

# Boletín 16

## PANELES SOLARES REGULADORES DE CARGA

Boletín técnico N° 16  
PARTE 1

Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

# PANELES SOLARES. REGULADOR DE CARGA

## PARTE 1

Por:

**Ing. Gregor Rojas**  
GERENTE NACIONAL  
MERCADERO Y VENTAS  
División materiales eléctricos

### 1. Generalidades.

Las baterías son uno de los elementos más costoso en las instalaciones solares por tal motivo es de suma importancia conocer en detalle cómo son y cuál es su ciclo de carga y descarga, así como los elementos que contribuirán para mantener su vida útil el mayor tiempo posible.

En este boletín abordaremos uno de los componentes que más contribuye en la vida útil de las baterías solares, nos referimos al regulador de carga. Veremos los conceptos básicos, los tipos de reguladores, sus funciones, como elegirlos y cuáles son sus diferencias, además trataremos los reguladores series y paralelos.

### 2. Regulador de carga solar.

Las Instalaciones Fotovoltaicas Autónomas o Aisladas necesitan de un sistema de baterías o acumuladores para almacenar la energía producida en excedente cuando tenemos Sol y utilizarla posteriormente cuando los paneles no son capaces de producir la energía necesaria que demanda la instalación.

El control de este proceso de carga y descarga de las baterías es responsabilidad de un dispositivo denominado regulador de carga solar, el cual es fundamental para proteger la vida útil de las baterías y mejorar el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

El regulador de carga solar es un dispositivo electrónico que se instala entre el campo fotovoltaico y el banco de baterías y se encarga de controlar el flujo de corriente que circula entre ambos equipos.

El control del flujo de energía se efectúa a través de controlar los parámetros de la corriente y el voltaje que se suministra a la batería. Por supuesto que este flujo de energía dependerá del estado de carga en que se encuentren las baterías y de la energía generada por los paneles solares.

El regulador controla de manera continua el estado de carga en las baterías para hacer el cargado recomendable y así alargar su vida útil, es importante tener en cuenta que las baterías precisan varias etapas para su carga que varían en parámetros de voltaje e intensidad en función del modelo que se utilice.

En la figura 1 se puede apreciar un esquema teórico de la interconexión del regulador solar, como se observa está entre los paneles solares y el banco de baterías. Tenga siempre presente que el inversor solar siempre deberá estar conectado a la salida de las baterías y no al regulador.

Recuerde que el regulador es únicamente para controlar el ciclo de la carga de las baterías evitando sobrecargas, mientras que el inversor es el comisionado de controlar que las mismas no tengan una descarga profunda.



Figura 1. Conexión del regulador de carga solar

### 3. Funciones del regulador de carga solar.

Es un dispositivo electrónico regulador del voltaje y la corriente que cumple tres funciones esenciales:

#### 3.1 Proteger la batería contra la sobrecarga o descarga profunda.

En el caso que este cargada completamente la batería el regulador interrumpe la conexión con los paneles solares para evitar que se sobrecargen las baterías.

A la inversa, cuando su carga desciende por debajo de cierto porcentaje (profundidad de descarga o DOD), corta la conexión con la red de consumo para evitar que se descargue por debajo de la profundidad de descarga marcada en el diseño de la instalación.

#### 3.2 Proteger a la batería contra la sobrevoltaje.

A la entrada de las baterías pueden producirse sobrevoltajes, por ejemplo cuando desciende mucho la temperatura de trabajo de las celdas solares.

El regulador protege a las baterías de estas sobrevoltajes que podrían dañarlas. Además los módulos solares suelen tener voltajes nominales mayores que las baterías para asegurar la carga correcta de la misma.

#### 3.3 Evitar la descarga nocturna de las baterías sobre los generadores fotovoltaicos.

El regulador detecta que es de noche midiendo el voltaje de entrada de los paneles fotovoltaicos.

Cuando detecta que es de noche desconecta la entrada para evitar la circulación de corriente desde la batería hacia los paneles fotovoltaicos. Como solución básica, emplea un diodo que evita la circulación de corriente inversa.

