

Boletín 17

PANELES SOLARES REGULADORES DE CARGA

Boletín técnico N°17
PARTE 2

Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

PANELES SOLARES. REGULADOR DE CARGA

PARTE 2

Por:

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

1. Generalidades.

El regulador solar o regulador de carga es un dispositivo encargado de controlar la entrada a las baterías de la energía generada por los paneles solares. Permite alargar la vida de las baterías y obtener información del funcionamiento de la instalación.

Los reguladores tienen sus particularidades, para el cálculo del regulador PWM donde solamente necesitamos conocer la corriente de carga I_{mp} del conjunto de paneles solares para seleccionar el regulador. Para el cálculo de un regulador solar MPPT necesitamos conocer mucha más información.

2. Funcionamiento del regulador solar MPPT.

El regulador solar MPPT es capaz de separar el voltaje de operación de los paneles solares del voltaje de las baterías. De esta forma, el seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) podrá situar el voltaje de trabajo del conjunto de paneles solares en el valor óptimo para obtener la máxima producción posible.

- Los paneles solares de 12V están formados por 36 células conectadas en serie y su punto de máxima potencia es a un voltaje de trabajo V_{mp} de 18V aproximadamente.

- Los paneles solares de 24V están formados por 72 células conectadas en serie y su punto de máxima potencia es a un voltaje de trabajo V_{mp} cercano a 37 V.
- Los paneles solares de 60 células conectadas en serie tienen su punto de máxima potencia a un voltaje de trabajo V_{mp} alrededor de 30 V.

En un regulador solar PWM cuando un panel solar de 12V se conecta a una batería de 12V, el voltaje de operación del conjunto lo marcará la batería. Este voltaje de batería variará desde los 12V cuando esté descargada, hasta los 14,4V durante la fase de carga. Por lo tanto, el panel solar trabajará normalmente fuera de los 18V donde obtiene el máximo rendimiento.

En cambio con el regulador solar MPPT, siempre que el voltaje de los paneles solares sea al menos 2v superior a la de la batería, el seguidor del punto de máxima potencia buscará continuamente el voltaje donde el panel solar produce más energía y luego transformará esta energía mediante un convertidor DC/DC al voltaje requerido para cargar la batería.

3. Datos a conocer del regulador solar MPPT.

- Máxima corriente de carga.
Viene indicada generalmente en la propia identificación del regulador solar. También podemos ver la ficha de características técnicas del fabricante.
- Máximo voltaje de circuito abierto permitido ($V_{cc \text{ máx}}$).
Puede consultarse la ficha técnica del fabricante de los paneles solares.
- Potencia del panel solar.
Viene indicada en el nombre del panel
- Voltaje a máxima potencia (V_{mp}).

Voltaje de operación del panel solar cuando está funcionando.

- Voltaje de circuito abierto (Voc).
Es el máximo voltaje que puede alcanzar el panel cuando no hay paso de corriente.
- Máxima variación de Voc respecto a la temperatura.
El voltaje del panel solar puede aumentar hasta 3V a temperaturas muy frías (-10°C)
- La potencia total de los paneles solares.
Es la potencia de cada panel multiplicado por la cantidad total de paneles solares.
- Voltaje de operación del sistema solar.
Es el voltaje de la batería y del inversor que pueden ser de 12V, 24V o 48V.

4. Limitaciones de configuración.

- No se pueden conectar en serie paneles solares con diferente número de células solares.
- Las cadenas o string de paneles solares deben ser de igual longitud. Es decir, no puede haber en paralelo una cadena de 2 paneles solares con una de 3 paneles.
- El voltaje del grupo de paneles solares debe ser al menos 2V superior al voltaje de la batería en todo momento. Debemos tener en cuenta las variaciones de voltaje de la batería dependiendo del estado de carga. Generalmente en baterías de 12V la variación de voltaje esta entre 11V y 14,4V, en baterías de 24V van entre 23V y 28,8V.
- No se puede exceder el voltaje máximo de entrada del regulador solar bajo ningún concepto. Se tiene que tener en cuenta el voltaje Voc de los paneles solares y la subida de voltaje por baja temperatura.

