

# Equipos de Bombeo con Equipo Solar

## 1.1- Generalidades

La extracción de agua de pozos profundos es una de las aplicaciones más rentables y novedosa de la energía solar fotovoltaica.

El empleo de un tipo de bombas sumergibles específicas para aplicaciones con energía fotovoltaica, que funcionan a corriente continua/directa (CC/DC) generada directamente de los módulos fotovoltaicos, posibilita una instalación independiente de la red eléctrica con muy escasas necesidades de mantenimiento.

Como se ha indicado, es necesarios la instalación de unos paneles fotovoltaicos que producen energía eléctrica a una tensión de 12 ó 24 voltios en corriente continua. Esta electricidad es consumida directamente por una bomba, también en corriente continua, que bombea el agua desde el fondo del pozo a un depósito con una cierta altura o directamente a la red de distribución de riego.

La falta de uniformidad derivada de la dependencia del rendimiento de los módulos fotovoltaicos a la intensidad de la radiación solar, puede ser suplida por la instalación de un sistema de baterías de acumulación, de manera que la alimentación de corriente hacia la bomba se realice a través de ellas. Con ello se consigue una alimentación de corriente eléctrica constante que asegura un suministro uniforme de agua por parte de la bomba, independiente de las condiciones de radiación solar.

No obstante, otra alternativa a la anterior, y mucho más barata y simple, es la instalación de un sistema de bombeo solar directo, que no incluye baterías. En este caso, para conseguir la uniformidad en el riego se construye un depósito en altura de manera que el flujo de agua extraída por la bomba se dirija hacia este depósito de acumulación. Este depósito, que actuaría como depósito pulmón, permitiría realizar el riego de manera constante y uniforme, mientras el depósito disponga de un nivel de agua mínimo.

Por tanto, se tratará en este tutorial de describir los elementos que componen una instalación solar fotovoltaica autónoma para el bombeo directo de agua, incluyendo catálogos y hojas de especificaciones técnicas de los distintos equipos y exponer un caso práctico de cálculo, que pueda servir de guía y modelo para otras instalaciones.

## 1.2- Principio fotoeléctrico

La base sobre la cual se fundamenta los actuales sistemas fotovoltaicos comerciales es el denominado principio fotoeléctrico, mediante el cual las radiaciones de la luz solar se pueden transformar en energía eléctrica.



Este efecto tiene lugar en las llamadas células fotoeléctricas, unidad básica que componen los módulos o paneles fotovoltaicos.

Dichos módulos o paneles fotovoltaicos estarán formados por la interconexión de estas células solares, que quedarán dispuestas en serie y/o en paralelo de manera que la tensión y corriente que finalmente proporcione el panel se ajuste al valor que se requiera.

Por otro lado, y para entender el fundamento de las células solares, decir que toda radiación de luz solar está compuesta por partículas elementales, llamadas fotones.

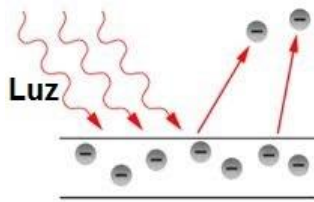
Estas partículas llevan asociada un valor de energía (E), que depende de la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación, y cuyo valor cuantitativo viene expresado de la forma siguiente:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Donde (h) es la constante de Planck y (c) es la velocidad de la luz. Se remite al lector a consultar el valor de estas constantes físicas en el siguiente enlace:

Cuando un módulo fotovoltaico recibe radiación solar, los fotones que componen dicha radiación inciden sobre las células fotovoltaicas del panel. Éstos pueden ser reflejados, absorbidos o pasar a través del panel, y sólo

los fotones que quedan absorbidos por la célula fotovoltaica son los que, finalmente, van a generar electricidad.

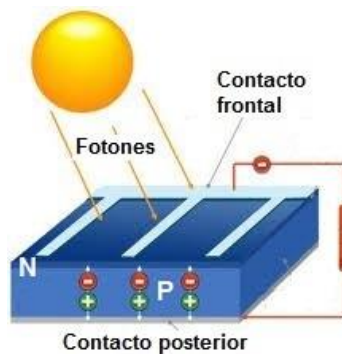


En efecto, cuando el fotón es absorbido por la célula, la energía que porta el fotón es transferida a los átomos que componen el material de la célula fotovoltaica.

Con esta nueva energía transferida, los electrones que están situados en las capas más alejadas son capaces de saltar y desprenderse de su posición normal asociada al átomo y entrar a formar parte de un circuito eléctrico que se genera.

Por lo tanto, un factor crucial para que pueda generarse el efecto fotovoltaico es que las células de los paneles solares estén compuestas por un tipo determinado de material, tales que sus átomos sean capaces de liberar electrones para crear una corriente eléctrica al recibir energía.

Los átomos de los materiales llamados semiconductores ofrecen esta propiedad, es decir, materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores, al desprenderse de sus electrones, cuando se aumenta la energía que incide sobre ellos.



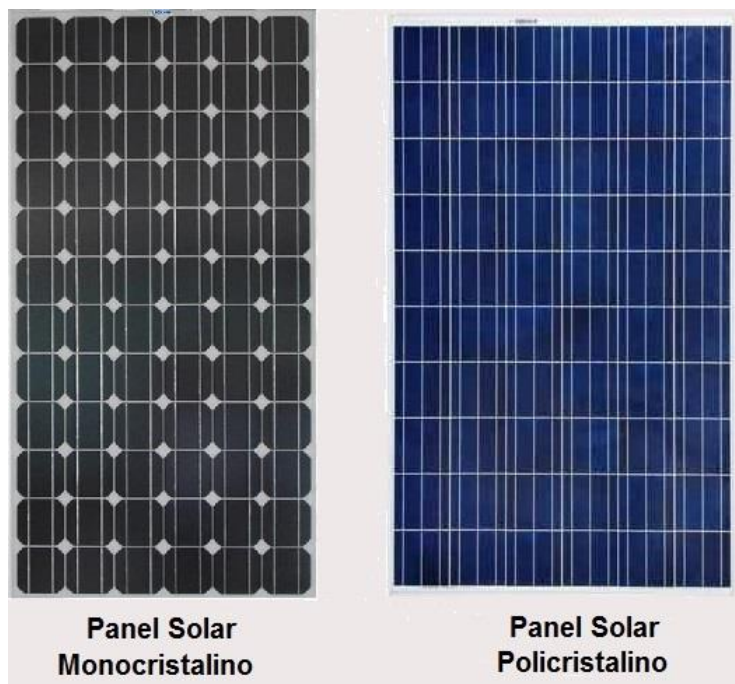
Además, para mejorar sus prestaciones estos materiales semiconductores son tratados de forma que se crean dos capas diferentes dopadas (tipo P y tipo N), con el objetivo de formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en otra, de manera que cuando la luz solar incide sobre la célula para liberar electrones, éstos puedan ser atrapados por el campo eléctrico, y formar así una corriente eléctrica.

