



EVE | Ente Vasco
de la Energía

**La energía solar
fotovoltaica en
el País Vasco**



La energía solar fotovoltaica
en el País Vasco

LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL PAIS VASCO

1.ª Edición: Octubre 2000

Editor: Ente Vasco de la Energía
San Vicente, 8
Edificio Albia, 1 - Planta 14
48001 BILBAO

D.L.: BI-2411-00

Indice General.

1	Introducción	7
2	La energía fotovoltaica en la CAPV	9
	2.1. Evolución histórica	9
3	El efecto fotovoltaico	11
	3.1. La célula solar fotovoltaica	11
	3.2. El módulo solar fotovoltaico	15
4	Elementos de la instalación fotovoltaica	25
	4.1. El generador solar fotovoltaico	26
	4.2. El acumulador	29
	4.3. El regulador.	35
	4.4. El convertidor	38
5	Las aplicaciones	47
	5.1. Instalaciones alejadas de la red	50
	5.2. Instalaciones conectadas con la red eléctrica	62
6	Dimensionado y mantenimiento.	67
	6.1. Recomendaciones.	68
	6.2. Cálculo simplificado	74
	6.3. Mantenimiento.	79
7	Apéndices	85
	7.1. Algunos ejemplos del PAÍS VASCO.	85
	7.2. Recursos sobre información	91

Introducción

Nuestros mayores comentan que el clima está cambiando. Y no sólo es verdad, sino que los cambios que por la acción del hombre están aconteciendo en el planeta no tienen precedentes por su rapidez. Las consecuencias en el ecosistema comienzan a verse.

Los expertos coinciden en afirmar que la producción, transformación y consumo de energía son las principales causas de la degradación medioambiental.

El gran problema no es la disponibilidad física de energía, sino la capacidad de reacción de la biosfera frente a los fenómenos derivados de la producción y consumo de energía (contaminación en sus diversas facetas). La capacidad que tiene el planeta de absorber los impactos que vienen del consumo de energía es un recurso que se agota.

Las instalaciones solares fotovoltaicas se presentan como una alternativa real y positiva de abastecimiento de electricidad, una tecnología que puede contribuir de manera significativa a la reducción de emisiones de contaminantes, y se presentan como una de las herramientas clave para el cumplimiento de las obligaciones emanadas del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Las células solares fotovoltaicas son ingenios muy simples en comparación con los procesos energéticos convencionales. Esto es debido a que transforman una energía primaria (la energía solar) en electricidad de un modo directo, es decir, sin transformaciones intermedias en otras formas de energía.

La problemática energética y medioambiental, por un lado, y la aparente sencillez y disponibilidad de la energía fotovoltaica, por otro, han hecho que en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) crezca el interés por este tipo de energía. Dicho crecimiento se constata por el incremento de las consultas que se reciben en el Ente Vasco de la Energía (EVE) solicitando información sobre la energía solar fotovoltaica. La presente publicación pretende responder a esa demanda de información.

2 | La energía fotovoltaica en la CAPV

2.1. Evolución histórica

De todas las energías renovables, una de las de menor implantación en la CAPV ha sido la energía solar fotovoltaica, principalmente porque comparativamente con las demás la tecnología fotovoltaica es muy reciente. Su implantación en el País Vasco ha sido poco menos que testimonial hasta fechas recientes.

En la última década comienza un desarrollo creciente, más patente en la segunda mitad de la década, y tiene visos de convertirse en un sector de actividad industrial asentado y generador de riqueza y empleo.

Para impulsar dicho desarrollo, desde el EVE se iniciaron una serie de actividades de apoyo a la energía fotovoltaica que comienzan con la elaboración de un Atlas de Radiación Solar en la CAPV, con los consiguientes periodos de adquisición de datos, y tienen su continuidad con los sucesivos programas de ayudas para la promoción de instalaciones fotovoltaicas y estudios de viabilidad de instalaciones que incorporaran esta tecnología.

En la figura 1 puede observarse la evolución del número de instalaciones fotovoltaicas en la CAPV. La figura 2 muestra la evolución de la potencia instalada.

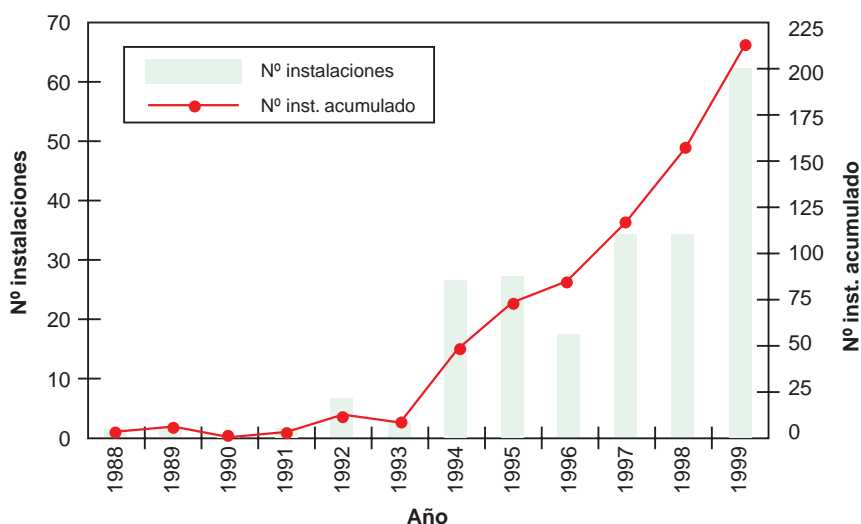


Figura 1. Evolución del número de instalaciones en la CAPV.

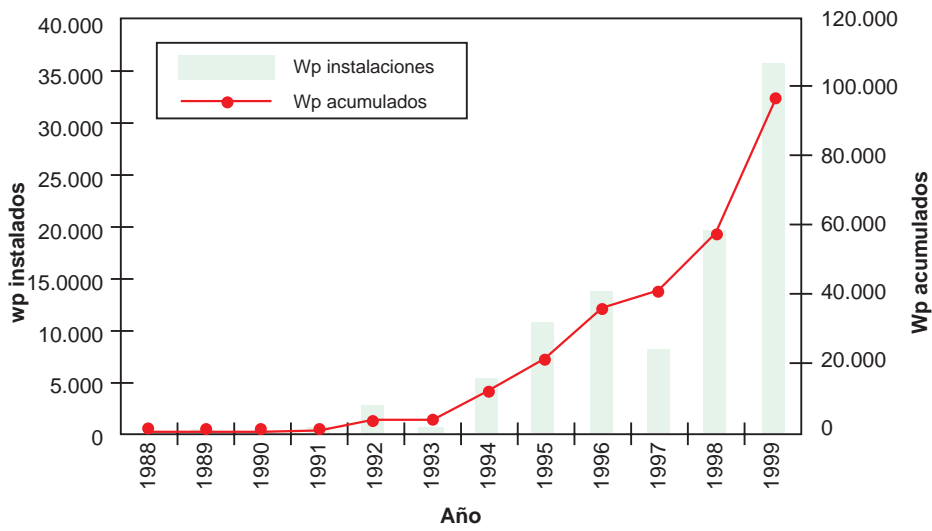
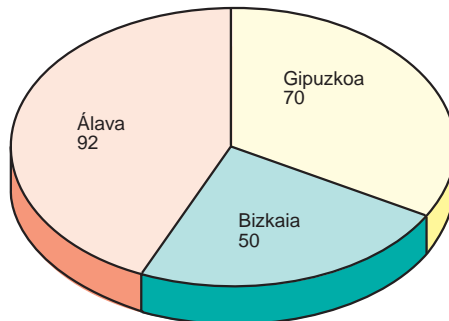
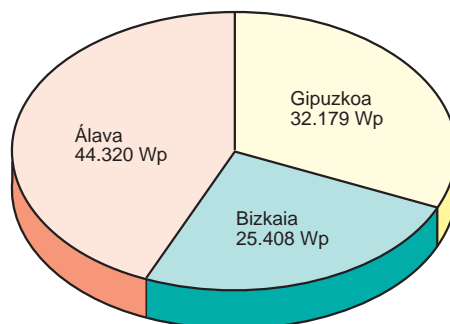


Figura 2. Evolución de la potencia fotovoltaica instalada en la CAPV.

