@unimilitar.edu.co
  - 4 Estudiantes del programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia. Contacto: Erika.gama@unimilitar.edu.co
  - 5 Docente de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Contacto: olga.ramos@unimilitar.edu.co
  - 6 Docente tiempo completo. Grupo de investigación GAV, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Contacto: gav@unimilitar.edu.co.

sunlight and charging and discharging of the battery will supply energy to the structure. Initially it was the design of vehicle electrical component having as important parameters to take into account the voltage, current, charge and discharge time of the battery depending on the load placed on the engine and many other factors that can affect the operation of vehicle, taking into account the construction of mechanical components, dimensions and weight for the proper functioning of the vehicle. Finally the implementation and testing of this car determine its effectiveness and operating times of this research project.

**Keywords:** solar energy, energy storage, photovoltaic system.

### Resumo

Neste trabalho foi realizado o projeto, construção, implementação e testes de um veículo movido a energia solar, que contém um sistema de armazenamento de energia para alimentar dois motores para produzir o movimento de uma estrutura para um determinado tempo, tendo em consideração a incidência de luz solar e de carga e descarga da bateria irá fornecer energia para a estrutura. Inicialmente era o design do componente eléctrico do veículo tendo como parâmetros importantes para se ter em conta a tensão, a corrente de carga, e o tempo de descarga da bateria de acordo com a carga colocada sobre o motor e de muitos outros factores que podem afectar o funcionamento de veículo, tendo em conta a construção dos componentes mecânicos, dimensões e peso para o bom funcionamento do veículo. Finalmente, a implementação e testes do carro determinar a sua eficácia e tempos de funcionamento deste projecto de investigação.

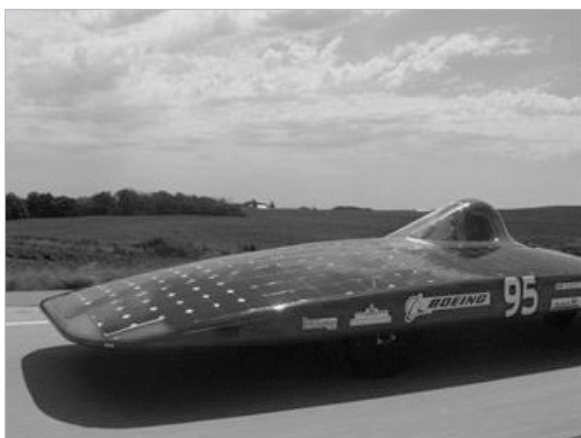
**Palavras-chave:** energia solar, armazenamento de energia, sistema fotovoltaico.

### Introducción

La energía solar es la energía radiante del sol recibida en la tierra, esta puede ser tomada como una fuente de energía, la cual ofrece muchas ventajas, como ser una fuente inagotable de energía, ser renovable y no ser contaminante para la naturaleza en su utilización. Las desventajas son su baja potencia y su variabilidad energética. Esta clase de desventajas generan la necesidad de realizar una transformación de energía, la cual permita almacenarla y utilizarla posteriormente. En Colombia, los trabajos que comenzaron con la incursión en este campo fueron aplicaciones para el calentamiento del agua para uso doméstico, industrial y recreacional —calentamiento de agua para piscinas— y la generación de electricidad a pequeña escala (Rodríguez, 2008). Ahora, para su aprovechamiento como alternativa eléctrica y como solución

de necesidades cotidianas, el ser humano está incursionando sobre este tema, pues el sol como fuente de energía renovable ha brillado desde los inicios de la humanidad y se sabe que todavía estará ahí por más de 6.000 millones de años, y sería un desperdicio no aprovechar esta clase de energía que se encuentra al alcance; además, ayudaría a la recuperación de nuestro medio ambiente dañado por el uso de las energías no renovables que se usan en el presente. En muchos países se han desarrollado proyectos con el fin de aprovechar este tipo de energía, en Colombia, gracias al estudio de entidades meteorológicas como el Ideam (Instituto de Estudios Ambientales) la información que es recolectada por cada una de las estaciones meteorológicas proporcionan los datos meteorológicos en información energética que permite el estudio de la radiación solar que existe en ciertas zonas del país (Pesenca, 1995). Gracias a este tipo de energía