En la actualidad, la mayoría de las células solares están construidas utilizando como material semiconductor el silicio, en sus formas mono o poli cristalina.

Las células solares de silicio mono cristalino se fabrican a partir de secciones cortadas o extraídas de una barra de silicio perfectamente cristalizado de una sola pieza, y que permiten alcanzar rendimientos del 24% en ensayos de laboratorio y del 16% para células de paneles comercializados.

Por el contrario, para obtener células solares de silicio puro del tipo poli cristalino el proceso de cristalización del silicio es diferente. En este caso se parte de secciones cortadas de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son más baratas de fabricar y se reconocen visualmente por presentar su superficie un aspecto granulado. Sin embargo, los rendimientos obtenidos son inferiores, alcanzándose del orden del 20% en ensayos de laboratorio y del 14% en módulos comerciales.

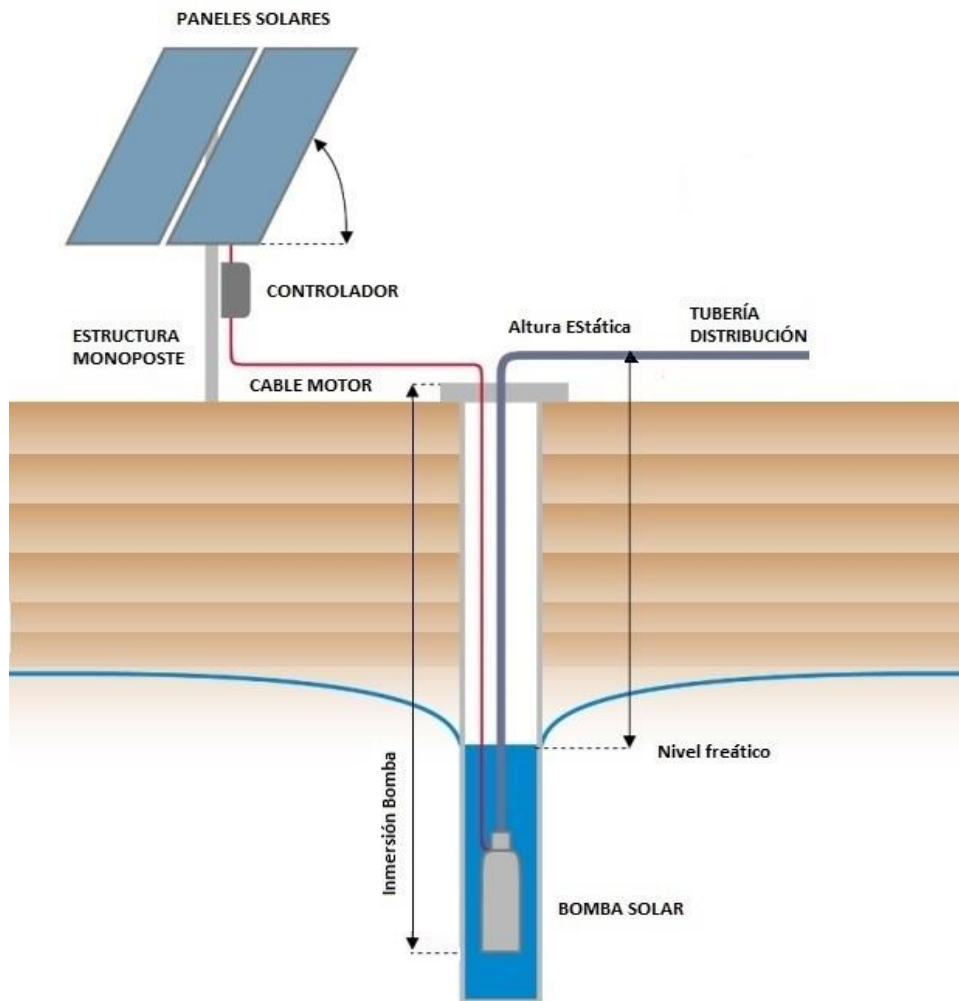
En consecuencia, los módulos solares fotovoltaicos fabricados con células de silicio mono cristalino ofrecen una mayor potencia nominal que los hechos a base de células de silicio poli cristalino, debido principalmente a las mejores propiedades que ofrece el silicio mono cristalino, un material muy uniforme, frente a la falta de uniformidad que presentan los límites de grano del silicio poli cristalino.



Además, otro aspecto importante a favor de los módulos mono cristalinos es la textura final en su superficie que presentan las células mono cristalinas, de mayor calidad y con mejores propiedades anti reflexivas, que permiten mejorar las prestaciones del módulo.

### 1.3- Arquitectura del sistema

Una instalación solar fotovoltaica para bombeo directo de agua está destinada a satisfacer las necesidades de consumo propio de electricidad para el accionamiento de la bomba, y consta de un esquema de instalación cuyos componentes principales se muestran en la figura adjunta.



**Paneles o módulos solares:** son los encargados de captar la radiación solar y transformarla en electricidad, generando una corriente continua (CC), también llamada corriente directa (DC) que alimenta a la bomba. El número de paneles quedará determinado por la potencia que se necesita suministrar a la bomba, de acuerdo al caudal de agua a bombear y presión de suministro.

Asimismo, la disposición y forma del conexionado de los paneles (en serie o en paralelo), será en función de la tensión nominal y la intensidad de corriente necesaria para el accionamiento del motor eléctrico de la bomba.

Los paneles solares se situarán sobre un rack o estructura metálica a cierta altura para evitar que se proyecten sombras sobre la superficie de los paneles debida a la presencia de árboles o de cualquier otro obstáculo cercano.

**Regulador o controlador de carga:** dispositivo electrónico encargado de controlar el funcionamiento óptimo de la bomba de agua. El controlador ayuda a maximizar el rendimiento energético de los paneles solares, permitiendo que la bomba de agua funcione también durante periodos de menor irradiación solar.

El controlador además regula el funcionamiento de la bomba, desconectándola cuando el depósito donde se bombea el agua haya llegado a su capacidad máxima o bien, porque el nivel del agua en el pozo haya bajado por debajo de un límite de seguridad establecido, con el fin de evitar que se quede descubierta la boca de aspiración de la bomba.

Asimismo, el regulador de carga dispone de un sistema de control con conectores "Plug&Play" de posición única, que permite el encendido o apagado del sistema (en invierno, por ejemplo, como es época de lluvias se desconecta, situando el interruptor en posición "Off").