En la figura 3 se puede observar la distribución por Territorio Histórico de las instalaciones fotovoltaicas y de la potencia instalada en la CAPV a finales de 1999.



a) N° de instalaciones



b) Potencia instalada

Figura 3. Distribución por Territorio Histórico de instalaciones fotovoltaicas (a) y potencia instalada (b).

3 | El efecto fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico es el desprendimiento de electrones de ciertos materiales por la acción de luz u otra radiación electromagnética. Los diferentes efectos fotoeléctricos son tres:

- *Fotoemisivo o fotoexterno*: provoca en el material un arranque de electrones con liberación de los mismos. En una célula fotoeléctrica operada por este principio, los electrones emitidos se recolectan por un electrodo positivo. Bajo la influencia de un voltaje aplicado se crea una corriente eléctrica linealmente proporcional a la intensidad de luz incidida.
- *Fotoconductorivo o fotointerno*: modifica la conductividad eléctrica del material. El incremento en la conductividad eléctrica es proporcional a la intensidad de luz recibida y causa un incremento en la corriente de un circuito externo. El efecto fotoconductorivo no genera energía pero se puede emplear en elementos sensores de luz (alumbrado público, automóvil...).
- *Fotovoltaico*: crea una fuerza electromotriz en el material (la presencia de luz hace que se genere una fuerza electromotriz a través del límite de dos sustancias). En las células solares fotovoltaicas, esa fuerza electromotriz que aparece genera un paso de corriente proporcional al flujo luminoso que reciben. Tiene la ventaja sobre los demás procesos de no requerir tensión auxiliar, por eso es utilizado para la conversión directa de energía solar en energía eléctrica.



Figura 4. Célula solar fotovoltaica.

3.1. La célula solar fotovoltaica

Los materiales utilizados en la fabricación de las células fotovoltaicas son los semiconductores. La principal propiedad de este tipo de materiales es que la energía necesaria para separar a ciertos electrones de su núcleo es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar. Se les llama semiconductores debido a su comportamiento eléctrico.

El silicio

El semiconductor más utilizado para la construcción de células solares fotovoltaicas es el silicio, y en función de la ordenación de los átomos en la célula puede presentarse como silicio amorfo, policristalino o monocristalino. Además existen otros materiales semiconductores que también se utilizan en la fabricación de células solares, como el germanio, el arseniuro de galio o el telurio de cadmio, por ejemplo.

El silicio es el segundo material más abundante en la tierra después del oxígeno. En su estado natural puede existir en cuatro formas (cristobalita, tridimita, cuarzo y lechetalierita). La sílice (Si O_2), o dióxido de silicio, es un mineral cristalino, blanco o transparente, que es insoluble en agua.

Se utiliza mucho en la industria electrónica de componentes como base de todos los transistores, circuitos integrados, diodos, y otros componentes electrónicos. Por ello, la tecnología del silicio está bien asentada.

La unión *p-n*

Un cristal semiconductor de silicio puro se denomina semiconductor intrínseco. En la práctica los semiconductores se utilizan con impurezas añadidas voluntariamente, denominándose entonces semiconductores extrínsecos.

La impurificación viene al incorporar a la estructura cristalográfica de un semiconductor intrínseco átomos de un elemento diferente, que tenga mayor o menor número de electrones de valencia que el material base. Como el silicio tiene cuatro electrones de valencia, para impurificarlo, "doparlo" en el argot fotovoltaico, se utilizan elementos que tengan tres o cinco electrones de valencia:

- Impurezas *pentavalentes* (donadoras). Son las constituidas por átomos que tienen cinco electrones de valencia. Entre ellos se encuentran el fósforo, el antimonio y el arsénico. Un semiconductor dopado de esta manera se dice que es de tipo *n*.
- Impurezas *trivalentes* (aceptoras). Son las de los materiales con átomos de tres electrones de valencia. Entre ellos se encuentran el boro, el galio y el indio. Un semiconductor dopado con impurezas trivalentes se dice que es de tipo *p*.

La creación de zonas con distintos tipos de dopado en un mismo cristal da lugar a lo que se conoce como uniones *p-n*. Entre ambas zonas se establece un campo eléctrico que evita el movimiento de electrones de una zona a otra.

El sol, al incidir sobre la célula fotovoltaica transfiere a los electrones de la zona *n* la suficiente energía como para saltar ese campo eléctrico y llegar a la zona *p*. Ese electrón sólo podrá volver a su zona por el circuito exterior al que se conecta la célula generando una corriente eléctrica.

Los contactos eléctricos que se hacen en ambas caras de la célula solar cumplen la función de recoger esa corriente eléctrica. La cara que no recibe luz solar se recubre totalmente, mientras que la cara expuesta al sol sólo se cubre parcialmente mediante una rejilla metálica. Esto permite recoger de forma eficiente los electrones generados en el interior de la célula, además de permitir que los rayos solares alcancen un porcentaje alto del área del material semiconductor.

Se obtiene así una especie de pila que sólo funciona cuando recibe luz solar. Esa “pila”, cuando incide sobre ella la luz solar, ofrece una diferencia de tensión de 0,5 V si es de silicio.



Figura 5. Proceso de soldadura de la rejilla metálica durante el ensamblaje del panel.

La eficiencia de conversión de los distintos tipos de células

El cociente entre la potencia eléctrica que suministra la célula y la potencia de la radiación que incide sobre la misma en ese momento, se denomina eficiencia de la célula.

Las primeras células, desarrolladas en 1954, alcanzaban una eficiencia de un 6%. En los actuales procesos de fabricación de células se consiguen eficiencias entre 10 y 18%. En laboratorio se alcanzan rendimientos del 22-26%.

Para evitar la reflexión de la luz al incidir sobre las células, y procurar así la mayor captación de energía, existe la posibilidad de aplicarles distintas capas antirreflexivas, o también existe el texturizado, que se puede hacer sólo en silicio monocristalino, que consiste en crear en la superficie de la célula unas micropirámides para captar más cantidad de luz.

Por otra parte, la rejilla metálica que recoge los electrones provoca que parte de la superficie de captación se vea tapada por estos contactos eléctricos. Las pérdidas relacionadas a este concepto dependen del diseño de la célula. En el mercado actual se pueden conseguir módulos solares cuyas células tienen los contactos eléctricos enterrados en la superficie, consiguiendo así más superficie expuesta al sol y más eficiencia en cuanto al funcionamiento.

Eficiencias típicas de las células solares en el mercado son:

Silicio amorfo	2 – 7 %
Célula Cd Te	6 – 10 %
Silicio policristalino	10 – 14 %
Silicio monocristalino	11 – 15 %
Silicio monocristalino Saturno	16 – 18 %

Además de trabajar en la mejora de la eficiencia de las células, los principales fabricantes de paneles están orientando su trabajo de investigación y desarrollo hacia el abaratamiento del coste optimizando el proceso de fabricación o diseñando otros procesos; y buscando productos que cumplan dos misiones a la vez. Es el caso de la teja fotovoltaica, que dentro del coste de la teja, hay que tener en cuenta que desempeña a la vez el papel de panel y como teja propiamente dicha.



Figura 6. Tejas fotovoltaicas en un tejado de pizarra.

A modo de resumen, se exponen a continuación algunos de los aspectos donde se están realizando iniciativas de investigación y desarrollo:

- Sistemas de concentración fotovoltaica.
- Materiales como el telurio de cadmio, arseniuro de galio,...
- Recubrimientos antirreflexivos para capturar mayor cantidad de radiación solar.
- Aumento de la respuesta de las células fotovoltaicas frente a la radiación difusa.
- Células laminadas sobre aluminio, acero, vidrio, polímeros,...
- Procesos de corte para células más perfeccionados, para obtener láminas más delgadas y reducir el material de desecho.
- Conexión en cascada de materiales que absorban diferentes partes del espectro luminoso.