- La máxima corriente de carga del regulador solar puede superarse (dentro de un límite). El regulador MPPT limitará la corriente al máximo permitido. Sin embargo, en un regulador solar PMW esta corriente nunca podrá excederse.

5. Cálculo del regulador solar MPPT

Para realizar este cálculo, dividiremos la potencia total de paneles solares por el voltaje de la batería para conocer la corriente máxima de carga de acuerdo a la fórmula:

$$P_{tot} / V_{bat} = I_{m\acute{a}x}$$

Ejemplo:

Supongamos que disponemos un sistema solar con baterías de 24V y 6 paneles solares de 240W de 60 células.

Potencia total instalada:

$$P_{total} = 6 \times 240W = 1440Wp$$
$$1440Wp / 24V = 60A.$$

Necesitaremos un regulador solar MPPT de 60 amperios.

6. Configuración del regulador solar MPPT

Una vez conocemos que necesitamos un regulador de 60 amperios, consultamos la ficha técnica del fabricante para ver el voltaje máximo de circuito abierto FV permitida.

Normalmente esta entre 100V o 150V. Esta voltaje no se sobrepasar bajo ningún concepto.

Teniendo en cuenta que no podemos poner cadenas con diferente número de paneles solares, 6 paneles solares solamente se podrían configurar en matrices de: 1 x 6, 2 x 3 y de 3 x 2.

Calculamos el voltaje de circuito abierto de cada cadena multiplicando el Voc de cada panel solar por la cantidad de paneles solares en serie:

Ejemplo:

Partiremos de que los paneles solares tienen

Vmp: 30V

Voc: 37V

Matriz 1 x 6 (1 cadena de 6 paneles en serie)

$$37V \times 6 = 222V.$$

El resultado sobrepasa el valor de voltaje máximo de circuito abierto FV permitido. Se descarta esta configuración.

Matriz 2 x 3 (2 cadenas de 3 paneles en serie)

$$37V \times 3 = 111V$$

Puede configurarse si nuestro regulador MPPT tiene Vcc máx: 150V no aplica con voltaje Vcc máx: 100V.

Matriz 3 x 2 (3 cadenas de 2 paneles en serie)

$$37V \times 2 = 74V$$

Esta combinación aplica para reguladores con Vccmáx: 100V y 150V

Teniendo presente un incremento de Voc respecto a la temperatura.

En el ejemplo Voc podría llegar a los 40V y el voltaje de las cadenas sería:

$$40V \times 6 = 240V.$$

No se puede utilizar.

$$40V \times 3 = 120V.$$

Se puede utilizar para Vccmáx: 150V

$$40V \times 2 = 90V.$$

Se puede utilizar para Vccmáx: 100V.

7. Calculo del regulador solar PWM.

Corriente de carga de un panel solar.

Para poder calcular el regulador solar PWM necesario para una instalación de paneles solares debemos conocer 2 características de los mismos.

- El número de células del panel solar. Lo anterior debido a que los reguladores PWM

solo se pueden utilizar con paneles de 12V con 36 células y paneles de 24V con 72 células.

- La corriente en el punto de funcionamiento de máxima potencia del panel (Imp) la podemos consultar en la ficha técnica del fabricante.

En caso de no disponer de las fichas técnicas del fabricante tenemos 2 opciones:

1. Ver la etiqueta que lleva cada panel solar atrás, donde se observan todas las características técnicas del panel, como se ve en la figura 1.
2. Calcular la corriente Imp estimada. Las placas solares de 12V con 36 células tienen un voltaje de operación a máxima potencia de unos Vmp 18V, por lo tanto, podemos dividir la potencia del panel entre 18 para calcular con aproximación la corriente Imp.