**Bomba de agua sumergible:** conectada al regulador o controlador de carga quedará sumergida en el pozo. El valor de la inmersión mínima, expresado en metros, que deberá tener la bomba será aproximadamente de:  $NPSH_{bomba} (m) - 10 (m)$ . Las bombas solares funcionan en corriente continua y suelen estar fabricadas en acero inoxidable para soportar mejor la agresividad de las aguas subterráneas.

## 2- Componentes del sistema

## 2.1- Módulos fotovoltaicos

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares dispuestas en serie y/o en paralelo de manera que la tensión y corriente que finalmente proporcione el panel se ajusta al valor requerido.



La conexión entre las células que conforman el panel puede ser en serie y/o en paralelo, con el fin de adaptar el panel solar a los niveles de tensión y corriente requeridos.

Cada célula de las que compone un panel fotovoltaico es capaz de ofrecer una tensión del orden de 0,5 voltios y una potencia eléctrica alrededor de los 3 vatios, aunque este valor dependerá de la superficie que mida la célula.

De esta manera la potencia que pueda ofrecer el conjunto de células que conforman un módulo dependerá del número de células que posea, estando diseñado para el suministro eléctrico en corriente continua (CC), también llamada directa (DC), a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 V).

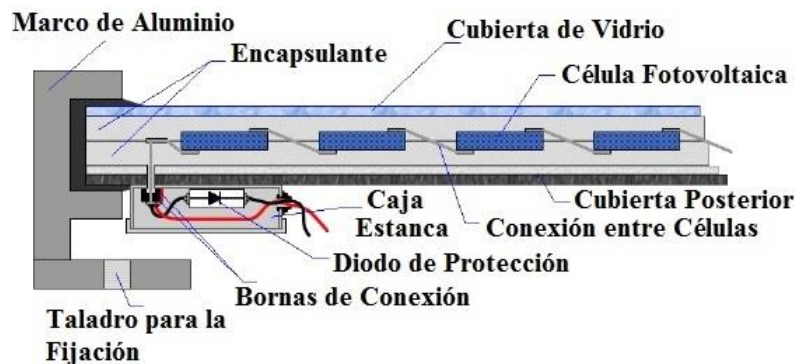
La tensión e intensidad de corriente que es capaz de ofrecer un panel fotovoltaico dependerá por tanto, del número de células que disponga y el tipo de conexión entre células.

Como norma general, los paneles solares se fabrican disponiendo primero las células necesarias conectadas en serie hasta que se alcance la tensión que se desee a la salida del panel, y a continuación, estos ramales de células se asocian en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado.

Por su parte, al sistema completo formado por el conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos dispuestos o conexiados en serie y/o en paralelo se le suele denominar en su totalidad generador fotovoltaico.

Con el fin de poder ofrecer la potencia eléctrica deseada, así como de la tensión e intensidad de corriente a la salida del generador, los distintos módulos o paneles serán distribuidos con conexión en serie y/o en paralelo, según convenga hasta alcanzar los valores determinados.

Para formar un panel o módulo fotovoltaico, las células conectadas unas con otras se dispondrán encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conformando el llamado módulo fotovoltaico.



Los elementos que componen un módulo fotovoltaico son los siguientes:

- Una cubierta exterior transparente realizado en vidrio templado de unos 3 ó 4 mm de espesor, con su cara exterior texturada de modo que mejore el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a bajo ángulo de incidencia, así como para absorber mejor la radiación solar difusa del ambiente.

- Un material de relleno interior, que funciona de encapsulante, hecho a base de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo, protegiéndolas de la entrada de aire o humedad, y evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células, dado que de producirse dejarían de funcionar.



- Una cubierta posterior realizada normalmente a base de fluoruro de polivinilo (PVF), que además de sus propiedades como aislante dieléctrico, ofrece gran resistencia a la radiación ultravioleta, contribuyendo a servir de barrera a la entrada de humedad y ofreciendo una gran adhesión al material del que está hecho el encapsulaste interior.

- Las propias células fotoeléctricas, ya estudiadas en apartados anteriores.

- Elementos de conexión eléctrica entre células, para establecer el circuito eléctrico.

- Una caja estanca de conexiones, dotada de bornes de conexión normalizados y con grado de protección IP65, de donde parte el cableado exterior del módulo para su conexión con otros módulos que conforman el sistema completo de generación fotovoltaica. En dicha caja se incluyen los diodos de protección cuya misión es la de reducir la posibilidad de pérdida de energía debido a un mal funcionamiento por sombreados parciales de paneles y de evitar la rotura del circuito eléctrico por este efecto. Ello es así porque cuando se produce una sombra parcial sobre un panel, éste deja de generar corriente y se convierte en absorbedor de energía, lo que produciría un calentamiento excesivo del mismo que podría dañarlo.

## **Guía Técnica**

- El marco estructural realizado generalmente en aluminio anodizado que ofrece resistencia mecánica y soporte al conjunto. Se deberá comprobar en las especificaciones del fabricante del módulo su resistencia mecánica frente al viento y cargas de nieve, de manera que el conjunto se adecue a las condiciones ambientales del lugar donde se instalen.

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica que proporciona cualquier fabricante están obtenidas sometiendo a los módulos a unas Condiciones Estándar de Medida (CEM) de irradiación y temperatura, que son siempre las mismas y son utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos y generadores solares. Estas condiciones son las siguientes:

- Irradiación solar:  $1000 \text{ W/m}^2$ ;
- Distribución espectral: AM 1,5 G;
- Temperatura de célula:  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintas a los estándares anteriores, por lo que habrá que aplicar los

correspondientes coeficientes correctores a los procedimientos de cálculos que se realicen.

Según se indican en las siguientes gráficas de la figura 8, donde se define el funcionamiento de un módulo fotovoltaico, el valor de corriente generado por el módulo crece con la intensidad de radiación solar, mientras que la tensión que ofrece cae conforme aumenta la temperatura alcanzada en las células del módulo.

