

Prototipo de un Sistema Fotovoltaico Autónomo

MOLINA-GARCÍA, Moisés†* y MELCHOR-HERNÁNDEZ, César.

Recibido Julio 8, 2016; Aceptado Septiembre 14, 2016

Resumen

La energía solar está constituida por la fracción de luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra en su superficie, dentro de los tipos de forma de energía se encuentra la solar fotovoltaica, la cual se considera energía limpia. En el presente artículo se muestra la construcción de un prototipo de un sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica, el cual consta de una estructura soporte para el panel solar con un ángulo de inclinación para que pueda recibir de mejor manera los rayos del sol, un controlador de carga el cual tiene como función principal de prevenir descargas y sobrecargas de la batería, además de tener diferentes funciones para el control de horas de encendido de algún aparato eléctrico; en este caso lámparas de iluminación, una batería recargable de 12 Volts que permite almacenar la energía que se genera por medio de los rayos del sol a través del panel solar, y por último un inversor de corriente el cual se encarga de adecuar las características de la energía demandada a corriente alterna para diferentes aplicaciones.

Energías Renovables, Energía Solar, Panel Solar, Sistema Fotovoltaico, Sistema de Iluminación, Prototipo

Abstract

Solar energy is made by the fraction of light that sun emits and that is intercepted by the earth's surface, among the types of energy it is found the solar photovoltaic, which is considered clean energy. In this article it is shown the construction of a prototype of an autonomous photovoltaic system for the production of electric energy, which consists of a support structure for the solar panel with an inclination angle so it can better receive sun rays, a charge controller which works mainly to prevent discharges and overcharges from the battery, besides having different functions for lighting control, a rechargeable 12 volts battery that allows to save the energy that is generated by sun rays through the solar panel, and a power inverter that is responsible of adapting the characteristics of the requested energy for different applications.

Renewable Energy, Solar Energy, Solar Panel, Photovoltaic System, Lighting System, Prototype

Citación: MOLINA-GARCÍA, Moisés y MELCHOR-HERNÁNDEZ, César. Prototipo de un Sistema Fotovoltaico Autónomo. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2016, 3-8: 9-18

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: monchi_moga@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La energía solar está constituida por la fracción de luz que emite el sol y que es interceptada en su superficie, por lo que se encuentra condicionada por factores de tipo astronómico y geográfico (posición relativa sol – tierra y lugar donde este ubicado el sistema) así como de tipo climatológico.

La denominada energía solar fotovoltaica en la cual se centra esta investigación y que consiste en el aprovechamiento de la radiación solar incidente sobre celdas fotovoltaicas, capaces de convertir la luz solar recibida en energía eléctrica, es una alternativa viable al uso de combustibles fosiles para la producción de electricidad debido a que no generan ningún tipo de residuo contaminante.

Los sistemas fotovoltaicos son accesibles para todo tipo de público, son de fácil instalación, sencillos de manejar y requieren de muy poco mantenimiento, con una vida útil de aproximadamente 15 años. A diferencia de otro tipo de energías renovables, como por ejemplo, la energía hidráulica o eólica, donde es necesario que haya ciertas características en el medio ambiente como son cuerpos de agua o corrientes de aire, la energía solar se encuentra en todas partes y en cualquier época del año.

Con los sistemas fotovoltaicos siempre se tiene energía debido a los rayos del sol, al menos que exista una falla del equipo, la energía puede ser utilizada sin pagar alguna cuota; en cambio con los sistemas interconectados a la red en ocasiones se carece de energía por las inclemencias del tiempo o por fallas técnicas y se debe pagar a una empresa generadora por utilizar la energía

Efecto fotovoltaico

Las celdas solares convierten directamente la luz solar en electricidad, debido al efecto fotovoltaico. La luz está compuesta de fotones con diferentes energías, cuando un fotón con energía suficiente choca con un átomo de algún material, por ejemplo el silicio, el átomo absorbe la energía del fotón y un electrón del material queda en un estado excitado por la energía absorbida, lo que permite en algunos casos, que se mueva libremente. Si en lugar de uno son varios los electrones que circulan libremente, puede producirse una corriente eléctrica bajo ciertas condiciones y por lo tanto, generarse electricidad a partir de energía solar.