ZAMP SOLAR	
Model NO:	Z8-M-148
Cell type:	monocrystalline
Peak power(Pmax)	145W
Power tolerance range(%)	+/-3%
Open circuit voltage / Voc(V)	21.3
Max.power voltage / Vmp(V)	17.9
Short circuit current / Isc(A)	8.748
Max.power current / Imp(A)	8.1
Maximum System Voltage(V)	1000V DC
Dimension(mm)	1482*670*35
Weight(KG)	11.8
Above Specification at standard test conditions (STC): 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5	
 	
www.zampsolar.com	

Figura 1. Etiqueta posterior en panel solar

Como se aprecia en los siguientes paneles solares de 12V, el cálculo es muy aproximado.

- Potencia: 140W

Vmp: 17,6V
Corriente Imp: 7,95A.
El cálculo resultaría $140W/17,6 Vd = 7,7A$

- Potencia: 150W
Vmp: 18,2V
Corriente Imp: 8,25A
El cálculo resultaría $150W/18,2V = 8,25A$

Para los paneles solares de 24V el valor de Vmp es cercano a 36V, seguido algunos ejemplos:

- Potencia: 190W
Vmp: 36,0V
Corriente Imp: 5,28A
El cálculo resultante es $190W/36V = 5,28A$
- Potencia: 210W
- Vmp: 37,3V
- Corriente Imp: 5,64A
- El cálculo resultante es $210W/37,3V = 5,63A$
- Potencia: 310W
Vmp: 36,9V
Corriente Imp: 8,41A.
El cálculo resultante es $310W/36,9V = 8,61A$



Figura 2. Regulador de carga

Tenga presente que si los paneles solares tienen Vmp: 30V son paneles de 60 células, lo que obliga a emplear reguladores solares MPPT.

Cálculo de corriente de carga del conjunto de paneles solares.

Ing. Gregor Rojas

Cabe resaltar que al conocer la corriente a máxima potencia Imp de un panel solar, debemos ver la configuración de conexiones del conjunto de paneles teniendo en cuenta:

- Paneles solares conectados en serie.
Sumamos los voltajes Vmp y mantenemos la Imp igual para el conjunto.
- Paneles solares conectados en paralelo.
Sumamos las intensidades Imp y mantenemos la Vmp igual para el conjunto.

Por lo tanto calcularemos:

La Vmp del conjunto se obtendrá multiplicando la Vmp de un panel solar por la cantidad de paneles conectados en serie.

2 paneles solares de 12V con valores:
Vmp: 18V
Imp: 8A.

Conectadas en serie dan en conjunto
Vmp: $2 \times 18V = 36V$
Imp: 8A

La Imp del conjunto se obtendrá multiplicando la Imp de cada panel solar por la cantidad de paneles o cadenas conectadas en paralelo.

- 2 paneles solares de 12V con valores
Vmp: 18V
Imp: 8A.

Conectadas en paralelo dan en conjunto
Vmp: 18V
Imp: 16A

- 2 paneles solares de 24V con valores
Vmp: 36V
Imp: 5A.

Conectadas en paralelo dan en conjunto
Vmp: 36V

$$I_{mp}: 2 \times 5A = 10A$$

Si tenemos un generador fotovoltaico serie-paralelo conformado por 2 cadenas o string en paralelo cada una de 2 paneles de 12V en serie procedemos como sigue:

- 2 Paneles solares de 12V conectados en serie. Multiplicamos el voltaje de un panel por la cantidad de paneles en serie, para obtener el V_{mp} : $18V \times 2 = 36V$
- Al disponer de 2 string o cadenas en paralelo. Multiplicamos la corriente de la cadena por la cantidad de cadenas, y obtener I_{mp} : $8A \times 2 = 16A$
- Por lo tanto el conjunto o arreglo solar tiene:
 V_{mp} : 36V
 I_{mp} : 16A

Para el caso que dispongamos de un generador fotovoltaico serie-paralelo formado por 3 cadenas en paralelo cada una con 2 paneles solares en serie de 12V procedemos como sigue:

- 2 Paneles solares de 12V conectados en serie. Multiplicamos el voltaje de cada panel por la cantidad de paneles en serie donde se obtiene V_{mp} : $18V \times 2 = 36V$
- Al disponer de 3 string o cadenas en paralelo. Multiplicamos la corriente de una cadena por la cantidad de string o cadenas, para obtener I_{mp} : $8A \times 3 = 24A$
- Por lo tanto el conjunto o arreglo solar tiene:
 V_{mp} : 36V
 I_{mp} : 24A

8. Configuración de regulador solar PWM.

Generalmente en el nombre del regulador solar, en su gran mayoría tienen impresa en la carcasa la corriente máxima de carga admitida por el regulador solar.

Esta corriente nunca debe ser superada por la corriente procedente de los paneles solares, para evitar esta situación, es recomendable dejar un margen de seguridad del entre el 10% al 20%.

Cuando calculamos la I_{mp} del conjunto y fuese unos 25A escogemos un regulador solar PWM de 30A, con aproximación por exceso.

No obstante, si la I_{mp} calculada fuese de 29,5A elegiremos un regulador solar PWM superior a esa corriente y con un margen de seguridad de al menos 10%, en este caso uno de 35A, con aproximación por exceso.

Es importante destacar que con reguladores PWM el voltaje de operación del grupo solar debe coincidir con el de la batería. Es decir, se emplearan paneles solares de 12V para cargar baterías de 12V, igualmente, paneles solares de 24V para cargar baterías de 24V.

Configuraciones de 2 paneles solares de 12V en serie que conformen grupos de 24V para cargar baterías de 24V.

Recuerde no emplear reguladores PWM con paneles solares de 60 células.

Se ha dicho que los reguladores PWM son bivoltaje, es decir, pueden operar a 12V o 24V. Lo anterior se debe a que lo importante para el regulador solar es la corriente de carga. Una corriente de 5A de carga a 12V son 60W y una corriente de 5A de carga a 24V son 120W, sin embargo, para el regulador solar PWM no es determinante la potencia sino corriente de carga.

Hemos dicho anteriormente que la corriente de carga no debe superar la máxima permitida por el regulador solar PWM.

Tampoco se debe conectar en paneles solares en serie que posean diferentes cantidades de células solares.

A continuación más ejemplos de aplicación con reguladores solares.

10. Cómo dimensionar un regulador solar PWM o MPPT.

Para seleccionar el modelo adecuado de regulador solar para una instalación fotovoltaica, lo primero es establecer si se necesita un regulador PWM o MPPT.

Recordamos del boletín técnico 16 parte 1, que los reguladores PWM sólo se deben emplear con paneles solares de 12V (36 células) o 24V (72 células).

Una vez establecido el tipo de regulador de carga a instalar bien sea PWM o MPPT, debemos dimensionar cuál es el requerido y ver si se ajusta a la instalación solar.

Para dimensionar el regulador solar debemos establecer cuál es la corriente máxima y voltaje máximo que genera el campo de paneles solares, para ello procedemos como sigue:

- Requerimos las características de los paneles solares que instalaremos, estas se pueden obtener de la ficha técnica del fabricante, en caso que se disponga de los paneles, ver la etiqueta que hay en la parte trasera de los mismos.
- Requerimos conocer cuál es la configuración del campo fotovoltaico, si es serie, paralelo o una combinación de ambas.

Conexión serie.

Se incrementa el voltaje sin variar la intensidad.

Conexión en paralelo.

Se incrementa la intensidad sin variar el voltaje.

Combinación serie y paralelo.

Se incrementa tanto el voltaje como la intensidad.