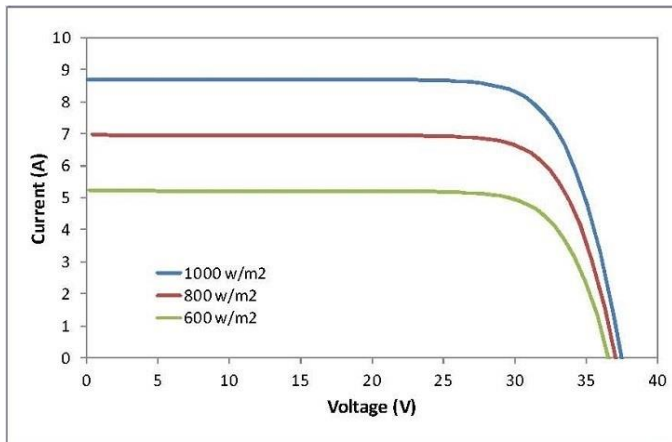


Figura Fa. Curvas I-V para distintos valores de la irradiancia solar  
Temperatura constante de la célula (25° C)

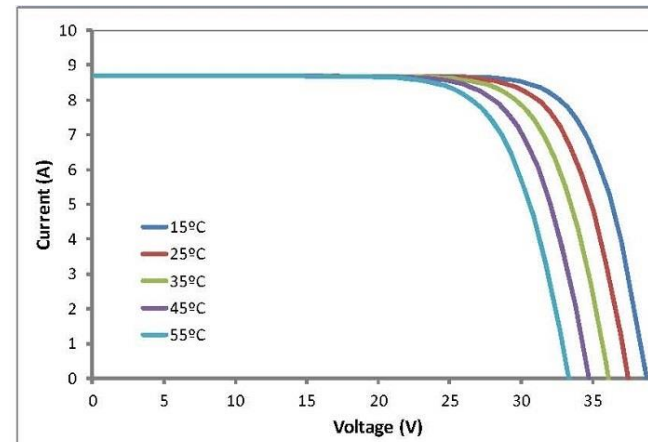


Figura Fb. Curvas I-V para distintas temperatura de la célula  
Valor de irradiancia solar constante (1000 W/m²)

Figura 8. Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos

Cuando se habla de temperatura alcanzada en las células del módulo, se entiende que es la temperatura que tiene la superficie del panel fotovoltaico, que evidentemente no tiene que ser igual a la de la temperatura ambiente, puesto que la superficie del módulo se calienta por la radiación solar que recibe.

Un módulo fotovoltaico suele trabajar dentro de un rango determinado de valores de intensidad y voltaje, dependiendo de la intensidad de radiación solar recibida, de la temperatura alcanzada en su superficie o el valor de la carga eléctrica que alimenta.

En la siguiente figura se representa esquemáticamente en línea continua la curva intensidad-tensión (I-V) de un módulo fotovoltaico cualquiera, mientras que en línea discontinua se representa la potencia entregada por el módulo, para dos situaciones de trabajo (A y B) distintas.

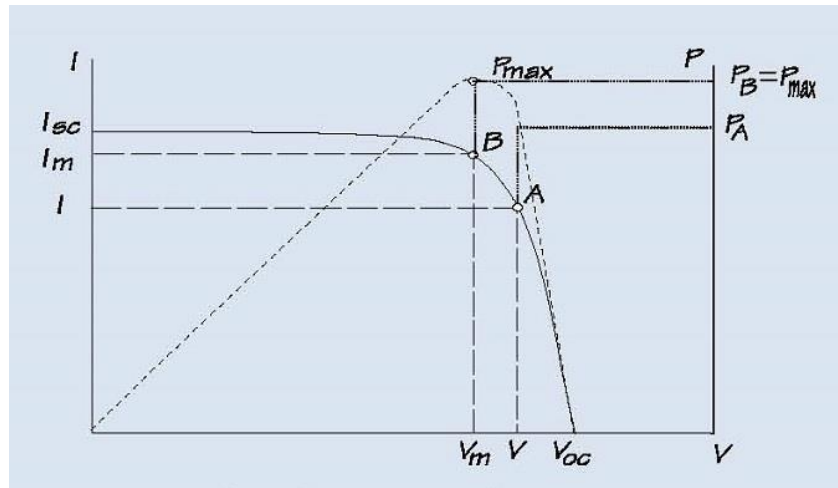


Figura 9. Curvas I-V y de Potencia

De la anterior figura se observa que se debe hacer trabajar al módulo fotovoltaico en el rango de la tensión de máxima potencia, para sí obtener su mejor rendimiento.

En resumen, en función de la radiación solar, la temperatura de las células del módulo (que dependerá a su vez de la temperatura ambiente, humedad, velocidad del viento, material de fabricación del módulo, etc.) y de la carga eléctrica que alimente, el módulo fotovoltaico generará una determinada intensidad de corriente ( $I$ ) a una determinada tensión ( $V$ ), y cuyo producto marcará la potencia eléctrica ( $P$ ) generada por el módulo.

A continuación, en el siguiente enlace, se puede acceder a la ficha de especificaciones técnicas del modelo de módulo fotovoltaico que se ha seleccionado para la realización de la instalación solar fotovoltaica para bombeo directo de agua para el riego, objeto de este tutorial.

## >> MÓDULO MONOCRISTALINO ISF-255, marca ISOFOTÓN

Para entender mejor los parámetros incluidos en la ficha de características técnicas del módulo, se incluye algunas definiciones para su mejor comprensión:

- **Potencia nominal o máxima ( $P_{MÁX}$ ):** es también conocida como potencia pico del panel. Es el valor máximo de potencia que se puede obtener del panel, y se obtiene del producto entre la tensión y la corriente

de salida del panel. Para el módulo seleccionado ISF-255, el valor de  $P_{MÁX} = 255 \text{ W}$  (CEM).

- **Tensión en circuito abierto ( $V_{OC}$ ):** es el valor máximo de voltaje que se mediría en el panel o módulo si no hubiese paso de corriente entre los bornes del mismo (intensidad de 0 amperios). Para el módulo seleccionado ISF-255, el valor de  $V_{OC} = 37,9 \text{ V}$  (CEM).

- **Intensidad de cortocircuito ( $I_{SC}$ ):** es la máxima intensidad que se puede obtener del panel fotovoltaico (tensión de salida 0 V). Para el módulo seleccionado ISF-255, el valor de  $I_{SC} = 8,86 \text{ A}$  (CEM).

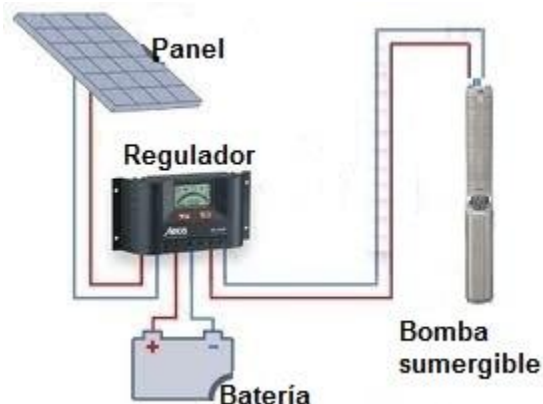
- **Tensión en el punto de máxima potencia ( $V_M$  ó  $V_{MÁX}$ ):** es el valor de la tensión en el punto de máxima potencia o potencia pico, que suele ser el 80% de la de vacío. También se suele representar como  $V_{MP}$ . Para el módulo seleccionado ISF-255, el valor de  $V_{MP} = 30,9 \text{ V}$  (CEM).