Sistema fotovoltaico

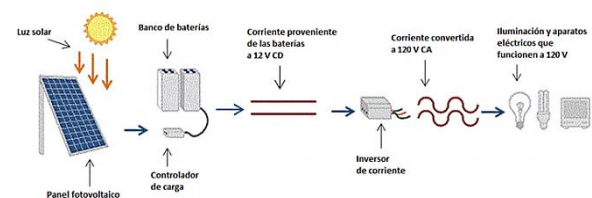


Figura 1 Diagrama eléctrico de sistema fotovoltaico.

En el sistema el panel fotovoltaico recibe la luz solar, la cual mediante el efecto fotovoltaico convierte en energía eléctrica. El controlador de carga, alimentado por el panel, regula el voltaje de carga en las baterías protegiéndolas de sobrecargas o sobredescargas y así su tiempo de vida es mayor; además de controlar los tiempos de consumo. Las baterías, a su vez, alimentan al inversor, el cual convierte el voltaje de 12 volts de corriente directa (CD) proporcionado por las baterías a 127 volts de corriente alterna (CA).

Desarrollo

En el ITSH se están desarrollando proyectos de ahorro de energía, debido a que se cuenta con la norma del sistema de gestión ambiental ISO 14001:2004, en el área de sistemas fotovoltaicos, se está trabajando para poder ser instalados en algunas áreas del plantel. Se están desarrollando prototipos con el fin de realizar análisis para poder conocer como se comportan y poder tener un conocimiento para poder ser instalados a escala mayor.

Componentes del sistema fotovoltaico

1. Celda fotovoltaica.

El componente principal para cualquier sistema fotovoltaico es el generador, que recibe el nombre de celda fotovoltaica. Esta se caracteriza por convertir directamente en energía eléctrica los fotones provenientes de la luz solar. Su funcionamiento se basa en el “efecto fotovoltaico”.

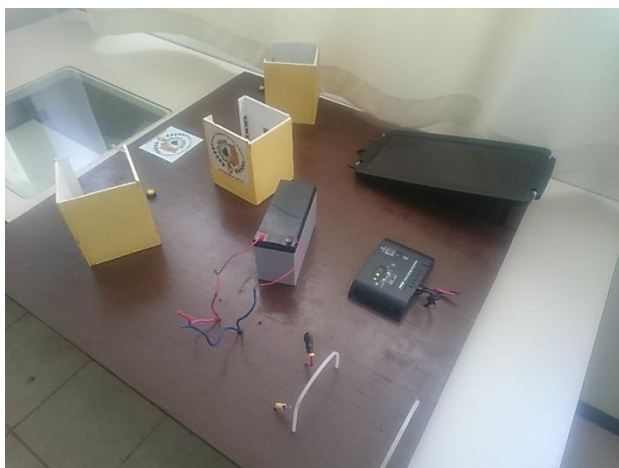


Figura 2 Partes que conforman el prototipo fotovoltaico.

Una celda fotovoltaica se comporta como un diodo; la parte expuesta a la radiación solar es la terminal N, y la parte situada en la zona sombría es la terminal P. Las terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo; la cara correspondiente a la zona P se encuentra completamente cubierta (no debe recibir rayos solares), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor.

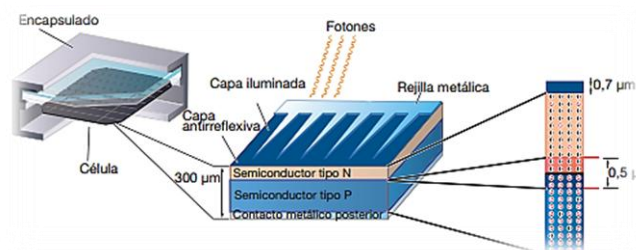


Figura 3 Estructura de una celda fotovoltaica. [1]

Cálculo del ángulo de inclinación de la celda fotovoltaica

La inclinación de la superficie óptima (β_{opt}) de un panel fotovoltaico se relaciona con la altitud (Φ) del sitio donde pretende ser ubicado.

La ecuación es la siguiente:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69\Phi \quad (1)$$

Resultando de esta ecuación la inclinación ideal para el panel fotovoltaico según el lugar donde piense ser instalado.

