

Reguladores de Carga Solar: Tipos PWM y MPPT, Selección y Conexión

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Trampas Defensivas

Etiquetas: Sin etiquetas

Reguladores de Carga Solar: Tipos PWM y MPPT, Selección y Conexión

El regulador de carga es el componente que protege las baterías en un sistema solar fotovoltaico, controlando la tensión y corriente que reciben desde los paneles. Sin un regulador adecuado, las baterías se sobrecargarían y degradarían rápidamente. Existen dos tecnologías principales —PWM y MPPT— con diferencias significativas en rendimiento, coste y aplicación. Comprender estas diferencias es clave para diseñar un sistema off-grid eficiente y duradero.

Función del Regulador de Carga en un Sistema Solar

El regulador de carga actúa como intermediario entre los paneles solares y el banco de baterías. Su función principal es evitar la sobrecarga de las baterías cuando los paneles producen más energía de la que se consume, y prevenir la descarga excesiva cuando las cargas drenan la batería por debajo de niveles seguros.

Cuando la batería alcanza su voltaje máximo de absorción (típicamente 14,4 V en baterías de plomo-ácido de 12 V o 28,8 V en sistemas de 24 V), el regulador reduce progresivamente la corriente de carga. Al llegar al voltaje de flotación (13,6 V en 12 V), mantiene una carga de mantenimiento que compensa la autodescarga sin dañar las celdas.

Además de la protección, los reguladores modernos ofrecen monitorización del estado de carga (SoC), registro de datos históricos y, en muchos modelos, conectividad Bluetooth o Wi-Fi para supervisión remota.

Protección contra sobrecarga: Limita el voltaje máximo de la batería según su química (AGM, gel, litio, plomo-ácido inundada).

Protección contra sobredescarga: Desconecta las cargas cuando el voltaje baja del umbral mínimo seguro (típicamente 11,5 V en 12 V).

Compensación por temperatura: Ajusta los voltajes de carga según la temperatura ambiente. Las baterías de plomo requieren $-5 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$ por celda respecto a 25°C .

Protección contra corriente inversa: Evita que la batería descargue hacia los paneles durante la noche mediante diodos o MOSFET internos.

Tecnología PWM: Modulación por Ancho de Pulso

Los reguladores PWM (Pulse Width Modulation) son la tecnología más antigua y económica. Funcionan conectando directamente el panel a la batería mediante un interruptor electrónico (MOSFET) que alterna rápidamente entre encendido y apagado. Al variar la proporción de tiempo encendido (duty cycle), controlan la corriente media que llega a la batería.

La limitación fundamental del PWM es que el panel opera al voltaje de la batería, no a su punto de máxima potencia (MPP). Un panel de 36 celdas con V_{mp} de 18 V conectado a una batería de 12 V (que oscila entre 11 y 14,4 V) desperdicia la diferencia de voltaje como calor. Esto significa que un panel de 100 W con $V_{mp}=18$ V e $I_{mp}=5,56$ A solo entregará unos $5,56 \text{ A} \times 12,5 \text{ V} \approx 69,5 \text{ W}$ reales a la batería, perdiendo un 30 % de la potencia nominal.

Sin embargo, los reguladores PWM son fiables, baratos, tienen pocas piezas que puedan fallar y son ideales para sistemas pequeños donde el coste del regulador MPPT no se justifica.

Característica

PWM

Observación

Eficiencia típica

65-80 %

Depende de la diferencia V_{panel} vs $V_{batería}$

Coste

15-50 €

Para capacidades de 10-30 A

Complejidad interna

Baja

Pocos componentes, alta fiabilidad

Requisito de panel

$V_{mp} \approx V_{bat} \times 1,5$

Paneles de 36 celdas para 12 V

Aplicación ideal

Sistemas

Caravanas, pequeñas instalaciones

Tecnología MPPT: Seguimiento del Punto de Máxima Potencia

Los reguladores MPPT (Maximum Power Point Tracking) incorporan un convertidor DC-DC interno que permite al panel operar siempre en su punto de máxima potencia, independientemente del voltaje de la batería. El algoritmo MPPT mide continuamente la curva I-V del panel y ajusta el punto de operación para extraer la máxima energía posible.

El convertidor DC-DC transforma el voltaje alto del panel (por ejemplo 30-40 V de un panel de 60 celdas) al voltaje de la batería (12 o 24 V), incrementando proporcionalmente la corriente según la ley de conservación de energía ($P = V \times I$). Esto permite usar paneles de voltaje más alto que la batería, lo que además reduce las pérdidas en el cableado al trabajar con corrientes menores en el tramo panel-regulador.