- **Intensidad de corriente máxima ( $I_M$  ó  $I_{MÁX}$ ):** es el valor de la corriente en el punto de máxima potencia o potencia pico. También se suele representar como  $I_{MP}$ . Para el módulo seleccionado ISF-255, el valor de  $I_{MP} = 8,27 \text{ A}$  (CEM).

Recordemos que CEM se refiere que los valores antes indicados se han obtenido en Condiciones Estándar de Medida.

## 2.2- Regulador de carga

Un regulador o controlador de carga es un equipo electrónico encargado de controlar y regular, de ahí su nombre, el paso de corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hacia la bomba de agua. Es un dispositivo que evita que se produzcan sobrecargas y a la vez limita la tensión de alimentación a la bomba a unos valores adecuados para su funcionamiento.



De este modo, un regulador de carga se encarga de controlar la alimentación de corriente a la bomba, haciendo que ésta sea segura cuando por ejemplo, los paneles solares están recibiendo mucha radiación solar evitando que se produzcan cargas excesivas por picos de corriente.

De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor colocado en serie entre los paneles solares y la bomba, que está cerrado y conectado para el proceso de alimentación de la bomba, y abierto cuando los niveles de tensión o intensidad de corriente no son los adecuados para alimentar los bornes del motor de la bomba.

Asimismo, en la actualidad la mayoría de los reguladores de carga disponen de una función que permite maximizar la energía capturada por el generador fotovoltaico mediante el uso de una tecnología específica de seguimiento y búsqueda del punto de máxima potencia de funcionamiento del generador (MPP, Maximum Power Point), también llamado MPP-tracking ó MPPT (del inglés, track: seguir, rastrear).

El regulador de carga se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daños unos valores de tensión nominal e intensidad máxima de acuerdo a la configuración del sistema de generadores fotovoltaicos instalados.

De esta manera, el regulador o controlador de carga deberá estar dimensionado para soportar la intensidad máxima de corriente generada en el sistema, tanto en la línea de entrada al regulador procedente de los generadores fotovoltaicos, como en la línea de salida hacia las cargas que alimenta.



**Regulador de carga  
y bomba sumergible**

En este sentido, la corriente máxima prevista por la línea de entrada al regulador desde los generadores fotovoltaicos es la correspondiente a la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) del generador fotovoltaico más un margen de seguridad (generalmente un 25%), para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura.

Por otro lado, la corriente máxima prevista por la línea de salida viene dada por el consumo de las cargas del sistema (en este caso, el motor eléctrico de la bomba) también incrementada en un 25% ( $I_{salida}$ ). La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos anteriores corrientes eléctricas, como se verá más adelante en este tutorial.

Como ya se ha indicado, el regulador también actuará interrumpiendo el suministro de electricidad desde los paneles fotovoltaicos hacia la bomba cuando, debido a una falta de irradiación solar, el voltaje en los terminales de alimentación del motor sea inferior a su valor de tensión mínima (que suele ser su tensión nominal menos el 10%), con objeto de evitar dañar el motor de la bomba.

Igualmente, durante los periodos de máxima insolación donde los paneles solares están generando electricidad y el voltaje a un valor límite máximo, el regulador podrá interrumpir la conexión entre los módulos fotovoltaicos y la bomba si pudiera resultar dañino para la integridad de la bomba, o bien podrá actuar también reduciendo gradualmente la corriente media entregada por los paneles hacia el motor de la bomba.

Todo regulador de corriente instalado deberá estar convenientemente protegido frente a cortocircuitos que se produzcan en la línea de consumo de la bomba, además de contra la posibilidad de poder producirse una desconexión accidental de la misma mientras los paneles están generando energía.

### **Regulador de Carga**

Las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador solar y bomba serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2% de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo los terminales.

En todo caso, las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación deberán ser inferiores al 3 % del consumo diario de energía.

Asimismo, el regulador de carga dispondrá de un sistema de control con conectores "Plug&Play" de posición única, que permita el encendido o

apagado del sistema (en invierno, por ejemplo, como es época de lluvias se desconecta, situando el interruptor en posición "Off").

Por último, indicar que todo regulador que se emplee en cualquier instalación deberá estar etiquetado correctamente, con al menos la siguiente información:

- Tensión nominal (V)
- Corriente máxima (A)
- Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie
- Polaridad de terminales y conexiones

### **2.3- Bomba solar sumergible**

Las bombas solares trabajan por lo general sin baterías, conectadas directamente a los paneles fotovoltaicos a través del regulador o controlador de carga.

Son bombas en acero inoxidable para soportar la agresividad de las aguas subterráneas, y disponen de un motor eléctrico de corriente continua (CC/DC), a una tensión nominal que puede abarcar desde bombas que funcionan a 12/24V hasta modelos de bombas diseñadas para ofrecer grandes caudales y presiones con tensiones nominales de entre 300 y 500 Voltios.

## **Bombas Solares Sumergibles**

Suelen ser bombas sumergibles que se instalan inmersas en pozos de agua, en cuyo caso, será necesario la instalación de sondas de nivel de agua en el interior del pozo para evitar que el nivel del agua pueda descender durante el bombeo por debajo de la boca de aspiración de la bomba, evitándose así que la bomba trabaje en seco.

En bombas sumergibles el riesgo de cavitación resulta muy bajo. No obstante se recomienda comprobar el NPSH de la bomba en su punto de funcionamiento. Entonces, el valor de la inmersión mínima en el agua, expresado en metros, que deberá tener la bomba será aproximadamente de:  $NPSH_{bomba} (m) - 10 (m)$ .

Toda bomba deberá trabajar cerca de su máximo rendimiento, el cual se alcanza sólo en un estrecho margen de caudal, que será el criterio que se emplee para la selección del tipo de bomba. Esta información aparecerá en las curvas de funcionamiento de la bomba que deberán ser suministradas por el fabricante en sus catálogos técnicos.

Por lo tanto, el punto de funcionamiento de la bomba será aquel cuyo caudal que suministre esté lo más próximo posible a su punto de rendimiento óptimo, o bien ligeramente a la derecha de éste.