3.2. El módulo solar fotovoltaico

Una célula solar proporciona muy poca energía, y a muy baja tensión. Además, una sola célula es frágil y muy difícil de comercializar. El fabricante, agrupándolas para procurar que trabajen como una sola, busca suministrar niveles de tensión y potencia adecuados a cada aplicación, y las protege de los agentes climatológicos adversos. Es lo que se llama panel o módulo solar fotovoltaico.

En el panel se asocian eléctricamente un determinado número de células solares y se protege todo el compacto sellándolo al vacío.

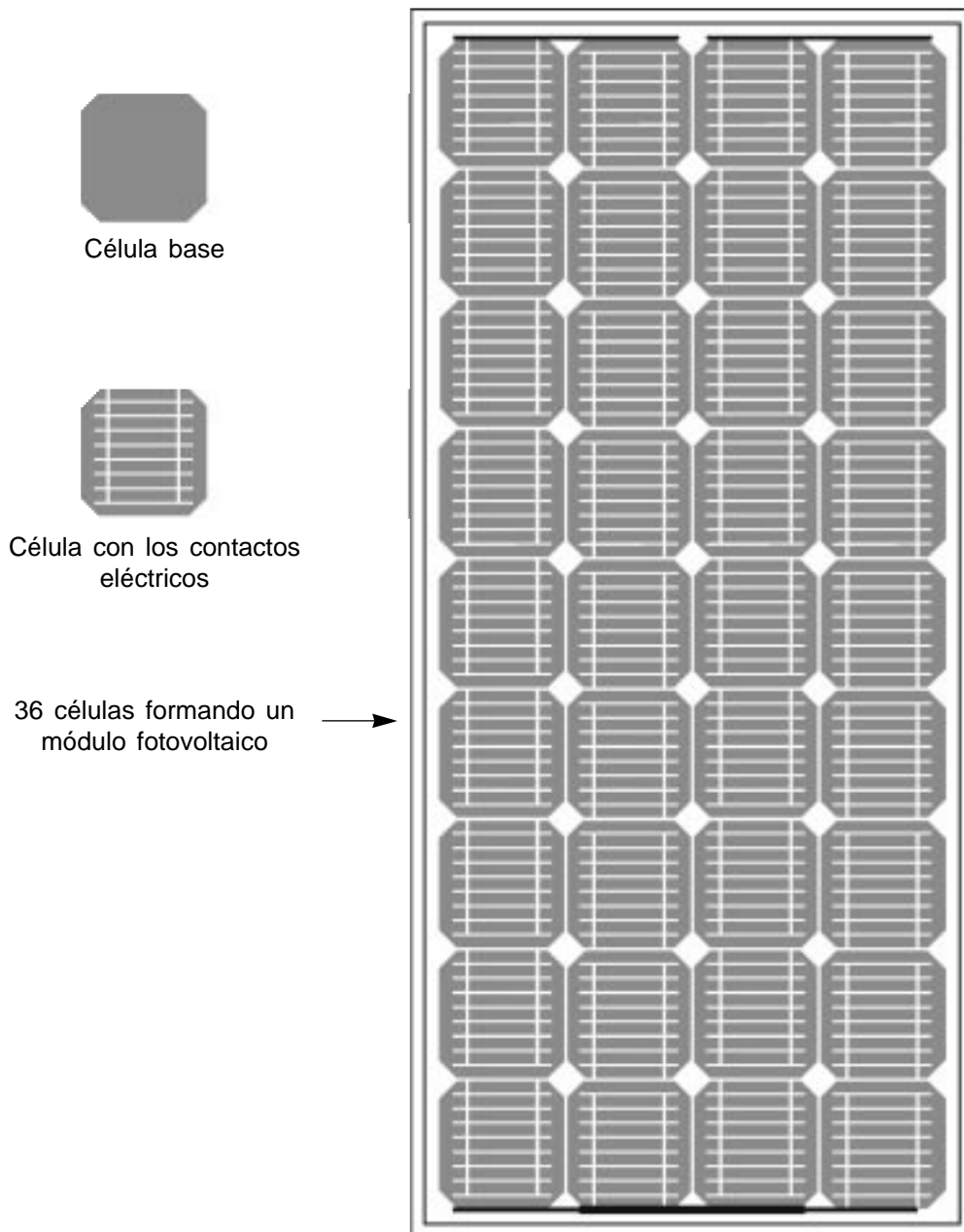


Figura 7. Esquema ilustrativo de la composición de un panel.

Normalmente, un módulo fotovoltaico está constituido por células conectadas en serie, aunque también se comercializan otras combinaciones. Hay módulos constituidos por 154 células, otros utilizan 72. Lo más usual es que se encuentren compuestos por 30 a 36 células.

Las tensiones de trabajo lógicamente dependen del número de células del panel. Tensiones típicas son 6, 12 y 24 voltios.

Actualmente, los módulos más utilizados tienen 36 células de silicio cristalino (monocristalino o policristalino), con una tensión teórica de trabajo de 12 V en condiciones normales de operación. Es una tensión de trabajo muy frecuente en corriente continua y coincide con la tensión de trabajo de los acumuladores.

Lo habitual es que los módulos fotovoltaicos presenten formas cuadradas o rectangulares (con áreas entre 0,1 y 2,3 m²). La potencia de los módulos se mide en vatios pico, y se representa por Wp.

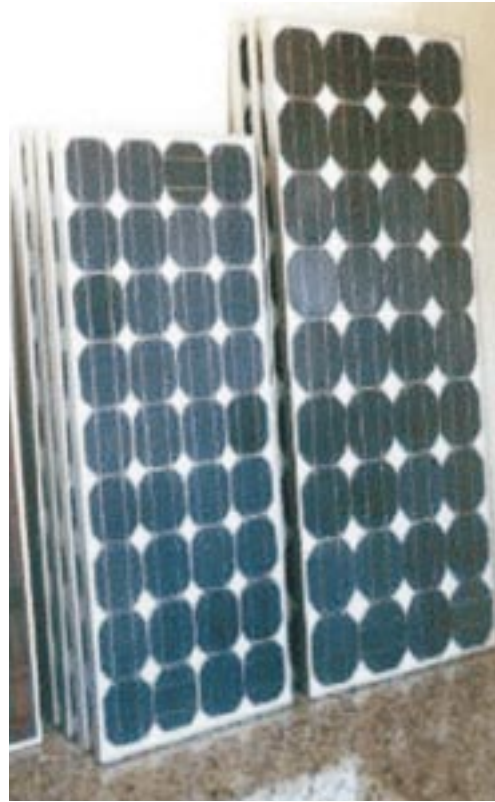


Figura 8. Paneles fotovoltaicos.

El vatio pico es una unidad idéntica al vatio, y el añadido “pico”, como se explica más adelante, hace referencia a unas condiciones de operación muy favorables.

El mercado actual ofrece potencias entre 0,5 y 280 Wp, aunque lo habitual es que la potencia del panel oscile entre 50 Wp y 165 Wp, según la gama de potencias que comercialice el fabricante. Cuando es necesario una potencia mayor se recurre a la asociación eléctrica de varios módulos. Se puede encontrar una instalación fotovoltaica de 3,5 Wp de potencia para una señalización de carretera, una de 5.000 Wp destinada a electrificar una vivienda alejada de la línea eléctrica, y hasta una de 1 MWp conectada a la red eléctrica general.

El peso de los módulos no suele representar ningún problema en la mayoría de los casos. El peso medio suele ser de 14 kg/m², aunque depende de modelos, marcas, y aplicaciones. Además habrá que sumarle el peso de la estructura soporte del panel.

Se pueden encontrar multitud de minimódulos integrados en el equipo de consumo, como calculadoras, linternas, radios, parquímetros y otros equipos, ya que muchas de las células que se fabrican se destinan a las aplicaciones de pequeño consumo.