Control de carga

La función básica de este dispositivo es prevenir descargas y sobrecargas de la batería. Se emplea además para proteger las cargas en condiciones extremas de operación y brindar información al usuario. La función de regulación de carga idealmente debe depender directamente del estado de carga en la batería.

El controlador empleado atiende el voltaje de la batería

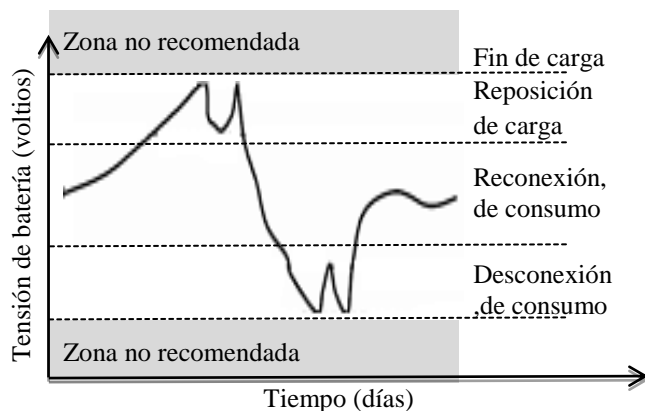


Figura 4 Variación del voltaje de una batería con un controlador de carga. [2]

Las características esenciales del controlador de carga son:

1. El voltaje de desconexión de las cargas de consumos. Corresponde al valor de carga de la batería por debajo del cual se interrumpe el suministro de electricidad a los consumos. En este caso 11.1V.

El voltaje final de carga. Es el valor de la tensión de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el panel fotovoltaico y la batería o se reduce gradualmente la corriente media entregada por el panel fotovoltaico. En este caso 12.6V.

El panel frontal del controlador que se utiliza cuenta con 3 LED que indican su funcionamiento, un display LED de 7 segmentos y los tornillos para hacer las conexiones de los cables.



Figura 5 Vista frontal del controlador de carga.

Los 3 LED indican cómo se encuentra funcionando el controlador. De izquierda a derecha se muestran el estado del panel fotovoltaico, el estado de la batería y el estado de la carga conectada.

| Sistema | Acción |
|--------------------|--|
| Panel fotovoltaico | Verde encendido, cuando el panel carga las baterías. Verde parpadeando, cuando el sistema tiene un sobre voltaje. |
| Batería | Verde encendido, cuando el nivel de la batería es el correcto. Verde parpadeando lento, cuando la batería está llena. Amarillo encendido, cuando el nivel de la batería es bajo. Rojo encendido, cuando la batería se desconecta. |
| Cargas | Verde encendido, cuando la salida está conectada. Rojo parpadeando lento, cuando está sobrecargada. Rojo parpadeando, cuando la carga está cortocircuitado. |

Tabla 1 Indicador LED del controlador de carga. [3]



Figura 6 Vista frontal del controlador de carga.

En la figura 6 se aprecian los LED del panel fotovoltaico y la batería encendidos.



Figura 7 Vista frontal del controlador de carga.

En la figura 7, se aprecian los LED de la batería y las cargas, encendidos.

El display LED muestra las opciones de control de luz del controlador de carga.

| Número | Modo | Opción |
|-----------|----------|---|
| Número 0 | Número 0 | Día y noche, luz siempre encendida |
| Número 1 | Número 1 | Luz encendida por la noche durante 1 horas |
| Número 2 | Número 2 | Luz encendida por la noche durante 2 horas |
| Número 3 | Número 3 | Luz encendida por la noche durante 3 horas |
| Número 4 | Número 4 | Luz encendida por la noche durante 4 horas |
| Número 5 | Número 5 | Luz encendida por la noche durante 5 horas |
| Número 6 | Número 6 | Luz encendida por la noche durante 6 horas |
| Número 7 | Número 7 | Luz encendida por la noche durante 7 horas |
| Número 8 | Número 8 | Luz encendida por la noche durante 8 horas |
| Número 9 | Número 9 | Luz encendida por la noche durante 9 horas |
| Número 10 | Número 0 | Luz encendida por la noche durante 10 horas |
| Número 11 | Número 1 | Luz encendida por la noche durante 11 horas |
| Número 12 | Número 2 | Luz encendida por la noche durante 12 horas |
| Número 13 | Número 3 | Luz encendida por la noche durante 13 horas |
| Número 14 | Número 4 | Luz encendida por la noche durante 14 horas |
| Número 15 | Número 5 | Luz encendida por la noche durante 15 horas |
| Número 16 | Número 6 | Luz apagada |
| Número 17 | Número 7 | Modo de prueba. Luz encendida cuando no se detecta luz. Luz apagada cuando se detecta luz |

Tabla 2 Opciones de control de luz. [3]

3. Sistema de almacenamiento.

Está formado por un conjunto de baterías, generalmente de plomo-ácido. Estos son dispositivos capaces de transformar la energía química en energía eléctrica. Almacenan la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación.