Mediante la siguiente expresión se puede calcular el consumo energético (en kWh) de la bomba, en función de su rendimiento ( $\eta$ ), del caudal suministrado (Q) y de la altura o presión de descarga (H):

$$\text{KWh} = \frac{Q \cdot H}{367 \cdot \eta}$$

donde,

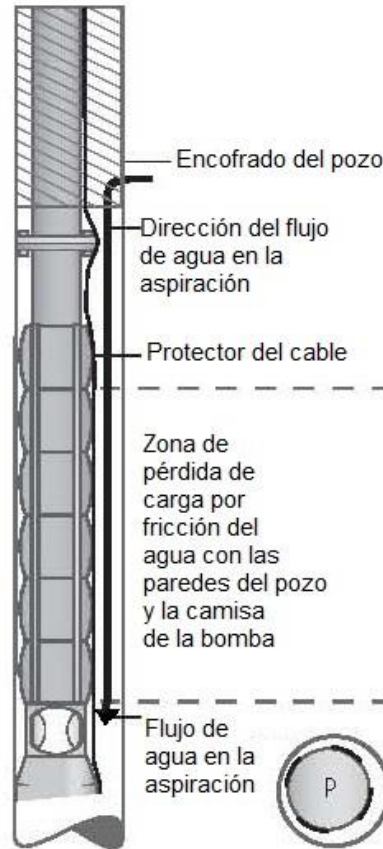
Q es el caudal suministrado por la bomba, en m<sup>3</sup>/h

H es la altura de impulsión, en m

$\eta$  es el rendimiento de la bomba.

Otro aspecto que influye en el rendimiento de una bomba de tipo sumergible es su diámetro, es decir, lo ancha que resulte ser. En general, cuanto mayor sea el diámetro de una bomba sumergible mejor será su rendimiento, por lo que en la mayoría de las veces, se tenderá a elegir modelos de bombas lo más anchas posible.





Sin embargo, la anchura máxima de una bomba quedará limitada por el diámetro del pozo donde se sumerja, es decir, lo ancho que sea el pozo.

En este sentido, el rendimiento de una bomba sumergible estará influenciado de manera importante por el espacio libre que queda entre la pared del pozo y la carcasa de la bomba.

Esto es así, porque en un pozo estrecho, donde la bomba se encuentra muy justa de espacio, quedando poca distancia entre las paredes del pozo y la camisa de la bomba, se producirán pérdidas de carga importantes por fricción del agua debido a las turbulencias que ocurren en el hueco pequeño que queda entre la bomba y las paredes del pozo, que hará que el rendimiento de la bomba caiga.

En general, se recomienda que se instale la bomba lo más centrada posible en el hueco del pozo para que ésta quede rodeada en todo su perímetro por agua, debiendo existir una distancia lateral mínima entre el perímetro de la bomba y la pared interior del pozo.

Además, otro motivo para mantener un espacio de agua suficiente que rodee a la camisa de la bomba es la de asegurar una refrigeración eficiente

del motor de la bomba que absorba el calor que se genera durante su funcionamiento.

En este sentido, la siguiente formulación permite obtener el espacio mínimo recomendado entre la pared interior del pozo y la camisa de la bomba:

$$v = \frac{Q \cdot 354}{(D^2 - d^2)}$$

donde,

$v$  (m/s) es la velocidad del agua en el hueco existente alrededor de la bomba. Para evitar que se produzcan grandes pérdidas de carga por fricción se debe limitar a 3 m/s.

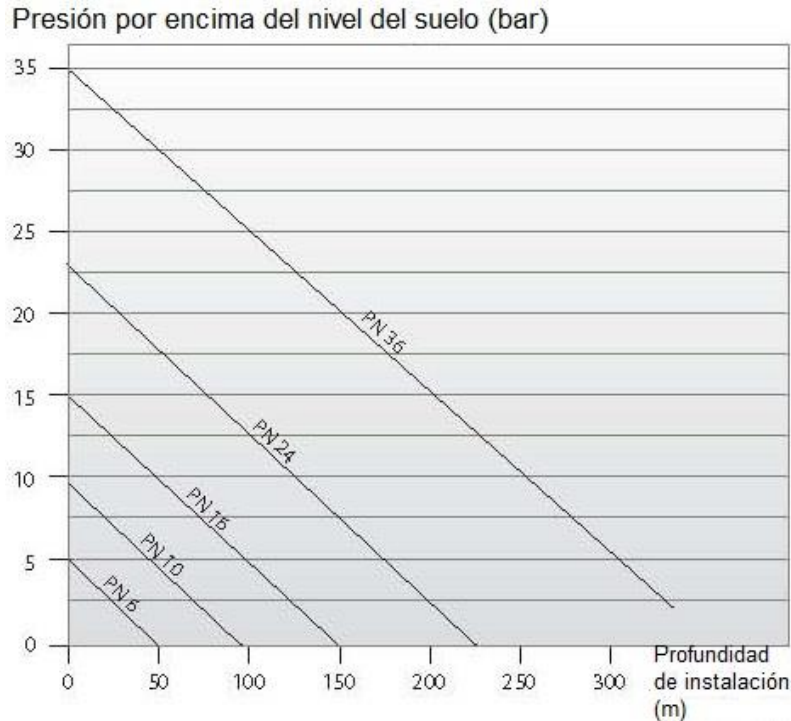
$Q$  (m<sup>3</sup>/h) es el caudal que bombea la bomba en su punto de diseño.

$D$  (mm) es el diámetro interno de las paredes del pozo.

$d$  (mm) es el diámetro exterior de la camisa de la bomba.

En otro orden de cosas, la tubería ascendente de la bomba, o tubería de impulsión, estará condicionada por el diámetro de salida de la bomba, según el modelo de bomba seleccionado para el caudal y presión de servicio establecidos.

Por otro lado, la elección del tipo resistente para la tubería vertical de impulsión de la bomba dependerá de varios factores, como puedan ser, la presión de descarga y profundidad de la instalación, la agresividad del agua, las pérdidas de carga por fricción, etc.



La figura adjunta ayuda a seleccionar la presión requerida para la tubería de impulsión en función de la profundidad de la instalación de la bomba y la presión de descarga.

Para la agresividad de la mayoría de las aguas subterráneas, el empleo del acero inoxidable para la tubería ascendente resulta suficiente, o incluso el acero galvanizado o recubierto, una opción más barata, puede ser aceptable. Si la agresividad del agua fuera importante se recomienda instalar ánodos de zinc reemplazables para proteger el motor y la bomba.

Como sustitución a las tuberías de acero inoxidable, mucho más caras, se pueden emplear mangueras de tipo flexibles como las mangueras Wellmaster. Éstas son mangueras fabricadas con una chaqueta de poliéster de alta resistencia, tejidas circularmente sin costuras y extrusionada interior y exteriormente, mediante poliuretano elastómero o caucho sintético.

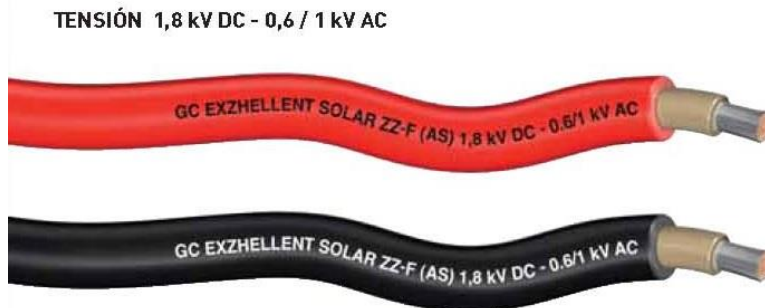
Debido al diseño de este tipo de manguera flexible, el diámetro se expandirá ligeramente cuando ésta se encuentre bajo presión y por lo tanto reducirá la pérdida de carga por fricción al aumentar su diámetro de paso. Al mismo tiempo, evita la acumulación de cal en la superficie de la manguera, ya que el cambio constante del diámetro durante el bombeo de agua fuerza el desprendimiento de la cal.