La variedad de aspecto, tamaño y forma es bastante grande y se prevé que aún sea mayor. Existen robustos módulos fotovoltaicos que se colocan en la cubierta de los barcos y pueden pisarse con toda tranquilidad. Algunos paneles fotovoltaicos incluso permiten adoptar curvas.

3.2.1. Composición típica de un módulo solar fotovoltaico

Existen diferentes clases de paneles fotovoltaicos y distintos procesos de fabricación, pero en la actualidad la gran mayoría de módulos del mercado profesional presentan características comunes.

Un módulo fotovoltaico normalmente consta de:

- Células solares fotovoltaicas y sus conexiones eléctricas.
- El encapsulante que cubre las células por arriba y por abajo.
- Una cubierta exterior transparente (cara activa del panel).
- Un protector posterior especialmente diseñado contra la humedad.
- El bastidor o marco que permite una estructura manejable.
- Los contactos de salida (el positivo y el negativo) en su caja de conexiones.
- Unos diodos para protección que van en la caja de conexiones.



Figura 9. Sección de un panel fotovoltaico.

Cara activa o cubierta exterior

Al estar expuestas a la acción de agentes climatológicos adversos, las células se protegen con una cubierta delantera transparente. Lo que más se utiliza es el vidrio templado con bajo contenido en hierro, que tiene ventajas respecto a otros materiales, ya que ofrece una buena protección contra impactos y a la vez tiene excelente transmisión a la radiación solar.

Por el exterior, el vidrio, debe tener una superficie lisa, para no retener nada que dificulte el paso de la radiación solar. Por el interior es rugosa para aumentar la superficie de contacto y mejorar la adherencia con el encapsulante.

Encapsulante

De todos los materiales empleados en la construcción de un panel solar, el encapsulante suele ser el que menos vida útil tiene, y en muchas ocasiones determina el tiempo que el módulo puede funcionar.

El encapsulante da cohesión al conjunto al rellenar el volumen existente entre las cubiertas delantera y trasera y amortigua las vibraciones e impactos que se pueden producir. Pero su misión principal es la de proteger las células solares y los contactos eléctricos de la humedad. Los materiales empleados tienen una alta transmisión de la radiación solar y baja degradabilidad frente a las radiaciones ultravioletas y al paso del tiempo.



Figura 10. Paneles de distintos tamaños.

Se utiliza mucho el EVA, acetato de etilen-vinilo, que es un polímero transparente que además de tener igual índice de refracción que el vidrio, tiene también ventajas en el proceso de laminación del módulo.

Protección posterior

Se encarga de proteger contra los agentes atmosféricos. Puede ser cristal, pero normalmente suelen utilizarse materiales acrílicos, siliconas, tedlar. La protección posterior suele tener tres capas, tedlar-poliéster-tedlar.

Normalmente, la protección posterior en su cara interna es de color blanco para favorecer el rendimiento del módulo, ya que refleja la radiación que incide entre los huecos que dejan las células, radiación que posteriormente se refracta en las rugosidades del vidrio para incidir finalmente sobre las células.

Bastidor o marco soporte

Protege de golpes laterales, proporciona rigidez mecánica al conjunto y lo hace manejable. El marco soporte facilita la instalación del módulo y favorece el montaje en estructuras que agrupan a varios módulos. Son varias piezas atornilladas o ensambladas entre sí y con un cordón de silicona para un perfecto sellado. Normalmente se emplea el aluminio anodizado o el acero inoxidable. A veces el marco puede llevar un tratamiento especial, como algunos casos en ambiente marino.



Figura 11. Ejemplo de instalación fotovoltaica constituida por varios paneles.

Los marcos soporte llevan los taladros necesarios para su fijación. Un marco no debe ser taladrado ya que las vibraciones producidas pueden romper el vidrio. Algunos incorporan una toma de tierra, que debe ser usada especialmente si el número de módulos instalados es grande.

Contactos eléctricos de salida

Son aquellos que van a permitir evacuar la energía eléctrica producida por el conjunto de células. Las formas y los métodos son variados. Unos fabricantes proporcionan uno o dos metros de cable que sale del interior del panel, otros disponen de bornes positiva y negativa,...

Lo adecuado es que incorporen una caja de conexiones estanca y sujeta al marco por la parte en la que salen los terminales de interconexión. Que el módulo incorpore una caja de conexiones de calidad es muy importante, ya que debe garantizar que no penetre la humedad en esa zona y, a la vez, facilitar el cableado para que la conexión de una gran cantidad de módulos no sea complicada.

Diodos

Normalmente, la caja de conexiones del módulo tiene más terminales que el positivo y el negativo. Esto es así porque permite la colocación de unos diodos que están conectados en paralelo con grupos de células conectadas en serie. Se instalan para proteger al panel solar fotovoltaico de efectos negativos producidos por sombras parciales sobre su superficie. Este efecto, denominado efecto sombra, se analizará más adelante.

3.2.2. Características eléctricas

Las células fotovoltaicas de un panel proporcionarán más o menos electricidad en función de la mayor o menor cantidad de energía solar que incida sobre su superficie. Pero además, la respuesta de un panel o módulo solar frente a la radiación solar queda determinada por todos los materiales empleados a la hora de su fabricación y, en especial, por las células que lo forman.

Es necesario poder definir varias características del panel solar para poder comparar y determinar calidades, eficacia y estabilidad eléctrica.

En la documentación que entrega el fabricante o el instalador, así como en el etiquetado que el módulo solar fotovoltaico lleva adherido, figura una terminología eléctrica que se explica a continuación.

Además de información general del producto, el tipo de célula, las características físicas del panel (ancho, largo, espesor y el peso), el tipo de caja de conexión, esquema o descripción con las distancias de los agujeros de fijación del marco, aparece lo que se denomina la curva I-V (curva intensidad-voltaje) del módulo solar.

La curva característica I-V de un módulo fotovoltaico informa sobre los distintos valores de tensión e intensidad que puede proporcionar ese módulo. Se obtiene en condiciones de medida de uso universal, conectando el panel a una resistencia cuyo valor va variando de cero a infinito mientras se miden los distintos valores que resultan de intensidad y tensión. Las condiciones estándar para medir las respuestas de los paneles fotovoltaicos son:

- *Condiciones CEM* (condiciones estándar de medición). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de 1000 W/m^2 , una distribución espectral (Masa de Aire) AM 1,5 y una temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Aquí se miden la potencia máxima (P_{MAX}) que puede suministrar el panel, la intensidad de cortocircuito (I_{SC}) y la tensión de circuito abierto (V_{OC}).
- *Condiciones TONC* (temperatura de operación nominal de la célula). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de 800 W/m^2 , una velocidad de 1 m/s del viento sobre el módulo, una distribución espectral AM 1,5 y una temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. El valor TONC de muchos módulos del mercado actual se encuentra entre $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y $46 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los parámetros que se reflejan en una curva I-V son:

- Intensidad de cortocircuito (I_{SC})
- Intensidad en el momento de máxima potencia (I_{MAX})
- Tensión de circuito abierto (V_{OC})
- Tensión en el momento de máxima potencia (V_{MAX})
- Potencia pico o potencia máxima (P_{MAX})
- Las condiciones de operación.