en Colombia se han podido desarrollar trabajos como el mencionado en un artículo sobre tecnología el 16 de abril del presente año de la Universidad EAFIT de Medellín junto con EPM elaborando el primer vehículo solar del país llamado “Primavera” (EAFIT, s.d.), el cual ofrecerá un aporte a la movilidad sostenible de Medellín y que será amigable con el medio ambiente. Este vehículo se está construyendo bajo la supervisión de doce profesionales, 30 estudiantes y un docente que son el grupo de trabajo para este proyecto.



**Figura 1.** Primer vehículo solar construido en 1777 en la universidad de Alabama Ed passerini

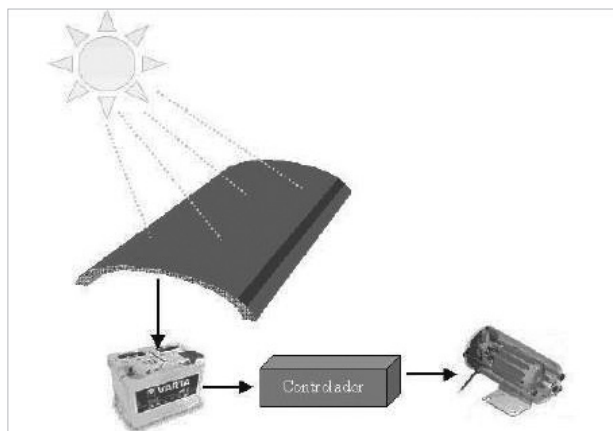
Fuente: archivo personal

Otro trabajo desarrollado en Colombia es el trabajo investigativo titulado *Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar* (Carreño, 2011). En dicho proyecto se hace el diseño y construcción de un prototipo autónomo (figura 2), que utiliza los rayos de sol como fuente de energía primaria, posee un módulo de almacenamiento de energía para proveerlo cuando el prototipo se encuentre sin posibilidad de recibir luz. Este sistema de almacenamiento es básicamente una batería almacenadora que provee energía al automóvil cuando lo necesita; se puede observar en la figura 3 el sistema utilizado para el almacenamiento y aprovechamiento de la energía recibida durante un tiempo, dando una autonomía específica al vehículo y evaluar las ventajas de utilizar dicho prototipo en cualquier lugar sin importar si existe o no incidencia directa de luz sobre las placas.



**Figura 2.** Prototipo final, Universidad Distrital de Colombia

Fuente: Carreño, 2011.



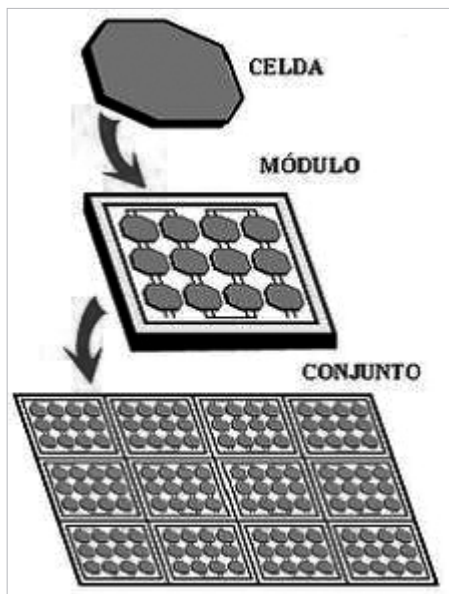
**Figura 3.** Sistema de almacenamiento y funcionamiento del vehículo