Una de las características más importante de un batería en una instalación fotovoltaica es el ciclado. El ciclado diario se refiere a que la batería se carga en el día y se descarga en la noche. Superpuesto a este ciclo diario está el ciclo estacional que se asocia a periodos de reducida incidencia de radiación. Estos ciclos conjuntamente con otros parámetros de operación como temperatura ambiente, corriente, inciden sobre la vida útil de la batería y sus requisitos de mantenimiento.

Los principales parámetros que definen el funcionamiento de una batería en un sistema fotovoltaico son:

1. El máximo valor de corriente que puede entregar a una carga fija, en forma continua, durante un número específico de horas de descarga.
2. Capacidad de almacenamiento de energía.
3. Profundidad de descarga máxima
4. La vida útil.

Los parámetros utilizados en la prueba son corriente y tiempo, la capacidad de la batería se define en Amperes-hora (Ah). A partir de este valor puede determinarse la corriente máxima para un determinado régimen de descarga.

La batería utilizada en el proyecto es de la marca RITAR® modelo RT1270, cuyas características principales son:

| | |
|---------------------------------------|---|
| Celdas por unidad | 6 |
| Voltaje por unidad | 12 V |
| Capacidad | 7Ah |
| Peso | Aprox. 2.0 Kg |
| Corriente máxima de descarga | 70 A (5 seg) |
| Resistencia interna | Aprox. 30mΩ |
| Rango normal de temperatura | 25°C ±5°C |
| Voltaje en fase de carga | 13.7-13.9 VDC a 25°C |
| Corriente máxima recomendada de carga | 2.1 A |
| Autodescarga | >3% por mes a 25°C |
| Terminal | Faston Tab 187 (F1)/ Faston Tab 250 (F2) |
| Material del contenedor | A.B.S. (UL94-HB), Resistencia UL94-V2 |

Tabla 3 Características de la batería RT1270.

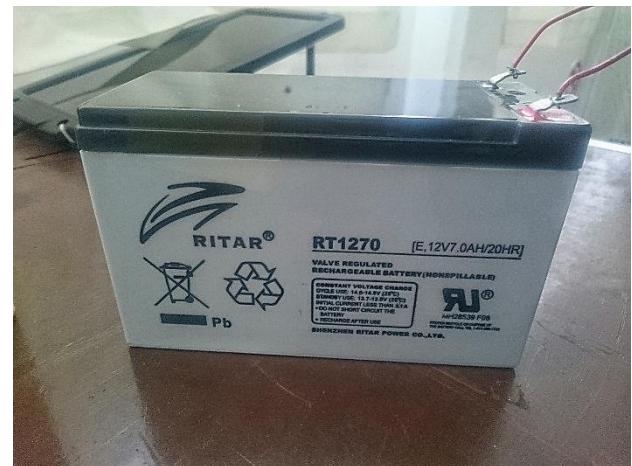


Figura 8 Batería RITAR modelo RT1270.

Con una potencia consumida de 30 Watts, se puede apreciar la siguiente gráfica de descarga de la batería en un lapso de 60 minutos. Se utilizó un multímetro marca Truper modelo MUT-33, que midiendo tensión en corriente directa tiene una precisión de ±0.8%,

y la medición de voltaje era realizada cada 5 minutos.

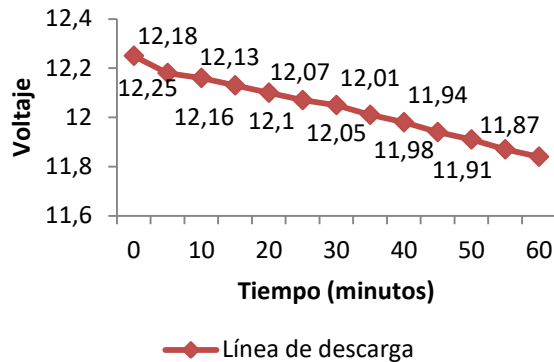


Gráfico 1 Rendimiento de la carga en la batería.