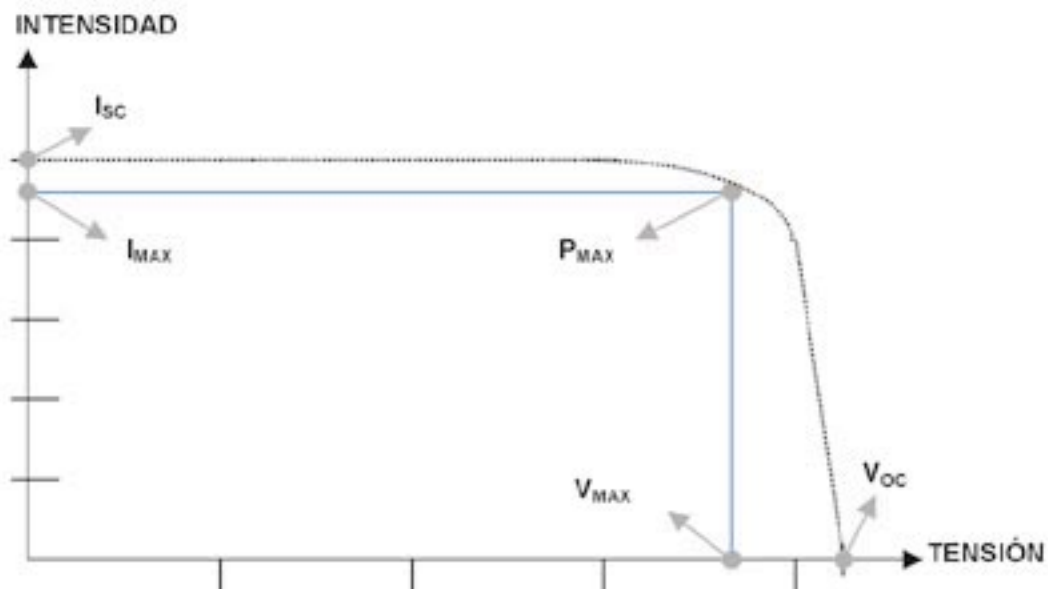


Figura 12. Curva característica I-V de un panel fotovoltaico.

Intensidad de cortocircuito (I_{sc}) y tensión de circuito abierto (V_{oc})

La intensidad de cortocircuito se mide en amperios. Es la intensidad máxima que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, provocando un cortocircuito. Al no haber resistencia al paso de la corriente el voltaje es cero.

La tensión de circuito abierto se mide en voltios. Es el voltaje máximo que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, en circuito abierto. Al no haber conexión entre los bornes del panel, la intensidad es nula.

Potencia pico o potencia máxima (P_{MAX})

La potencia que es capaz de suministrar un panel se da siempre en vatios pico (Wp). El panel fotovoltaico funciona a potencia máxima cuando proporciona una corriente y una tensión tal que su producto es máximo ($I_{MAX} \times V_{MAX} = P_{MAX}$). A ese punto de coordenadas (I_{MAX} , V_{MAX}) se le denomina punto de máxima potencia.

Normalmente un panel no trabaja a potencia máxima debido a varios condicionantes, entre otros a que la resistencia exterior está dada por las condiciones particulares del circuito al que esté conectado (la instalación).

Como se ha dicho, los experimentos en laboratorio y los ensayos de módulos solares fotovoltaicos suelen hacerse en condiciones de un sol pico de intensidad (1000 W/m^2). Así, la P_{MAX} de un panel siempre se supone referida a una intensidad de un sol pico.

También es posible encontrar dentro de las especificaciones del fabricante la potencia mínima P_{MIN} garantizada contra la degradabilidad de las constantes eléctricas.

Si se colocase un panel orientado al sol en el exterior de la atmósfera terrestre, recibiría aproximadamente una intensidad de radiación de 1354 W/m^2 , es la llamada *constante solar*. A medida que la radiación solar penetra en la atmósfera, va perdiendo intensidad al atravesar aire, vapor de agua, polvo, contaminación... Depende de algún otro factor, pero la energía solar que llega a la superficie terrestre, a nivel del mar, y en las horas centrales de un día soleado, tiene una intensidad de 1000 W/m^2 . Los otros 354 W/m^2 se pierden.

Pues bien, si durante una hora, un módulo solar fotovoltaico de 75 Wp de P_{MAX} recibe una radiación de 1000 W/m^2 , producirá 75 Wh (vatios hora). Si recibe menor radiación, el módulo generará proporcionalmente menor energía.

Intensidad y voltaje en el punto de máxima potencia (I_{MAX} y V_{MAX})

Las mediciones I_{SC} y V_{OC} son casos extremos que se realizan sin conectar ninguna carga al panel solar. En la vida real del módulo, lo normal es que esté conectado a una carga (un consumo, una batería, ...) y que fluya una corriente eléctrica al circuito exterior del módulo, circuito que es real y tiene una determinada resistencia al paso de la corriente.

Entonces, el trabajo del panel viene dado por la intensidad (I) y la tensión (V) que determine la resistencia del circuito y siempre serán valores más pequeños que I_{SC} y V_{OC} . A la intensidad y al voltaje que correspondan a la potencia máxima que es capaz de generar el panel se les denomina (aunque no sea correcto) intensidad máxima (I_{MAX}) y voltaje máximo (V_{MAX}).

Es preciso detenerse un poco en esta denominación que puede resultar engañosa. En la curva I-V de la página anterior, se observa que V_{OC} es mayor que V_{MAX} , y que I_{SC} es mayor que I_{MAX} . El nombre de intensidad máxima y de voltaje máximo se les da por corresponder al punto de máxima potencia.

También es necesario reflexionar sobre el hecho de que el panel solar tiene que cargar un sistema de acumulación de 12 V (caso típico), y para hacerlo el panel siempre tendrá que tener una tensión superior a 12 V , aún en condiciones de baja pero aprovechable radiación solar.

Factor de forma (FF)

Es un concepto técnico, poco conocido y muy válido. FF siempre será un valor más pequeño que 1 y el módulo fotovoltaico será tanto mejor cuanto más se aproxime a 1 su factor de forma. Entre 0,65 y 0,84 se encuentran muchos modelos de paneles. Las células de silicio monocristalino suelen tener mejor valor.

$$FF = \frac{P_{\text{MAX}}}{I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{OC}}}$$

3.2.3. Influencia de la temperatura

Al colocar el panel al sol se produce electricidad, pero también se provoca el calentamiento de las células. La temperatura de trabajo de las células puede ser de 20° a 25 °C superior a la temperatura ambiente. Y, al igual que ocurre en muchos dispositivos eléctricos y/o electrónicos, el exceso de temperatura resta eficacia. Esa pérdida de eficacia se puede cifrar en un 0,5% menos de potencia por cada grado de temperatura por encima de 25 °C.

El punto caliente

En lo que se refiere al problema del *punto caliente*, lo mejor es poner un ejemplo. Sea un módulo de 36 células asociadas en serie, de las cuales 35 producen igual y la restante produce muy por debajo de las demás.

Si dentro del módulo una célula se encuentra sombreada y las otras no, o tiene un defecto de fabricación, se ve obligada a comportarse como una carga. En vez de producir energía, la consume, y comienza a disipar la energía generada por las demás. La célula sombreada eleva su temperatura. Y este problema puede llegar a dañar de forma irreversible el encapsulante.

Para resolver este inconveniente, se colocan diodos de protección dentro de la caja de conexiones del módulo. Estos diodos van conectados en paralelo con grupos de células asociadas en serie. Si el módulo trabaja correctamente no influyen en el funcionamiento, pero cuando algunas células se polarizan inversamente, el diodo proporciona un camino de paso a la corriente y limita la potencia a disipar por célula. También existen algunas ocasiones en las que requiere la presencia de diodos de bloqueo, conectados en serie con cada elemento de las asociaciones en paralelo. Este diodo de bloqueo es frecuente en generadores de gran tamaño.

Además, para evitar las descompensaciones que se producen dentro del módulo, si unas células trabajan más que otras, se procede a una meticulosa selección. Elegidas dentro de un rango muy estrecho en cuanto a parámetros eléctricos, son agrupadas para formar un módulo o panel. Debido a los controles a los que se someten a las células antes de ensamblarlas dentro de un módulo y a los módulos posteriormente, un error de fábrica debido a descompensaciones internas es difícil que ocurra.

El problema de punto caliente puede deberse a que el montaje de módulos solares se haya realizado en los meses del verano, sin tener en cuenta las posibles sombras arrojadas sobre las células por cualquier obstáculo en otras épocas del año, o también que el módulo tenga una zona mucho más sucia que otra y que por ello algunas células reciban mucho menos radiación que otras. Ambos casos habrán de ser tenidos en cuenta para poder evitar dicho problema.