Fuente: Carreño, 2011

Para la realización de estos trabajos fue necesaria la adecuada implementación de la radiación directa, que es una de las tres formas en las cuales se puede clasificar la radiación solar, esta es la radiación que proviene directamente del sol y alcanza la superficie de la tierra sin ser difundida, es decir, sin desviar su dirección. Este tipo de radiación es la más importante en cuanto a las aplicaciones fotovoltaicas, ya que se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos interpuestos en su trayecto a la superficie terrestre (Jutglar, 2004). Al igual que el sistema que permite la conversión de la radiación solar en energía eléctrica, el cual es

posible solo mediante una celda fotovoltaica, este es un dispositivo electrónico que capta la energía solar —fotones— y la convierte directamente en energía eléctrica —electrones—, a través del fenómeno denominado efecto fotovoltaico. Esta emisión de electrones, al ser capturados, produce una corriente eléctrica. La cantidad de electricidad que puede producir es pequeña, pero al estar interconectadas varias de estas pueden producir corrientes y voltajes necesarios para determinadas aplicaciones. Su grosor se encuentra entre 0,25mm y 0,35mm, generalmente es de forma cuadrada, con una superficie aproximada de 100 cm<sup>2</sup>. La potencia típica que puede suministra una celda de esta es de unos 3W (Gasquet, 2004).

También es necesaria la implementación de un panel fotovoltaico, que es un conjunto de celdas fotovoltaicas, interconectadas eléctricamente para una capacidad determinada, a su vez estos módulos se conectan en serie, que según los requerimientos generan valores específicos de voltaje y corriente como lo muestra la siguiente figura.

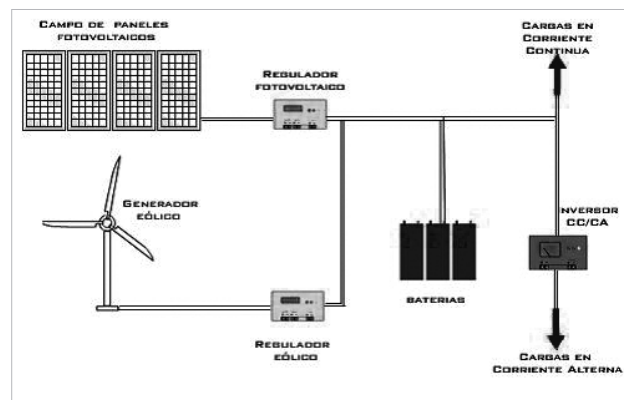


**Figura 4.** Interconexión de celdas solares integradas en un Módulo Fotovoltaico

Fuente: [www-rcsb-infor.blogspot.com](http://www-rcsb-infor.blogspot.com)

De igual manera, se escoge el tipo de instalación más adecuado para la aplicación requerida, en este caso, la mejor opción es una instalación híbrida pues en

este tipo de instalación se combinan distintas fuentes de generación eléctrica y son muy adecuadas para la electrificación. Las tecnologías modulares son la solar y eólica, y la variación estacional del sol y el viento, que se complementan entre sí, teniendo en cuenta que cuando el aprovechamiento del sol se reduce, el viento sopla más fuerte (Roldán, 2010). Aquí el uso de la energía eólica no fue necesario, pero se puede implementar de igual manera, como lo muestra la siguiente figura, para una mayor optimización del sistema empleado.



**Figura 5.** Instalación solar fotovoltaica híbrida

Fuente: [www.balner.com/energias/fotovoltaica/insthibridas.htm](http://www.balner.com/energias/fotovoltaica/insthibridas.htm)

Teniendo en cuenta el tipo de instalación, se considera el tipo de batería solar que se requiere. Esta debe estar en la capacidad de sostener corrientes moderadas durante varias horas y en muchas implementaciones, los valores de baterías más comerciales son de 6V y 12V nominales. Las baterías de 6V, con capacidad de 200 Ah, son integradas en sistemas con bancos de baterías, para satisfacer las necesidades requeridas. Los sistemas fotovoltaicos de bajo consumo, requieren de 12 voltios nominales. Para satisfacer esta característica se emplea la versión de batería de 12V, con capacidad de 100 Ah. Para sistemas de alto consumo, son apropiadas las baterías de 250 Ah. También es importante tener en cuenta las temperaturas que puedan afectar el almacenamiento de energía en la batería, como el tiempo o condiciones que permiten que la batería sufra una autodescarga. Para completar este tipo de instalación es necesario un componente importante como el inversor; este será el que maximise la producción de corriente de los módulos fotovoltaicos

y optimizará el paso de energía entre el módulo y la carga. Este dispositivo transforma la corriente directa suministrada por los módulos fotovoltaicos, en corriente alterna AC, para cuando sea requerida por una carga, mediante dispositivos de conmutación. Al igual que suben el voltaje de 12V, 24V o 48V VDC a 110 o 220 VAC. El inversor debe ser dimensionado para alimentar la carga que se quiere conectar (Yro, 2009).