La ganancia real del MPPT sobre PWM varía según las condiciones. En días despejados con paneles bien dimensionados, la mejora es del 10-15 %. Pero en condiciones de baja irradiancia (nubes, amanecer, atardecer) o temperaturas extremas, el MPPT puede rendir un 25-40 % más que un PWM, ya que el punto de máxima potencia se desplaza significativamente del voltaje nominal.

Algoritmos comunes: Perturbar y Observar (P&O) es el más extendido. Conductancia Incremental es más preciso en condiciones cambiantes. Los modelos premium usan algoritmos adaptativos.

Voltaje de entrada: Aceptan voltajes de panel mucho mayores que la batería (hasta 150 V en modelos residenciales), permitiendo strings en serie.

Eficiencia de conversión: Los buenos MPPT alcanzan 96-99 % de eficiencia en la conversión DC-DC interna.

Coste: Desde 80 € (modelos chinos básicos de 20 A) hasta 500+ € (Victron, Morningstar) para 40-60 A.

Criterio práctico: Como regla general, el MPPT se justifica económicamente cuando la potencia del sistema supera los 200 W. Por debajo, el sobrecoste del regulador tarda demasiado en amortizarse con la ganancia de producción.

Selección del Regulador Adecuado

Para dimensionar correctamente un regulador de carga, se necesitan tres datos clave: la corriente de cortocircuito (I_{sc}) del conjunto de paneles, el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) en condiciones de frío extremo, y el voltaje del banco de baterías.

La corriente nominal del regulador debe ser al menos un 25 % superior a la I_{sc} total de los paneles conectados en paralelo. Este margen de seguridad compensa picos de irradiancia que pueden superar las condiciones estándar de test (STC). Para un MPPT, también debe verificarse que el V_{oc} máximo del string de paneles (corregido por temperatura mínima) no supere el voltaje máximo de entrada del regulador.

Parámetro

Cómo calcularlo

Ejemplo (sistema 12 V, 400 Wp)

Corriente regulador (PWM)

$I_{sc} \times n^{\circ} \text{ paneles paralelo} \times 1,25$

$9,5 \text{ A} \times 4 \times 1,25 = 47,5 \text{ A} \rightarrow \text{regulador de 50 A}$

Corriente regulador (MPPT)

Potencia total / Vbat mínimo $\times 1,25$

$400 \text{ W} / 11,5 \text{ V} \times 1,25 = 43,5 \text{ A} \rightarrow$ regulador de 50 A

Voc máximo (MPPT)

$\text{Voc} \times \text{n}^\circ \text{ paneles serie} \times \text{coef. temp.}$

$22,5 \text{ V} \times 2 \times 1,14 \text{ (a } -10^\circ \text{C)} = 51,3 \text{ V}$

Potencia máxima del MPPT

Verificar ficha técnica

Muchos MPPT 30 A/12 V limitan a 400 W

Seguridad: Nunca conecte los paneles al regulador antes de conectar la batería. Sin batería, el regulador no tiene referencia de voltaje y puede dañarse. La secuencia correcta siempre es: 1º batería, 2º paneles, 3º cargas. La desconexión se hace en orden inverso.

Conexión y Puesta en Marcha

La instalación física del regulador requiere atención al cableado, la ventilación y la configuración del tipo de batería. El regulador debe montarse en posición vertical sobre una superficie no inflamable, con al menos 15 cm de espacio libre por encima y debajo para la ventilación por convección natural.

El cableado entre la batería y el regulador debe ser lo más corto posible y de sección adecuada para minimizar caídas de voltaje. Una caída superior al 1 % en este tramo puede hacer que el regulador lea un voltaje de batería inferior al real, provocando sobrecarga. Para un regulador de 40 A a 12 V con 2 metros de cable, se necesita al menos sección de 10 mm².

Paso 1: Verificar la polaridad de todos los cables antes de conectar. Un error de polaridad destruye el regulador instantáneamente en la mayoría de modelos.

Paso 2: Conectar la batería al regulador. La pantalla debe encenderse y mostrar el voltaje actual de la batería.

Paso 3: Configurar el tipo de batería (plomo-ácido inundada, AGM, gel o litio) y los voltajes de absorción y flotación según las especificaciones del fabricante de la batería.

Paso 4: Conectar los paneles al regulador. Debe comenzar la carga de inmediato si hay suficiente irradiancia.

Paso 5: Conectar las cargas a la salida de carga del regulador (si la tiene) o directamente a la batería con fusible independiente.

Tras la puesta en marcha, conviene monitorizar el sistema durante los primeros días completos de sol para verificar que los voltajes de absorción y flotación se alcanzan correctamente y que el regulador no muestra errores ni sobrecalentamiento.

⚠ Advertencia: Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.