### 4. Estados de carga en baterías solares.

Existen cuatro estados de carga posibles:

1. **Etapa BULK:** la batería está descargada y toda la corriente producida en los paneles fotovoltaicos es proveída a las baterías, incrementándose el voltaje en la batería a medida que ésta se va cargando.
2. **Etapa ABSORCIÓN:** cuando el voltaje de la batería alcanza el voltaje de absorción (en las baterías de plomo-ácido abiertas 14,4V y en las baterías AGM y en las baterías GEL 14,1V), el regulador de carga solar mantiene el voltaje ligeramente por debajo de dicho valor y va reduciendo la corriente hasta que la batería está prácticamente cargada.
3. **Etapa FLOTACIÓN:** en esta fase el voltaje se reduce al voltaje de flotación que normalmente es de 13,5 V y la corriente suministrada se reduce hasta que la batería se cargue completamente.
4. **Etapa ECUALIZACION:** tiene como fin el ascenso del gas dentro del ácido electrolito haciendo que la disolución llegue a ser homogénea; por esto también se denomina etapa de gaseo. De esta forma evitamos que en la parte inferior no haya una densidad mayor que pueda provocar la sulfatación de las placas. Tras esta etapa conseguimos que todas las celdas tengan el mismo voltaje. El regulador puede realizar esta etapa cada cierto periodo de tiempo.

Toda la energía que se genere mayor a la energía que es posible inyectar en la batería se pierde por efecto Joule (calor) en el regulador. Por tanto, el regulador de carga solar es un dispositivo que protege la batería contra sobrecargas, llenándola según le resulte más conveniente en cada momento.

Generalmente, los reguladores solares necesitan programarse para indicarle el tipo de baterías, la

capacidad de las mismas y los voltajes de funcionamiento.

## 5. Tipos de reguladores de carga

Los reguladores de carga pueden ser de dos tipos el PWM y el MPPT.

### 5.1 Regulador de carga PWM.

La definición de los reguladores PWM procede de las siglas en inglés Pulse Width Modulation que traducido significa Ancho de Pulso Modulado.

Como hemos indicado anteriormente básicamente tendríamos los paneles solares conectados a un banco de baterías y ubicado entre ambas partes tendríamos el regulador PWM y su funcionamiento sería similar al de un interruptor que abre y cierra en función del voltaje que tenga la batería. Si la batería tiene suficiente carga el interruptor estará en la posición abierto, cuando baja el voltaje el interruptor se cerrará para que se inicie el ciclo de carga de la batería. Son dos pulsos que varían de ancho y por eso se denominan PWM.

Cuando se cierra el interruptor con lo cual se hace que comience a cargar la batería, estamos haciendo que los paneles solares operen al voltaje que presente la batería para ese momento.

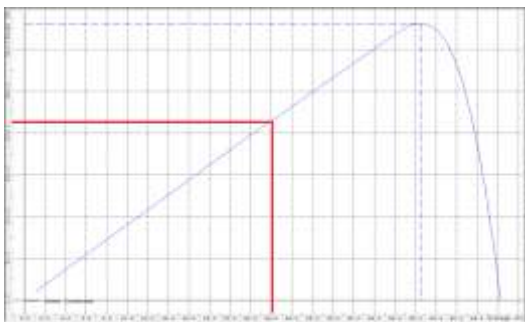


Figura 2. Grafica voltaje vs potencia del panel

La línea punteada identifica el punto de trabajo de máxima potencia donde estarían los 320W que genera el panel solar y centrado en un voltaje  $V_x$ . La pérdida de potencia que se observa podría alcanzar hasta un 30%.

Si los paneles solares trabajan a 24V hacemos las dos líneas rojas que se aprecian en la figura 2 en la gráfica y vemos que el panel estaría generando alrededor de 215W una cifra inferior a la que realmente puede funcionar el panel. En tal sentido, con este regulador, cada vez que conectamos a la batería los paneles no se aprovechará toda la potencia que puede generar los mismos.

Este regulador funciona mediante una modulación por pulsos, operando únicamente con el corte del paso de energía entre los paneles solares y las baterías cuando estas están cargadas totalmente, en la figura 3 se observa a este regulador PWM.

Para que este regulador opere correctamente se debe cumplir que el voltaje nominal de los paneles solares y en las baterías sea el mismo, es decir, si las baterías son de 12V, es condición sine qua non que los paneles también sean de ese voltaje.