Así mismo, hay que tener en cuenta las dimensiones mecánicas y la distribución de pesos que requiera el diseño mecánico, que será el encargado de llevar todo el sistema fotovoltaico requerido para su desplazamiento.

### Método y diseño

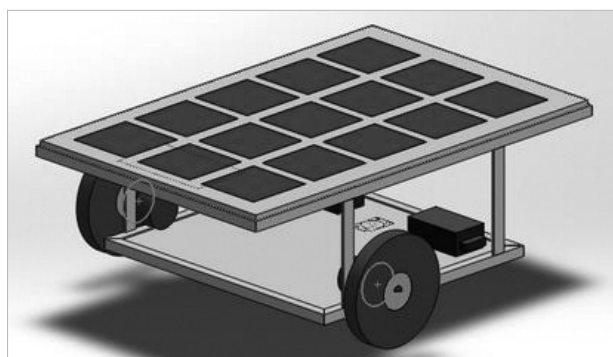
Para realizar un diseño electrónico que cumpla con el objetivo de poder almacenar energía suficiente para que el sistema se comporte de forma óptima, hay que tener en cuenta como primer ítem las especificaciones de los componentes que ofrece el mercado.

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se inicia con el estudio y previo conocimiento de las especificaciones de los motores necesarios para que el sistema tenga un movimiento óptimo, por lo cual se escogen motores de 12 voltios con especificación de corriente de 7 amperios/hora, los cuales brindan el torque necesario para que la estructura completa tenga un movimiento efectivo.

Teniendo los motores necesarios, se escoge la batería que alimentará estos motores, por lo cual se debe pensar en que la batería tenga las mismas especificaciones de dichos motores y por esta razón se escoge una batería de carga seca que brinda en su salida 12 voltios a 7.2 amperios/hora. Dicha batería será cargada por el panel solar, este panel cambia su salida de voltaje y corriente dependiendo de la luz solar que incida en el mismo, por lo cual se hace necesaria la implementación de un adaptador de voltaje DC/DC que asegura una salida continua de voltaje a la batería para garantizar una carga efectiva.

Al hacer el ensamble de todos los elementos, se tiene un circuito que permite la carga dinámica de la batería mediante el panel solar y la alimentación efectiva de los motores, con el fin de garantizar un movimiento continuo del carro con la potencia necesaria para que su movimiento sea fluido.

Teniendo ya el sistema fotovoltaico eficiente y los tamaños de los componentes que se escogieron para la implementación, se hace el diseño CAD de la estructura completa utilizando el software SolidWorks, para lograr verificar los tamaños, cantidad de material por utilizar y el peso de toda la estructura, ya que los motores deben cumplir con la especificación de torque suficiente para lograr el movimiento de la estructura. En la siguiente figura se muestra el diseño CAD realizado, teniendo en cuenta los tamaños de los componentes por utilizar.



**Figura 6.** Diseño CAD del vehículo fotovoltaico

Fuente: elaboración propia

Este diseño permite tener una proyección de cómo se verá el vehículo cuando se haga su construcción. Terminado dicho diseño y el ensamblaje de los componentes por utilizar, se hace con este mismo software un cálculo aproximado del peso final de la estructura, adjudicando a cada componente de la estructura el material del que está hecho; en este momento del diseño se debe tener en cuenta el material de la estructura metálica, por lo que se escoge el aluminio como componente, dadas sus características de peso versus resistencia, logrando así un peso bajo y una resistencia de suficiente para que el vehículo soporte los elementos electrónicos.