4 Elementos de la instalación fotovoltaica

Una instalación fotovoltaica se puede describir como una instalación eléctrica que incluye todos o algunos de los siguientes elementos:

- *El generador solar fotovoltaico.* Compuesto de un número determinado de módulos fotovoltaicos convenientemente conectados, situados de tal forma que reciban sobre su superficie la energía solar necesaria para la generación fotovoltaica calculada en cada aplicación.
- *El generador auxiliar.* Existen instalaciones fotovoltaicas que incorporan un generador auxiliar de electricidad para determinados momentos, y la energía de éste puede ser de origen renovable (eólica, hidráulica) o fósil (grupo diésel, gasolina).
- *El sistema de acumulación.* Tiene la función principal de acumular la energía generada en exceso en momentos de bajo consumo o alta insolación, para entregarla cuando se produzcan consumos altos o haya baja o nula insolación.
- *El acondicionamiento de la potencia.* Son un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que trabajan entre la generación, acumulación y consumo de electricidad. Además aportan el control y la protección necesaria para la instalación. Los más conocidos son el regulador y el convertidor.
- *Los consumos.* Pueden ser de origen y características diversas pero básicamente se pueden hacer dos grandes grupos, los consumos en corriente continua (CC) y los consumos en corriente alterna (CA).
- *La red eléctrica convencional.* En ocasiones, el sistema solar no es autónomo y actúa acompañado por la red eléctrica. En otros casos, la instalación solar se realiza para inyectar la energía generada en la red eléctrica.

A continuación, se procederá a comentar con más detalle los siguientes cuatro elementos:

- El campo solar fotovoltaico o generador solar fotovoltaico.
- El regulador.
- El acumulador.
- El convertidor (tanto autónomo como de conexión a red).

4.1. El generador solar fotovoltaico

Uno o varios paneles constituyen un generador solar fotovoltaico.

Como norma general de aplicación en las instalaciones de energía solar fotovoltaica, todas las células que forman un módulo responden a la misma descripción y a la misma curva de I-V. Y todos los módulos que forman un generador responden a la misma descripción y a la misma curva de I-V. Es decir, no se deben montar módulos de distintas características y potencias. Todos los módulos que forman un generador solar fotovoltaico han de tener las mismas características eléctricas.

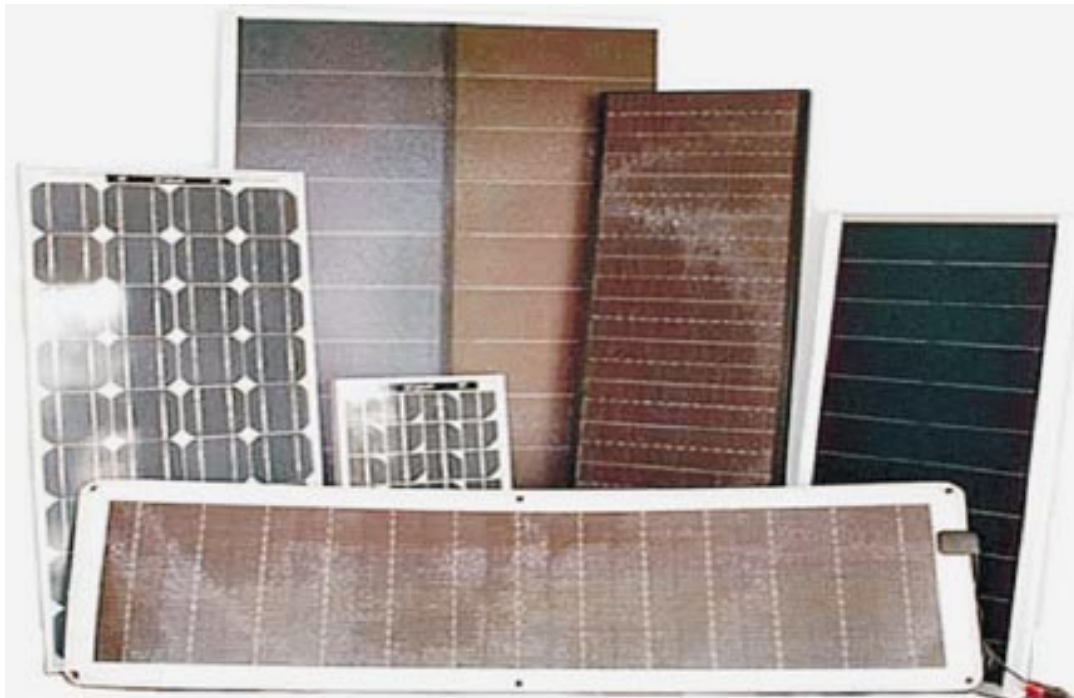


Figura 13. El mercado ofrece gran variedad de módulos.

Un generador fotovoltaico se puede diseñar de varias maneras. Una forma que la experiencia ha determinado como válida, consiste en elegir un determinado modelo de módulo solar y utilizarlo como elemento base del generador fotovoltaico que se pretenda construir.

El correcto cableado y conexión de los módulos fotovoltaicos exige la utilización de materiales de buena calidad, ya que todo este conjunto se va a colocar a la intemperie. Los instaladores deberán tener especial cuidado en la realización de las conexiones. Incrementos de la temperatura del cable, aumento de la resistencia al paso de la corriente eléctrica, pérdidas de tensión, rotura de equipos de control, y otras, son situaciones adversas dentro de un circuito eléctrico que suelen tener origen en malas conexiones.

Las instalaciones fotovoltaicas deben atenerse a lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

La conexión eléctrica entre paneles o módulos solares puede ser de tres clases:

- Conexión en serie. Aumenta la tensión.
- Conexión en paralelo. Aumenta la intensidad.
- Combinando las dos primeras hasta lograr la intensidad y tensión necesaria.

Al conectar dos paneles iguales en paralelo, la tensión que se obtiene es igual que la de un solo módulo, sin embargo, la intensidad es el doble. Si por el contrario la conexión es en serie, la intensidad que se obtiene es la misma que la un solo módulo, pero la tensión es el doble. Véase con un ejemplo:

Sea un panel solar de 100 Wp de P_{MAX} , 5,4 A de I_{MAX} y una tensión teórica de 12 Vcc (12 voltios, corriente continua).

- Conectando dos de estos paneles en paralelo el resultado será 200 Wp de P_{MAX} , 11,48 A de I_{MAX} y tensión teórica de 12 Vcc.
- Conectándolos en serie, se obtienen también 200 Wp de P_{MAX} , pero cambian intensidad y tensión, 5,74 A de I_{MAX} y una tensión teórica de 24 Vcc.

Un generador fotovoltaico está calculado para que genere una tensión de salida algo superior a la tensión que necesita un acumulador para completar su carga; de esta forma, el generador fotovoltaico siempre estará en condiciones de cargar el acumulador, incluso en condiciones adversas (temperatura de las células alta, o baja insolación...). Cuando se habla de tensión teórica de trabajo, en un sistema, de 12 voltios, el panel tiene que suministrar una tensión superior a ésta para poder así cargar las baterías; es decir, la tensión real es mayor.

Con bastante frecuencia se realizan conexiones tanto en serie como en paralelo hasta conseguir los valores idóneos para cada aplicación. Por ejemplo, si se conectan 8 módulos como el arriba descrito, de manera que sean 2 grupos conectados en paralelo de 4 módulos en serie, se obtiene un resultado de: 800 Wp de P_{MAX} , 11,48 A de I_{MAX} y una tensión teórica de 48 Vcc.

Inclinación y orientación

Para obtener el mayor rendimiento del generador fotovoltaico se ha de procurar que reciba la mayor cantidad posible de luz solar sobre su superficie activa. Y como el sol varía su posición en el cielo cambiando su altura y la inclinación de sus rayos, se debe determinar cuál será la colocación ideal.

Lo más avanzado en esta materia consiste en no realizar cálculos de ningún tipo y dotar al generador de un dispositivo que haga que el conjunto de paneles siga continuamente la trayectoria del sol en el cielo. De esta manera se puede obtener el máximo de energía solar. Pero sin embargo, hoy por hoy, un seguidor solar también tiene sus limitaciones ya que requiere una inversión económica, un mantenimiento y, además, consume energía eléctrica.