## 2.4- Cableado eléctrico

Los sistemas fotovoltaicos, como toda instalación que queda permanente al aire libre, deben estar diseñadas para resistir las duras inclemencias meteorológicas (temperaturas ambientales extremas, radiación solar ultravioleta, humedad, resistencia a los impactos...) que condicionan la calidad de los materiales empleados.

Hasta hace relativamente poco, y debido a la falta de normalización al respecto, se utilizaba para el cableado y conexionado entre los paneles, de éstos con la caja del regulador de carga y de aquí al motor eléctrico de la bomba, cables eléctricos del tipo RV-K, muy comunes en cualquier otra instalación eléctrica, pero que para los usos en instalaciones fotovoltaicas ofrecen características limitadas. En efecto, el polietileno reticulado de la cubierta de los cables tipo RV-K es un material adecuado para aislamientos de cables eléctricos convencionales, pero para aplicaciones más exigentes, como el caso de las instalaciones fotovoltaicas, existen actualmente otros materiales también reticulados pero con características muy mejoradas, idóneos para estas aplicaciones.

De este modo, para el uso específico en instalaciones fotovoltaicas, se recomienda emplear cables del tipo PV ZZ-F, que están especialmente concebidos para aplicaciones fotovoltaicas.



Los cables **PV ZZ-F** son cables unipolares con doble aislamiento, que tienen capacidad para transportar corriente continua hasta 1.800 V de manera eficiente y con gran durabilidad en el tiempo.













Los cables tipo PV ZZ-F ofrecen gran resistencia térmica, además de una gran resistencia climática (rayos UV, frío, humedad...), que se comprueba mediante ensayos de resistencia a la intemperie. También presentan un excelente comportamiento y resistencia al fuego, que se comprueba mediante ensayos específicos de incendio.

Para ello, los materiales empleado para el aislamiento y la cubierta de este tipo de cables son de alta calidad, reticulados, de alta resistencia mecánica, resistentes también a la abrasión, flexibles y libres de halógenos.

Asimismo, el conductor interior de los cables PV ZZ-F deberá estar estañado, confiriéndose así una mayor resistencia a una posible corrosión por oxidación.

En la siguiente tabla se indica el tipo de cable que se va a emplear en este caso para el conexionado entre módulos, para la caja del regulador o controlador de carga, y de aquí hacia el motor eléctrico de la bomba sumergible:

<b>Tabla 1. Cables flexibles tipo PV ZZ-F</b>
<b>Conductor:</b> Cobre electrolítico estañado, clase 5 (flexible) según EN 60228
<b>Aislamiento:</b> Goma libre de halógenos tipo EI6.
<b>Cubierta:</b> Goma ignifugada tipo EM8, libre de halógenos y con baja emisión de humos y gases corrosivos en caso de incendio.
<b>Embalaje:</b> Disponible en rollos con film retractilado (longitudes de 50 y 100 m) y bobinas.
<b>Norma Nacional/ Europea:</b> UNE-EN 60332-1 / UNE-EN 50267-1 / UNE-EN 50267-2 / UNE-EN 61034 / NFC 32-070 (C2)
<b>Norma Internacional:</b> IEC 60332-1 / IEC 60754-1 / IEC 60754-2 / IEC 61034
<b>Características:</b>

			
Conductor flexible, clase 5/6	Temperatura máxima del conductor: 120°C	Temperatura máxima en cortocircuito: 250°C (máximo 5 s)	Radio de curvatura diámetro exterior
			
Resistencia a los impactos: AG2. Impacto medio	Instalación al aire libre: permanente	Resistencia al agua: AD7 inmersión	Resistencia a los ataques químicos: excelente
			
Resistente a los rayos ultravioletas	Resistencia a grasas y aceites: excelente	Resistencia a la abrasión	Instalaciones solares fotovoltaicas

Los tramos de cables en corriente continua serán tramos compuestos de dos conductores activos (positivo y negativo) más el conductor de protección.

Para el cálculo de la sección (S) de conductores en corriente continua, como es éste el caso de las instalaciones fotovoltaicas, se empleará la siguiente formulación:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\Delta U \cdot K}$$

donde,

S es la sección del conductor del cable en continua, en mm<sup>2</sup>

L es la longitud del tramo de conductor que se esté considerando, en m

I es la intensidad de corriente que circula por el conductor, en amperios (A)

$\Delta U$  es la caída de tensión máxima permitida en el tramo, en voltios (V)

K es la conductividad del conductor del cable (56 Cu ; 35 Al)

En la siguiente tabla se indican los porcentajes de caída de tensión máximas y recomendadas para cada tramo en una instalación fotovoltaica para riego directo:

Tabla 2. Porcentajes de caída de tensión (%)		
Tramo	Máxima	Recomendada
Paneles - Regulador	3%	1%
Regulador - Bomba sumergible	5%	3%

En la tabla adjunta se indican las secciones de cables más empleadas en instalaciones fotovoltaicas de una casa comercial, con indicación de la intensidad máxima del cable y su caída de tensión en DC:

Tabla 3. Secciones de cable e intensidad de corriente para cables de corriente continua en instalaciones fotovoltaicas

La siguiente tabla es una comparación entre los calibres AWG (American Wire Gauge) usados en América y los mm<sup>2</sup> del Sistema Métrico:

Tabla 4. Tabla de conversión AWG - mm <sup>2</sup>														
AWG	18	17	16	14	12	10	8	6	4	2	1	1/0	2/0	3/0
mm <sup>2</sup>	0,75	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	10	16	25	35	50	55	70	95

Sección	Color	Díámetro exterior	Peso	Radio Mín. Curvatura	Resist. Máx. del conductor a 20 °C	Intensidad al Aire (1)	Caída de tensión en DC
mm <sup>2</sup>	[*]	mm <sup>2</sup>	kg/km	mm <sup>2</sup>	Ω/km	A	V/A.km
1x1,5	■ ■	4,3	35	18	13,7	30	38,17
1x2,5	■ ■	5,0	50	20	8,21	41	22,87
1x4	■ ■	5,6	65	23	5,09	55	14,18
1x6	■ ■	6,3	85	26	3,39	70	9,445
1x10	■ ■	7,9	140	32	1,95	96	5,433
1x16	■ ■	8,8	200	35	1,24	132	3,455
1x25	■ ■	10,5	295	42	0,795	176	2,215
1x35	■ ■	11,8	395	47	0,565	218	1,574

(1) Al aire, a 60 °C Según norma TÜV 2 Pfg 1169/08.2007

En cuanto al cable de caída que alimenta al motor eléctrico de la bomba sumergible, durante el arranque de la bomba se produce un pico de corriente. El tamaño del cable sin embargo, no se debe determinar para esta intensidad de arranque, dado que el motor arranca en menos de 1/10 segundos.