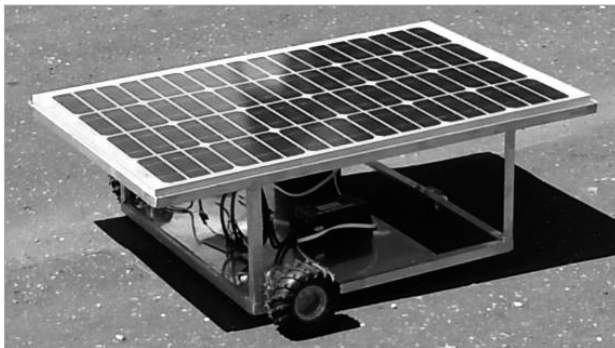
## Implementación del vehículo solar

Teniendo el diseño mecánico y electrónico, se comienza el proceso de construcción e implementación del circuito por utilizar, como primera medida se hace la construcción de la estructura metálica que soportará el panel y los demás componentes.

Para la construcción de esta estructura se corta el material, teniendo en cuenta las medidas que proporcionan los planos del diseño CAD de cada una de las piezas. Al cortar los trozos de material necesarios, se hace la unión de los mismos por medio de soldadura especial para aluminio logrando unir todos los componentes. Como esta soldadura produce unas protuberancias no deseadas en las uniones, se hace un proceso de pulido, logrando así un buen aspecto en cada una de las partes. Para crear una base de dimensiones suficientes que soporte los elementos, se utiliza una platina de aluminio unida con remaches tipo pop.

Teniendo la estructura metálica terminada, se hace el montaje de los elementos electrónicos en la misma y se hacen las conexiones de batería, panel, regulador y motores necesarias para que el sistema comience su funcionamiento mediante un botón de encendido.

El ensamblaje total de la estructura ubicando todos los componentes electrónicos y mecánicos necesarios para el funcionamiento puede verse en la siguiente imagen, donde se ve el vehículo terminado antes de comenzar las pruebas de funcionamiento.



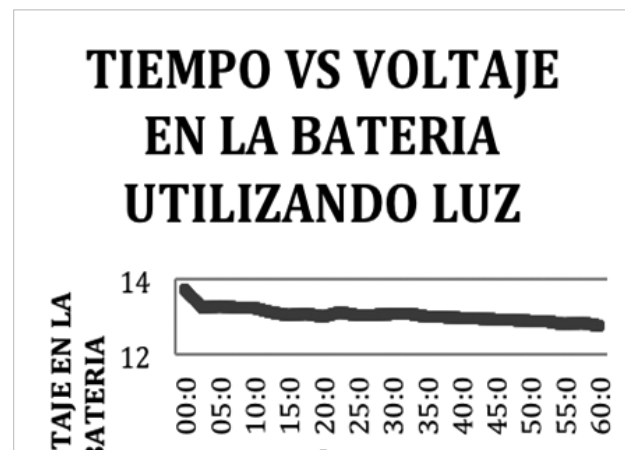
**Figura 7.** Vehículo solar terminado

Fuente: elaboración propia

## Pruebas del funcionamiento

Se realizaron dos pruebas de funcionamiento con el vehículo solar, pruebas necesarias para conocer la autonomía del vehículo cuando el panel recibe luz y cuando está en completa oscuridad. Estas pruebas permiten saber el tiempo de funcionamiento en los dos modos y analizar, dependiendo de los datos obtenidos, cuánto sería el tiempo total de funcionamiento del vehículo cuando este adquiere energía solar del ambiente.

La siguiente gráfica muestra los resultados de la primera prueba realizada al vehículo, en la cual se adquiere energía solar del ambiente mediante el panel y la batería realiza un comportamiento de carga y descarga dinámica dependiendo de la intensidad de la luz recibida y el voltaje que consumen los motores en su recorrido. Se debe tener en cuenta que el voltaje que entrega el panel varía dependiendo de la intensidad de luz del ambiente; de igual manera, se comporta el consumo de voltaje de los motores donde se observa un cambio de consumo dependiendo de la superficie por la cual transita el carro.