A la hora de realizar una instalación fotovoltaica existe una premisa básica que siempre debe respetarse, el generador solar, el sistema de control de potencia (regulador, convertidor...) y el sistema de acumulación, si lo hubiere, deberán instalarse buscando las distancias más cortas posibles entre ellos. Esta regla puede influir en la decisión de la ubicación ideal de los paneles.

En el mercado se encuentran disponibles diseños de estructuras soporte para paneles solares que permiten el cambio de inclinación de forma manual (2 ó 4 inclinaciones a lo largo del año), y multitud de estructuras para colocar módulos de forma estática. Se van a presentar numerosas posibilidades a la hora de decidir dónde y cómo situar el generador fotovoltaico. Dependiendo del lugar y de las características de la instalación, los módulos fotovoltaicos pueden colocarse en terrazas, tejados, fachadas, ventanas, balcones, y cornisas. Existe la posibilidad de colocarlos a 50 cm del suelo, en un poste, en una valla...

En el hemisferio norte, en la zona templada, se pueden establecer unas recomendaciones:

- Resulta fundamental asegurarse de que no hay obstáculos que puedan dar sombra al generador solar.
- Los módulos solares fotovoltaicos estarán orientados al Sur, o con una desviación no superior a $\pm 10^\circ$ respecto de éste. Se situarán sobre unas estructuras o soportes que permitan formar un ángulo respecto del plano horizontal.
- Las estructuras y los soportes necesarios para el generador fotovoltaico serán de aluminio anodizado, acero inoxidable o hierro galvanizado; la tornillería de acero inoxidable, y estarán calculadas para soportar vientos de por lo menos 150 km/hora.

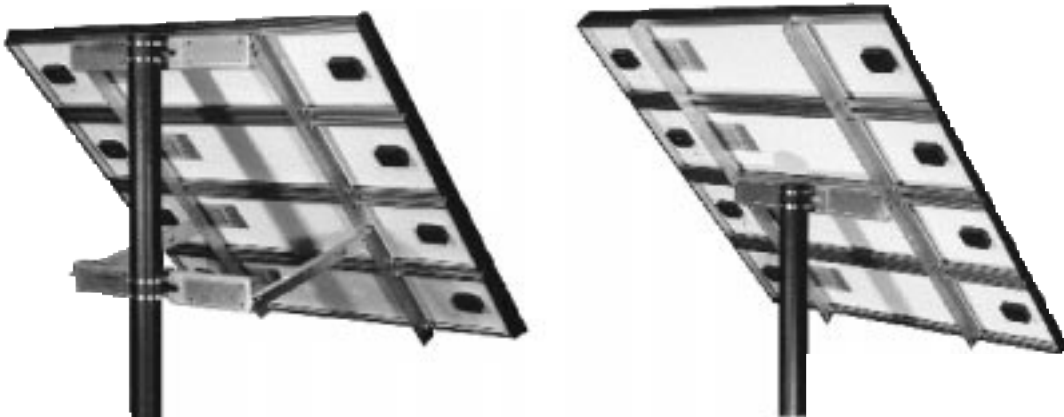


Figura 14. Ejemplo de soporte de paneles en un poste.

Más concretamente, en la Comunidad Autónoma del País Vasco se pueden recomendar las siguientes inclinaciones:

- Orientación Sur y 58° de inclinación en aplicaciones que se utilicen todo el año y que sean instalaciones autónomas. Aunque estar inclinados 4° por encima o por debajo de este ángulo óptimo representa desfases admisibles. Con orientación sur e inclinación de 58° se captan en nuestro territorio la máxima radiación en los meses invernales.

- Orientación Sur y 32° de inclinación en generadores fotovoltaicos conectados a red ya que se consigue la mayor cantidad de energía al año. El ángulo de inclinación idóneo para una instalación de conexión a red es aquel donde la producción de todo el año resulta ser la más alta, ya que se trata de suministrar el máximo de energía independientemente de la época del año.
- Orientación Sur y 25°-30° de inclinación para instalaciones que sólo se utilicen los meses de verano.
- En todos los casos, es recomendable una inclinación superior a los 15° para favorecer el deslizamiento de agua, o de suciedades. Y en algunos casos, en zonas con alta probabilidad de nevadas, resulta obligatorio como mínimo 40°.

Dentro de lo que representa la ubicación, inclinación, y orientación del generador solar, los instaladores, en determinados casos, pueden llegar a asumir pérdidas de hasta un 10% para conseguir un diseño del cableado sencillo, que salve las dificultades de acceso para el montaje, garantice la estanqueidad de los tejados, y asegure que no se produzcan sombras parciales en la superficie de los paneles.

En ocasiones, la instalación fotovoltaica se compone de gran cantidad de módulos. Al haber muchos paneles para colocar y poco sitio adecuado para ello, no se pueden poner todos juntos y se debe recurrir a instalar varios campos fotovoltaicos, es decir, colocar varias filas de paneles unas detrás de otras.

En estas situaciones el instalador debe tener especial cuidado en comprobar que a lo largo del año unas filas de paneles no proyecten su sombra sobre las otras. Hay que asegurarse también de que todos los paneles que compongan una fila tengan la misma inclinación y orientación.

4.2. El acumulador

En las instalaciones fotovoltaicas autónomas, los módulos solares fotovoltaicos, una vez instalados, siempre se encuentran disponibles para generar electricidad. Sin embargo, la cantidad de radiación solar que reciben se presenta variable, sometida al ciclo diario de los días y las noches, al ciclo anual de las estaciones y a la variación aleatoria del estado de la atmósfera con sus días claros, nublados, tormentas, etc.

Por ello, puede ocurrir muchas veces que la energía que una instalación fotovoltaica entrega difiere, por exceso o por defecto, de la que demandan los consumos conectados a ella. Y en la mayoría de los casos, el correcto abastecimiento exige almacenar energía cuando la producción es superior a la demanda, para utilizarla en situación contraria.

El acumulador almacena energía siendo capaz de transformar la energía potencial química en energía eléctrica, y cumple las siguientes funciones:

- Es capaz de suministrar energía en cada momento independientemente de la producción eléctrica de los módulos fotovoltaicos en ese momento, pudiendo alimentar los consumos durante varios días.

- Es capaz de mantener un nivel de tensión estable, proporcionando un voltaje constante dentro de un cierto rango independientemente de que el generador funcione en ese momento o no.
- Es capaz de suministrar una potencia superior a la que el generador solar podría dar en un momento propicio.

Pero la utilización de acumuladores tiene también sus inconvenientes:

- Almacenar energía en baterías siempre conlleva una pérdida energética, y no toda la energía que entra en un acumulador puede ser retirada después en el proceso de descarga.
- Cuanto mayor uso se le dé al acumulador, antes llegará a su fin. Y la vida útil de un acumulador no se mide en años, se mide en ciclos. Un ciclo es el proceso completo de carga y de descarga. Si el acumulador tiene una vida útil de 3.000 ciclos puede darse el caso de completarlos en 8 ó 9 años, dependiendo de la aplicación y de la utilización, además de otros factores.

La elección del sistema de acumulación de una instalación solar siempre es un compromiso entre la economía y la idoneidad, respetando por supuesto, el principio de procurar la calidad mínima necesaria que asegure la fiabilidad y la larga vida de la instalación.



Figura 15. Acumuladores.

En las instalaciones autónomas, se demandan bastantes consumos en horas en las que no luce el Sol, por eso se necesita un acumulador adecuado. Un acumulador que, además, debe ser garantía de abastecimiento en periodos con condiciones desfavorables de generación fotovoltaica, como en invierno, cuyas noches son más largas que en verano y hay menor disponibilidad del recurso solar. En estos casos el sistema de acumulación adquiere una relevancia extraordinaria en el conjunto de la instalación.