Ing. Gregor Rojas

10.1 Cálculo del voltaje de los paneles solares

Para realizar estos cálculos aplicamos las formulas siguientes:

$$V_{mp \text{ sistema}} = V_{mp \text{ de un panel solar}} \times \text{cantidad paneles solares en serie}$$
$$V_{oc \text{ sistema}} = V_{oc \text{ de un panel solar}} \times \text{cantidad paneles solares en serie.}$$

10.2 Cálculo de la intensidad de los paneles solares.

Para realizar estos cálculos aplicamos las formulas siguientes:

$$I_{mp \text{ sistema}} = I_{mp \text{ de un panel solar}} \times \text{cantidad paneles solares en paralelo}$$
$$I_{sc \text{ sistema}} = I_{sc \text{ de un panel solar}} \times \text{cantidad paneles solares en paralelo}$$

10.3 Ejemplos de aplicación:

Ejemplo 1.

Se dispone de una instalación conformada por 4 paneles solares de 190Wp 24V conectados en paralelo.

Características de cada panel solar:

$$V_{mp} = 37,08 \text{ V}$$
$$V_{oc} = 45 \text{ V}$$
$$I_{mp} = 5,12 \text{ A}$$
$$I_{sc} = 5,48 \text{ A}$$

El sistema paneles conectados en paralelo arroja en conjunto el siguiente resultado:

$$V_{mp} = 37,08 \text{ V}$$
$$V_{oc} = 45 \text{ V}$$
$$I_{mp} = 4 \times 5,12 \text{ A} = 20,48 \text{ A}$$
$$I_{sc} = 4 \times 5,48 \text{ A} = 21,92 \text{ A}$$
$$P_{\text{paneles}} = 4 \times 190 = 760 \text{ Wp}$$

Dimensionado del regulador solar:

Tenemos dos opciones para seleccionar el modelo de regulador solar que se requiere:

10.4 Opción con regulador de carga PWM.

Tenga presente que este regulador sólo puede emplearse en paneles de 36 o 72 células. Así mismo, requerimos un regulador cuya intensidad sea mayor a la máxima procedente del conjunto de paneles solares multiplicada por un factor de seguridad igual a 1,25.

Es importante resaltar, que se aplica este factor de seguridad debido a que los datos de los paneles solares suministrados por el fabricante son medidas realizadas en condiciones normales, por lo tanto, cualquier variación de estas condiciones se reflejaría en un incremento de la potencia producida, con lo cual se puede sobrepasar la corriente nominal del regulador, degenerando un posible daño en el mismo.

Para el cálculo de este ejemplo tenemos:

Corriente del regulador = $1,25 \times 21,92 = 27,4 \text{ A}$.

Al consultar las fichas técnicas de los PWM que se ajustan al requerimiento elegimos el controlador de carga PWM 12-24/30 con una corriente de carga nominal de 30 A. En la figura 3 se puede observar la ficha técnica.

10.5 Opción con regulador de carga MPPT.

En las fichas técnicas de los reguladores MPPT nos indican límites máximos para el sistema de paneles solares que son:

- Máxima potencia de paneles solares en Wp para voltajes de diseño del sistema de 12V, 24V o 48V.
- Intensidad máxima Isc
- Voltaje máximo en vacío Voc del sistema.

Se debe comprobar que el voltaje es adecuado y que no supere la potencia máxima de paneles solares.

Sistema de 4 paneles 190Wp en paralelo.

$V_{oc} = 45V$
 $I_{mp} = 10,24A$
 $V_{diseño} = 24V$
 $P_{paneles} = 4 \times 190 = 760 \text{ Wp}$

Es conveniente conectar en serie-paralelo, en dos grupos de 2 paneles en serie y estos 2 grupos ponerlos en paralelo, ya que el regulador MPPT permite tener voltajes en paneles solares mayores a los de las baterías, con lo cual podemos conseguir una sección de cable menor entre paneles y el regulador solar MPPT.