Se hace trabajar al panel solar al voltaje que tenga la batería en esa etapa de carga, un punto de trabajo que no coincide con la máxima intensidad que puede aportar el panel, por ello no aprovechan toda la producción solar y son más económicos.

Debido a que el voltaje de las baterías debe ser el mismo que el que aportan los paneles solares, de requerirse mayor potencia de carga podremos conectar más paneles del mismo voltaje en paralelo para no sumar voltaje.



Figura 3. Regulador de carga solar tipo PWM

Con el regulador de carga PWM, los módulos trabajan al voltaje que esté cargada la batería, lo cual se traduce en pérdidas de energía. En cuanto la batería llega al voltaje señalado, se inicia la interrupción entre los paneles solares y las baterías para evitar una sobrecarga lo que se conoce como fase de absorción, no obstante, se produce una caída del rendimiento energético.

## 5.2 Regulador de carga MPPT.

La definición de los reguladores MPPT procede de las siglas en inglés Maximum Power Point Tracker que significa Seguidor de Punto de Máxima Potencia. También denominados maximizadores, dado que su funcionamiento aprovecha la máxima producción del panel solar para la carga de la batería. Además de cortar el paso de corriente hacia las baterías al estar cargadas, este tipo de regulador recoge la máxima producción de los paneles solares haciendo que operen en su punto máximo. En la figura 4 se puede apreciar un regulador de carga solar tipo MPPT.

Un regulador MPPT funciona como un convertidor de corriente continua a corriente continua (DC/DC) el cual siempre mantiene el panel operando en su punto de máxima potencia fijando el voltaje equivalente y convirtiendo la potencia del módulo a la misma potencia en un voltaje inferior incrementando la corriente, es decir, la misma potencia a menor voltaje con mayor amperaje.

Estos reguladores de carga tipo MPPT facilitan el uso de paneles solares que seguramente no estaban destinados a la aplicación que se esperaba. Generalmente, en instalaciones a un voltaje de 12V se emplean paneles de 36 células y para los de 24V paneles de 72 células, no obstante, en el mercado coexisten paneles de distintos números de células, como los paneles de 60 células que por norma general no se manejarían en ninguna de estas instalaciones, sin embargo, gracias a los reguladores tipo MPPT se podría emplear este panel en instalaciones a 12V.

Por otra parte, ofrece una mayor flexibilidad en la configuración de la instalación de los paneles, permitiendo ensamblar series de paneles. Al permitir operar con voltajes mayores que el de la batería, disminuyendo los amperios se reducen también las pérdidas en la parte DC del sistema.

Internamente ajusta el voltaje, que siempre es superior al requerido por la batería al voltaje necesario con una gran eficiencia en la conversión, ganando intensidad conservando la potencia total de producción. Estos reguladores pueden operar con paneles y baterías del mismo voltaje nominal, su trabajo es más eficiente si incrementamos el voltaje de los paneles solares.



Figura 4. Regulador de carga solar tipo MPPT

## 6. Elección entre regulador PWM o MPPT.

Los reguladores solares con la tecnología PWM eran muy sencillos, en un sistema de baterías de 12V se usaba un panel solar de "12V", teniendo cuidado que la corriente máxima del panel solar no superara la corriente máxima del regulador ni la del funcionamiento del sistema.

Los reguladores solares tipo PWM hacen que el sistema pierda una cantidad de energía respecto a los del tipo MPPT. En la figura 5 se puede apreciar en la gráfica como la zona del tipo MPP en azul ( $V_{mpp} * I_{mpp}$ ) alcanza un 30% más que el área del PWM ( $V_{bat} * \sim I_{sc}$ ) dentro de la curva IV.

Como se aprecia en la figura 5, si se requiere obtener específicamente captación fotovoltaica el regulador tipo MPPT obtendrá hasta un 30% de eficiencia reduciendo los costes del sistema, gracias que obtiene la misma energía produciendo con menos generación FV.

Cuando el tamaño de los paneles solares ha sido establecido y no pueden ser cambiados, la utilización del regulador tipo MPPT es una ventaja, ya que el rendimiento ahora será mayor en el mismo sistema al utilizar dicho MPPT.