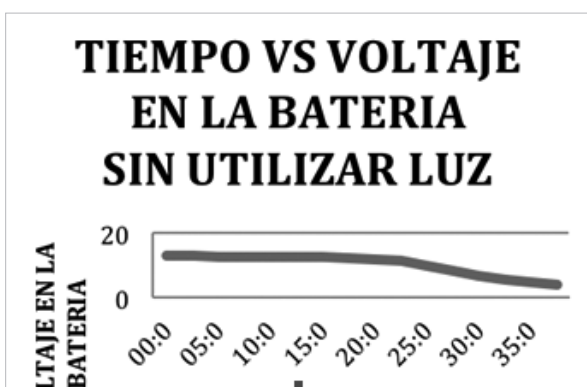
**Gráfica 1.** Resultados de la prueba de funcionamiento obteniendo luz solar del ambiente

Fuente: elaboración propia

En esta prueba, se ve que el voltaje en la batería baja lentamente, se toman datos cada 2,5 minutos durante una hora y se observa que el voltaje baja solo 0,95 voltios, en 0,94 kilómetros recorridos, lo que evidencia que el carro es capaz de transitar, en este medio, 9,71 kilómetros de trayecto hasta

que el voltaje en la batería sea insuficiente para mover el carro. Se debe tener en cuenta que la luz solar que incide en el panel es un factor primordial en velocidad de carga de la batería por lo que a mayor luminosidad, mayor será el recorrido del vehículo.

En la segunda prueba, el carro comienza el movimiento en la misma superficie de la prueba anterior, pero no se le suministra ninguna carga a la batería desactivando el panel solar. Esta prueba determina la autonomía del vehículo y los resultados arrojados se observan en la siguiente gráfica:



**Gráfica 2.** Resultados de la prueba de funcionamiento sin adquirir luz solar del ambiente

Fuente: elaboración propia

Realizando esta segunda prueba, se demuestra que la descarga de la batería es mucho más rápida y se puede ver que, después de aproximadamente 38 minutos de recorrido continuo, la batería presenta un voltaje de 3,9 voltios, que es incapaz de alimentar los motores para obtener desplazamiento, lo que arroja una conclusión muy importante sobre el tiempo máximo que el carro puede moverse sin adquirir ningún tipo de energía del ambiente más que la suministrada por la batería; en otras palabras, la autonomía de este vehículo es de 38 minutos de recorrido.

## Conclusiones

Realizando las pruebas de funcionamiento, se puede concluir que la autonomía del vehículo, cuando la carga de la batería está completa, es de 38 minutos de recorrido, lo que equivale a 0,588 kilómetros de trayecto.

La descarga de la batería depende en gran medida de la superficie en la cual se realice el recorrido del vehículo, ya que las protuberancias y baches que experimenta el carro en su andar significan un aumento o disminución en el voltaje que consumen los motores.

La cantidad de luminosidad que incide sobre el panel solar influye directamente en la velocidad de carga de la batería, ya que cambia la capacidad de generar energía y así mismo el tiempo de recorrido del vehículo.

Escoger de forma adecuada los materiales que se utilizaron para la construcción es una prenda de garantía para obtener los resultados que se obtuvieron; pues el bajo peso permite que la energía se conserve y se logren recorridos largos con buenas características de movimiento.

## Referencias bibliográficas

- Rodríguez, H. (2008). Development of solar Energy in Colombia and its Prospects. *Revista Ingeniería*.
- Pesena, Fundación. (1995). Evaluación de sistemas fotovoltaicos en Colombia. Bogotá: INEA (Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas).
- EAFIT (s.d.). Recuperado de [http://www.elmundo.com/portal/noticias/movilidad/eafit\\_y\\_epm\\_innovan\\_con\\_primavera.php](http://www.elmundo.com/portal/noticias/movilidad/eafit_y_epm_innovan_con_primavera.php)
- Carreño, E.P., Vacca, E.A. y Lugo, I. (2000). Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar. *Universidad Distrital de Colombia*.
- Jutglar, L. (2004). *Energía Solar. Energías Alternativas y Medio Ambiente*. Barcelona: Ediciones CEAC.
- Gasquet, H. (2004). *Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica*. (Manual Teórico Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos). México: Solartronic.
- Roldán, V. J. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Ediciones Paraninfo.
- Yro, H. (2009). *Análisis de las Componentes Armónicas de los Inversores Fotovoltaicos de Conexión a Red*. España: Universidad Carlos III de Madrid.