De 4 paneles 190Wp obtenemos 760Wp en serie:

$V_{oc} = 4 \times 45 = 180 \text{ V}$
 $V_{diseño} = 24 \text{ V}$



Figura 3. Ficha técnica de regulador solar PWM

$I_{mp} = 2 \times 5,12 \text{ A} = 10,24 \text{ A}$

Al consultar las fichas técnicas de los MPPT que se ajustan al requerimiento elegimos el controlador de carga MPPT 100/30 el cual al comprobar que sus valores máximos están por encima de los calculados es el adecuado. La figura 4 muestra su ficha técnica.

Comprobamos el voltaje:

Valor máx. permitido MPPT = 100V > 90V

Comprobamos la potencia:

Valor máx. para 24V = 880 Wp > 760Wp

Comprobamos la intensidad:

Valor máx. permitido = 30A > (10,24x1,25)A

serie-paralelo, dos grupos de 2 paneles en serie y estos 3 grupos ponerlos en paralelo.

Características de cada panel solar:

$V_{mp} = 18,08 \text{ V}$

$V_{oc} = 21,89 \text{ V}$

$I_{mp} = 7,66 \text{ A}$

$I_{sc} = 8,19 \text{ A}$

2 paneles solares conectados en serie:

$V_{mp} \text{ sistema} = 2 \times 18,08 = 36,16 \text{ V}$

$V_{oc} \text{ sistema} = 2 \times 21,89 = 43,78 \text{ V}$

3 paneles solares conectados en paralelo:

$I_{mp} \text{ sistema} = 3 \times 7,66 = 22,98 \text{ A}$

$I_{sc} = 3 \times 8,19 = 24,57 \text{ A}$



Figura 4. Ficha técnica de regulador solar MPPT

10.6 Opción con regulador de carga PWM.

Tenga presente que este regulador sólo puede emplearse en paneles de 36 o 72 células. Así mismo, requerimos un regulador cuya intensidad sea mayor a la máxima procedente del conjunto de paneles solares multiplicada por un factor de seguridad igual a 1,25.

Es importante resaltar, que se aplica este factor de seguridad debido a que los datos de los paneles solares suministrados por el fabricante son medidas realizadas en condiciones normales, por lo tanto, cualquier variación de estas condiciones se reflejaría en un incremento de la potencia producida, con lo cual se puede sobrepasar la corriente nominal del regulador, degenerando un posible daño en el mismo.

Para el cálculo de este ejemplo tenemos:

Corriente del regulador = 1,25x22,98 = 28,72 A.

Ejemplo 2.

Se dispone de una instalación conformada por 6 paneles solares de 140Wp 12V conectados en

Buscamos en las fichas técnicas de reguladores comerciales y seleccionamos un regulador de 30A siempre eligiendo por exceso.

10.7 Opción con regulador de carga MPPT.

Para este ejemplo, es conveniente cambiar la configuración de forma que permita el máximo número de paneles en serie, esto con el objeto de conseguir un voltaje mayor y una disminución de la corriente que proporcionaría ahorro en cable.

Configuramos un sistema con 2 grupos de 3 paneles en serie, luego estos dos grupos se ponen en paralelo.

$$V_{oc} = 3 \times 21,89 = 65,67 \text{ V}$$

$$I_{mp} = 2 \times 7,66 = 15,32 \text{ A}$$

$$V_{diseño} = 24 \text{ V}$$

$$P_{\text{paneles}} = 6 \times 140 = 840 \text{ Wp}$$

Al consultar las fichas técnicas de los MPPT que se ajustan al requerimiento elegimos el controlador de carga MPPT 100/30 el cual al comprobar que sus valores máximos están por encima de los calculados es el adecuado. Abajo su ficha técnica.

Comprobamos la tensión:

$$\text{Valor máx. permitido MPPT} = 100\text{V} > 65,67\text{V}$$

Comprobamos la potencia:

$$\text{Valor máx. para } 24\text{V} = 880 \text{ Wp} > 840\text{Wp}$$

Comprobamos la intensidad:

$$\text{Valor máx. permitido} = 30\text{A} > (15,32 \times 1,25)$$