Es importante tener presente que con el regulador solar tipo MPPT podemos instalar paneles solares en serie, así como en paralelo, lo que también aumentará la potencia de entrada y la flexibilidad. Gracias a la potencia de salida o limitador de corriente, la potencia de salida nunca excederá el máximo de la del controlador.

Esta característica hace que el regulador de carga tipo MPPT sea más conveniente a la hora de una elección.

Otra ventaja del regulador tipo MPPT es que se pueden adicionar posteriormente más paneles solares del mismo tipo que los que ya hay en paralelo sin la necesidad de cambiar el regulador de carga MPPT, con lo cual se reduce el costo al mínimo y se incrementa el rendimiento.

Un regulador tipo PWM ofrece varios voltajes de operación 12, 24 y 48 voltios e intensidad de 10, 20, y 30 amperios. Un sistema a 12V solo lo podremos cargar con paneles de ese mismo voltaje y no debemos sobrepasar la intensidad que producen los paneles que están conectados en paralelo con la potencia nominal que nos indica el regulador.

Se debe tener en cuenta que hay paneles solares que solo realizarán una carga correcta de baterías si empleamos un regulador tipo MPPT y los conectamos por parejas o tríos ya que en determinadas condiciones no producirán voltaje suficiente para la carga completa de la batería, estropeándola prematuramente.

El regulador tipo MPPT resulta más provechoso, ya que se le acoplan más paneles fotovoltaicos que no podría ser hecho con un regulador tipo PWM por incompatibilidad de voltajes y éstos rinden más. No obstante, si se requiere trabajar con paneles solares de baja potencia, el regulador de carga tipo PWM es una buena opción económica.

## 7. Diferencias entre un regulador PWM y MPPT.

A continuación damos las diferencias más notables entre estos dos sistemas de regulación:

- El voltaje de operación de los paneles solares debe ser el mismo que el de las baterías en todo momento cuando se usa el regulador solar tipo PWM, mientras que en el regulador solar tipo MPPT este segrega el voltaje de operación de los paneles solares respecto al voltaje de la batería, permitiendo situar el voltaje de los paneles solares al punto óptimo obteniendo máxima potencia en cada momento.
- El regulador solar tipo MPPT es mucho más costoso que un regulador solar tipo PWM

- El regulador solar tipo PWM se emplea con paneles solares de 12V y 24V, mientras que en el regulador solar tipo MPPT es requerido para paneles solares de 60 células.
- En los reguladores solares tipo PWM no se puede superar la máxima corriente admisible por el regulador, mientras que en el regulador solar tipo MPPT no se puede superar el máximo voltaje admitido por el regulador.
- En el regulador solar tipo PWM la corriente de carga es la misma que la corriente de los paneles fotovoltaica, mientras que en el regulador solar tipo MPPT la corriente de carga es diferente a la corriente de los paneles fotovoltaicos.
- Otra diferencia respecto al PWM, es que el regulador tipo MPPT incluye un controlador del punto de máxima y un transformador DC-DC (que convierte la corriente continua de alto voltaje a corriente continua de más bajo voltaje a la hora de la carga de la batería).

## 8. Reguladores de carga serie o paralelo.

Según la forma de conmutación con la batería o la conexión interna en el regulador para unir paneles solares a la batería existen dos tipos de sistemas de regulación a conocer:

### 8.1 Reguladores en Serie.

Son utilizados donde se incorporan interruptores, electromecánicos o electrónicos, que desconectan el generador cuando el voltaje se excede de un determinado nivel de referencia.

En periodos nocturnos, el circuito de carga permanece abierto, de forma de evitar que las baterías sean descargadas por el panel

solar. Este tipo de conexión de reguladores en serie es el más utilizado en todas las instalaciones actualmente. En la figura 6 se puede observar este regulador donde el control de carga se realiza a través de interruptores internos C1 y C2.