Para su dimensionado siempre se usa la intensidad de corriente que circula por el cable a plena carga de la bomba. Este valor suele venir indicado en la placa de características de la bomba.

Por último, recordar que la longitud máxima para el cable de caída sumergible será tal que la caída de tensión máxima que se produzca en el cable no excedan del 3% recomendada, y como máximo del 5%, según la tabla 2 anterior.

Asimismo, bajo ninguna circunstancia esta caída de tensión que se produzca al final del cable de caída que alimenta al motor de la bomba, deberá ser tal que se obtenga una tensión en los terminales de alimentación del motor inferior a su valor de tensión mínima, que suele ser la tensión nominal menos el 10%.

## **2.5- Protecciones**

En esta sección se tratará de las protecciones necesarias a instalar con objeto de poder detectar y eliminar cualquier incidente en la instalación, garantizando así la protección de los equipos conectados y de las personas.

- Protección contra sobrecargas:

Una sobrecarga ocurre cuando existe un valor excesivo de intensidad ocasionado por un defecto de aislamiento, una avería o una demanda excesiva de carga.

Una sobrecarga en los cables genera un calentamiento excesivo de los mismos, lo que provoca su daño prematuro, reduciendo su vida útil. Además, una sobrecarga que se prolongue en el tiempo y no sea solucionada, puede terminar ocasionando un cortocircuito en la instalación.



Los dispositivos de protección contra sobrecargas podrán ser, o bien un interruptor automático de corte omipolar con curva térmica de corte, o bien un fusible. En el cálculo de la instalación, objeto de este tutorial, se ha escogido un fusible como elemento de protección.

En general, los dispositivos que se empleen para la protección de la instalación contra sobrecargas, deberán cumplir las siguientes dos condiciones:

$$I) \quad I_b \leq I_n \leq I_{adm}$$

siendo,

$I_b$ , la intensidad de diseño del circuito, según la previsión de cargas.

$I_n$ , la intensidad nominal del interruptor, es decir, el calibre asignado.

$I_{adm}$ , es la máxima intensidad admisible del cable conductor.

Y la otra condición:

$$II) \quad I_{cd} \leq 1,45 \cdot I_{adm}$$

siendo,

$I_{cd}$ , la intensidad de ajuste (desconexión) del interruptor y que asegura el funcionamiento efectivo del dispositivo de protección. En fusibles es la intensidad de fusión ( $I_f$ ) en 5 segundos.

Como en este caso se va a emplear fusibles como elementos de protección contra sobrecargas de corriente, además se cumple que  $I_{cd} = I_f$  y en este caso, para los fusibles elegidos, también que  $I_f = 1,60 \cdot I_n$

Por lo que la anterior relación, para el caso de fusibles como elemento de protección, quedaría como sigue:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$$

Un fusible consiste fundamentalmente en un alambre o tira metálica inserta en el circuito de corriente que al rebasarse cierta intensidad se funde, provocando la desconexión y protegiendo así al circuito. Por lo tanto, todo fusible habrá que reponerlo después de cada cortocircuito producido.



La intensidad nominal de un fusible es el valor de la intensidad de corriente continua que puede soportar indefinidamente. Como criterio general un fusible es capaz de despejar una falta de intensidad 5 veces la nominal en un tiempo de 0,1s.

A la hora de seleccionar el fusible se deberá tener en cuenta los siguientes factores:

- Tensión nominal  $V_n$  del fusible, que deberá ser mayor o igual que la tensión de operación de la línea donde se instale.
- La intensidad nominal  $I_n$  del fusible deberá ser mayor o igual que la máxima corriente esperada en la línea donde se instale.
- La intensidad de actuación o ruptura del fusible actuará en un tiempo inferior a 0,1 s.
- Que la intensidad de cortocircuito máxima que pueda soportar el fusible sea mayor que la máxima intensidad de cortocircuito esperada en el punto de la línea donde se instale el fusible.

- Protección contra cortocircuitos:

El origen para que se produzca un cortocircuito suele estar en una conexión incorrecta o en un defecto de aislamiento.

Todo equipo de protección empleado para limitar la incidencia de un cortocircuito deberá cumplir con las siguientes dos condiciones:

$$I)^2 \cdot t \leq I_{cu}$$

Siendo,

$I$ , la intensidad de disparo.

$t$ , es el tiempo de despeje (al producto  $I^2 \cdot t$  se le suele llamar energía de paso).

$I_{cu}$  es la máxima intensidad de cortocircuito soportada por el cable, siendo  $I_{cu} = k^2 \cdot S^2$ , donde  $k$  es un valor de corrección del material del cable (115 para conductor de cobre aislado con PVC; 143 para conductor de cobre aislado con XLPE ó EPR y 94 para conductores de aluminio), y  $S$  es la sección del conductor en  $mm^2$ .

$$II) \quad PdC \geq I_{sc,m\acute{a}x}$$

Siendo,

$PdC$ , el poder de corte del dispositivo de protección.

$I_{sc,m\acute{a}x}$  es la máxima intensidad de cortocircuito prevista en el punto de instalación.

En todo caso, para que la protección contra cortocircuitos sea eficaz, se debe cumplir que el tiempo de corte de toda corriente de cortocircuito que se produzca en un punto cualquiera de la instalación, no debe ser superior al tiempo que los conductores tardan en alcanzar su temperatura límite admisible.

#### - Protección contra sobretensiones:

Generalmente, una sobretensión en una instalación fotovoltaica para autoconsumo tiene su origen en descargas atmosféricas (rayos) que se realizan sobre las partes altas de la estructura metálica que soporta los paneles.

La protección contra estos fenómenos se realiza con unos aparatos llamados auto válvulas o pararrayos. Realmente son unos descargadores de corriente que ofrecen una resistencia de tipo inversa, fabricada con óxido de zinc (ZnO) ó carburo de silicio (SiC), cuyo valor disminuye al aumentar la tensión que se aplica sobre ella.

Estos aparatos deberán colocarse lo más cerca posible del equipo a proteger, para que pueda derivar a tierra el exceso de tensión originado por la descarga de un rayo, de manera que absorba las sobretensiones que se puedan producir en la instalación y evitando así la perforación de los aislamientos.