Se puede apreciar que la descarga de la batería se realiza de forma lineal si la potencia requerida es constante.

4. Inversor de corriente

Su función es adecuar las características de la energía generada a las demandadas por las aplicaciones de la instalación. Un sistema de conmutación electrónico, llamado inversor, transforma la corriente continua de las baterías (12V) en corriente alterna que es utilizada en los hogares (120V-60Hz)

Las principales características que deben considerarse para la selección del inversor son:

1. La tensión de entrada.
2. Máxima potencia que puede manejar.
3. Margen de sobrecarga permisible.
4. Potencia, tensión y forma de la onda de la salida
5. Frecuencia de trabajo y máximo error de frecuencia.

6. Eficiencia de transformación (generalmente cercana al 85%).

Para seleccionar el inversor, es necesario saber que en el mercado se pueden encontrar inversores de onda sinusoidal pura (PWM) y de onda sinusoidal modificada (MSW).

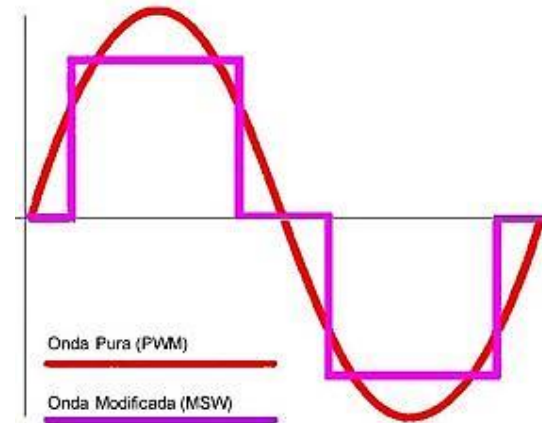


Figura 9 Diferencia entre una onda sinusoidal pura y onda sinusoidal modificada.

Los inversores de onda sinusoidal modificada (MSW) pueden alimentar a la mayoría de electrodomésticos actuales, sin embargo, pueden ocasionar problemas a aparatos con cargas inductivas, como son los motores. Los inversores de onda sinusoidal pura (PWM), imitan la forma de onda que provee la red eléctrica y en consecuencia es la mejor opción al alimentar los equipos eléctricos y electrónicos actuales.

El inversor utilizado es un Xtron® PI-200 de onda sinusoidal modificada (MSW) de 200W de potencia continua. Se decidió implementar este por a su reducido costo, tamaño y debido a que sus características eléctricas son las indicadas para el sistema.



Figura 10 Inversor Xtron® PI-200. [4]

| | |
|-------------------------------|-----------------------|
| Cantidad de contactos 120 VCA | 2 |
| Tensión de entrada | 12 VDC (11 VDC~15VDC) |
| Tensión de salida | 115-120 VCA |
| Potencia continua | 200 W |
| Pico de potencia | 400 W |
| Frecuencia de salida | 50 Hz-60 Hz +/-3 Hz |
| Corriente en espera | <0.5 A |
| Eficacia | >85% |
| Fusible | 25 A (tipo clavija) |

Tabla 4 Características eléctricas de inversor PI-200. [4]

| | |
|--------------------------|--|
| Marca | Xtron |
| Modelo | PI-200 |
| Conector de alimentación | <ul style="list-style-type: none"> • Plug encendedor • Jack encendedor (caimanes rojo y negro) |
| Material | Metálico |
| Color | Negro |
| Dimensiones | 12.8 cm x 13.2 cm x 5.2 cm |

Tabla 5 Características físicas de inversor PI-200. [4]

Algunas de las ventajas de los sistemas fotovoltaicos son: bajos costos operacionales, se requiere poco mantenimiento, beneficios ambientales al no quemar combustibles, modularidad se puede cambiar de lugar o agrandar, se puede programar a las características del usuario y bajos costos de construcción en cuanto a cableado y en lugares lejanos no se necesita de contratos con empresas generadoras de energía.