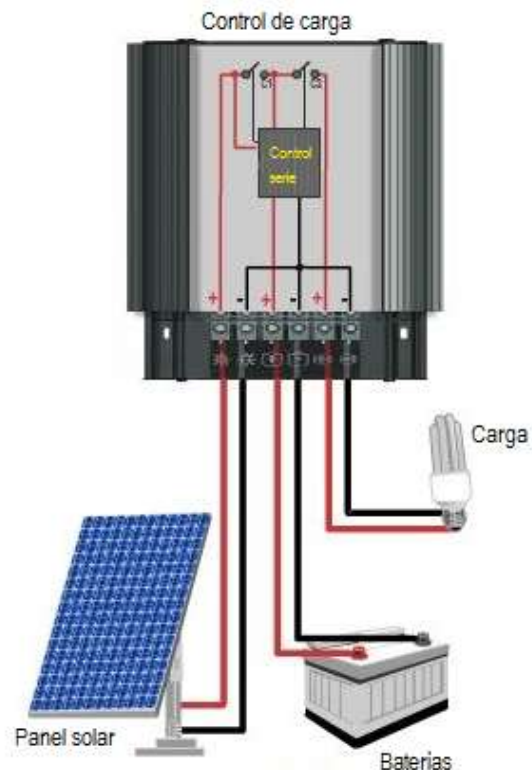


Figura 6. Regulador serie

### 8.2 Reguladores en paralelo.

Su aplicación está recomendada donde el exceso de voltaje es controlado a través de la derivación de la corriente a un circuito que disipa la energía sobrante.

En la figura 7 se puede apreciar una resistencia R por donde se drena la corriente excesiva. Los reguladores tipo paralelo han de disipar toda la corriente de salida del panel solar cuando el sistema de baterías haya alcanzado el estado de carga completa.

Como este sistema genera pérdidas de potencia y reduce el valor máximo del voltaje de carga, esto hace que los reguladores de carga solar paralelos sean menos eficientes en contraposición a los reguladores de carga serie, esto motiva a que sean menos empleados y estén en desuso actualmente, el regulador de carga paralelo solo se usa para instalaciones de pequeña potencia.

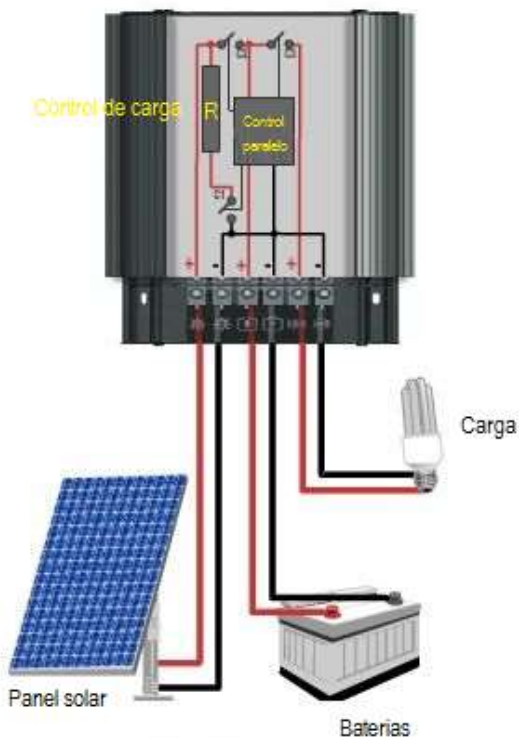


Figura 7. Regulador paralelo

Lo ideal es seleccionar reguladores serie del tipo MPPT que posean intensidad de carga igual a la suma de las intensidades de cortocircuito de las ramas en paralelo de paneles solares instalados.

### 9. Instalación del regulador de carga.

Al momento de instalar y conectar un regulador de carga solar, se deben seguir los siguientes pasos en el orden dispuesto:

- Asegúrese de que la batería y el panel solar estén desconectados de los cables que va a utilizar para conectar en el regulador.
- El contacto entre los cables positivo y negativo provocará un cortocircuito si éstos están conectados a la batería o al panel.
- Una vez que se conecten al regulador podrán conectar los otros extremos del cableado a la batería y al panel en este mismo orden.
- Asegurarse que el lugar de instalación cumpla con los mínimos requerimientos de seguridad.
- Que el voltaje de la batería sea el mismo que el panel y ambos sean compatibles con el regulador.

En la figura 8 se puede observar una instalación básica de un regulador de carga solar. En caso de requerirse una desinstalación se deberá proceder de manera análoga, pero en orden inverso.



Figura 8. Instalación de regulador de carga

En el próximo boletín técnico continuaremos con el cálculo del regulador solar.