Metodología

Diseño del prototipo

Se realiza una maqueta simulando la iluminación interna de 3 hogares por medio de leds conectados en un arreglo con apagador individual alimentados directamente del control de carga.



Figura 11 Vista frontal de los hogares que se simulan.



Figura 12 Vista superior de uno de los hogares que se simulan.

Para la batería y el inversor se utiliza cable calibre 14, que tiene una ampacidad de 25 A. Para el cableado de los led es utilizado cable calibre 22 con una ampacidad de 5 A.



Figura 13 Vista frontal del prototipo.

Resultados

Las pruebas fueron realizadas a las 14:20 horas.

El controlador de carga está en un modo de operación en el cual cuando detecta luz solar desconecta las cargas, lo que quiere decir que desconecta el inversor y el voltaje de salida es cero. Mientras que cuando se corta el suministro de luz solar, de inmediato vuelve a encender al inversor y este trabaja proporcionando 127 VCA.

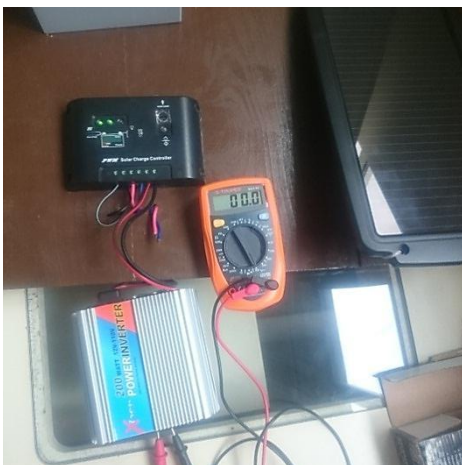


Figura 2 Incidencia de luz sobre la celda.

En la Figura 14 se observa que al incidir luz solar sobre la celda, el inversor se encuentra desconectado; no se registra ningún voltaje.

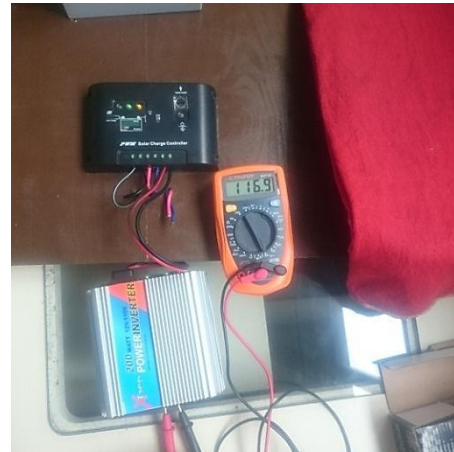


Figura 3 Generación de voltaje.

Con los datos obtenidos se demuestra que el sistema si entra en función. En el momento que el controlador detecta que no hay luz solar (en la noche), alimenta al inversor; en la figura 15 se aprecian 120V de corriente alterna. Una vez programado con el controlador se tendrá la iluminación necesaria por parte de los leds en el tiempo requerido.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico Superior de Huatusco por prestar sus instalaciones y el material necesario para la realización del prototipo. Al Ing. Francisco Javier Fuentes Ramos encargado de laboratorio. Al Ing. Axel Pípper Ríos, por apoyar en la redacción. Al Ing. Omar Bello Cruz y el Ing. Jesús Arturo Vázquez Trujillo por la donación del equipo.

Conclusiones

Se puede apreciar que con la potencia utilizada de 30 Watts que es la generada por el panel el tiempo de descarga del sistema es adecuado, considerando que un foco tipo LED consume comunmente 9 Watts de potencia, aproximadamente se pueden conectar 3 focos y tienen un rendimiento de más de una hora con la carga completa de la batería.

El sistema puede ser mejorado si se utiliza una batería de mayor capacidad de almacenaje, lo cual prolongaría el tiempo útil de los leds. Así también incrementar la potencia del inversor que se desea utilizar para que de esta forma se pueda alimentar más leds a la vez.

Referencias

Díaz, T., & Carmona, G. (s.f.). *Técnico en Instalaciones Eléctricas y Automáticas*. Mc Graw-Hill.

Soluciones Energéticas S.A. (05 de 01 de 2002).
Obtenido de <http://www.solener.com/>.

PWM. (02 de 01 de 2015). *Instruction Manual. Solar Charge Controller*, pág. 4.