Por otro lado, existen instalaciones fotovoltaicas en las que los consumos también se conectan en las horas de Sol. Entonces el acumulador trabaja menos ya que existe una potencia que se aprovecha directamente del generador fotovoltaico a través del regulador. Es decir, el consumo también recibe energía de los paneles solares, y no sólo del acumulador. En estos casos puede ser de menor tamaño, y no tener tanta importancia en la instalación.

Y por último hay casos en los que el acumulador electroquímico desaparece debido a que no es necesaria su presencia dentro del sistema. Es el caso del bombeo directo fotovoltaico, en el que lo que se almacena no es la energía necesaria para extraer agua del pozo cuando sea necesaria, sino que se almacena el agua ya bombeada en un depósito para cuando se necesite. Además, estas aplicaciones necesitan funcionar más cuando más Sol hace, es decir, cuando los días son más largos y hay mayor radiación solar (verano) se requiere bombear más agua.

La instalación solar durará más tiempo si su parte menos robusta (las baterías) trabaja bien, por ello siempre es recomendable conectar los consumos (cuando se pueda) en las horas centrales del día. Por ejemplo, si se necesita conectar una lavadora en una instalación solar, siempre será más inteligente conectarla a la dos de la tarde que a las dos de la mañana. Esto es debido a que la energía de los módulos fotovoltaicos se dirige directamente al consumo, sin pasar por el acumulador; y esto es un factor importante ya que por cada unidad de energía que se le pida al acumulador, ha sido necesario generar antes algo más de una unidad.

4.2.1. Conceptos básicos

En las especificaciones técnicas que proporciona el fabricante o el instalador fotovoltaico existe una terminología propia del acumulador que suele resultar confusa para muchos usuarios. A continuación se definen varios parámetros de forma muy breve.

El acumulador o batería es un dispositivo compuesto por elementos activos que convierten directamente la energía química en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica de reducción-oxidación (redox). El sistema de almacenamiento de energía de una instalación solar fotovoltaica normalmente está compuesto por acumuladores o baterías.

Se clasifican en:

Batería primaria. Batería que sólo se descarga y no se puede recargar mediante la aplicación de una corriente. Normalmente se conocen como pilas, de usar y tirar. No se usan en el campo fotovoltaico.

Batería secundaria. Acumulador que, después de una cierta descarga, puede recibir una recarga hasta su capacidad total. Se conocen como baterías.

Según su régimen de funcionamiento se dividen en:

De ciclo o descarga profunda. Acumulador provisto de grandes placas tubulares que pueden soportar mucha descarga hasta llegar a un nivel bajo de carga. Permiten, sin deterioro apreciable, descargas de hasta el 80% de su capacidad, teniendo su descarga diaria situada entre el 20-25%.

De ciclo o descarga superficial. Batería compuesta de placas pequeñas que no puede soportar mucha descarga antes de llegar a un bajo nivel de carga. Estas baterías tienen una descarga rutinaria entre el 10 y el 15% y alguna vez alcanzan el 45% en un ciclo más profundo.

4.2.2. Características fundamentales

En las especificaciones técnicas y comerciales facilitadas por el fabricante del acumulador es posible encontrar los siguientes datos:

- Tipo de batería.
- Tensión nominal de trabajo
- Capacidad en Ah para regímenes de descarga de C_{20} , C_{50} y C_{100} .
- Rango de temperaturas de funcionamiento.
- Profundidad máxima de descarga.
- Régimen de pérdidas de capacidad por autodescarga.
- Voltajes finales en función del régimen de descarga.
- Voltaje máximo de carga en función de la temperatura del electrolito y del régimen de carga.
- Temperatura de congelación del electrolito.
- Dimensiones y peso.
- Densidades del electrolito.
- Tipo de placa.

Sobre el sistema de acumulación, se tendrá presente:

- Llevará indicado de forma indeleble el polo positivo y el negativo mediante los signos + y -.
- Llevará indicado el tipo, marca, modelo de batería y la fecha de inicio del periodo de garantía.
- Llevará indicada la tensión nominal de trabajo y la capacidad.
- El sistema de acumulación debe situarse lo más cerca posible del generador fotovoltaico.
- Los acumuladores deberán estar eléctricamente aislados del suelo.
- Para un sistema de acumulación, una sola tensión de trabajo.
- Los acumuladores estarán lejos de cualquier llama u objeto incandescente.
- Los parámetros máximos y mínimos de temperatura en la sala de acumuladores los proporcionará el fabricante. Como referencia, debe oscilar entre 5 °C y 35 °C.
- La batería llevará un sistema de protección de los bornes y conexiones que impida el contacto con objetos extraños. No deben dejarse herramientas ni objetos metálicos encima de la batería. Es necesario procurar que sean inaccesibles los dos bornes simultáneamente, de manera que puedan producirse cortocircuitos.
- Cuando se manipule el electrolito, existe un procedimiento, y se debe utilizar siempre protección visual (Gafas o pantallas incoloras).

A continuación, se procede a explicar dos conceptos que se muestran muy útiles para el correcto conocimiento de los acumuladores: la capacidad y la profundidad de descarga.

La capacidad

Durante el proceso de descarga, el acumulador o batería transforma la energía potencial química que guarda en su interior en energía eléctrica. Para cargar la batería el proceso se realiza al revés, es decir, se le aplica una corriente eléctrica, y así almacena energía eléctrica en su interior para disponer de ella en otro momento.

Cuando el acumulador se encuentra totalmente cargado, la capacidad es la máxima cantidad de energía eléctrica que puede proporcionar en una descarga completa, a un régimen de descarga y temperatura especificadas.

La capacidad de una batería se mide en amperios hora (Ah) relacionado siempre a un determinado tiempo (horas) de descarga. La capacidad nominal es la multiplicación de la intensidad de descarga por la cantidad en horas que ésta actúa. Por ejemplo: Si la batería tiene 200 Ah C₁₀ (el 10 debajo de la C significa a 10 horas) significa hay disponibles 20 amperios durante 10 horas de descarga.

Normalmente la capacidad nominal de un acumulador viene determinada por el fabricante bajo unas condiciones de operación. Una vez que el acumulador se encuentre instalado, las condiciones de trabajo pueden ser distintas por varios factores. Por ello la correcta instalación, conexión y utilización del acumulador determinan la vida útil de éste en bastantes ocasiones.

En la vida real, en el funcionamiento de un acumulador en una instalación fotovoltaica y para evitar romperlo, sólo es posible tener disponible para el consumo la *capacidad útil*. La capacidad nominal del fabricante siempre será mayor que la capacidad útil. Lo más usual es que la capacidad útil sea aproximadamente el 70% de la capacidad nominal, aunque esta cifra puede oscilar entre 30 y 90% dependiendo de tipos y modelos de acumuladores.

La capacidad de un acumulador también depende de la velocidad con la cual se extrae la energía que encierra. Por ejemplo, un acumulador totalmente cargado que proporciona 20 kWh en una descarga a cien horas, solamente entregará 12 kWh si la descarga se produce en diez horas.

La capacidad de un acumulador también depende de la temperatura a la que se encuentre. A menor temperatura menor capacidad disponible, y el ideal es que siempre funcionen a 25 °C.

Y con respecto a la capacidad, un último comentario. Al igual que a la hora de conectar paneles entre sí, se pueden asociar los paneles en serie, en paralelo, o mediante una combinación de ambos, ocurre igual con los acumuladores. Si en un panel se asocian en serie entre 30 y 36 células para alcanzar una tensión teórica de trabajo de 12 V, en un acumulador se asocian en serie seis vasos acumuladores de 2 V cada uno para alcanzar esa misma tensión de trabajo. Y además se pueden asociar grupos de acumuladores para alcanzar otras tensiones de trabajo. En la figura 16 se observa un esquema con dos tipos de asociaciones, un grupo de acumuladores compactos con tensión de salida de 12 V, y un vaso acumulador de 2 V de tensión de trabajo.

Normalmente, las grandes bancadas de acumuladores se obtienen asociando varios grupos de seis vasos de 2 V como el de la figura 16, obteniendo así tensiones de trabajo típicas de 12 V, 24 V ó 48 V.

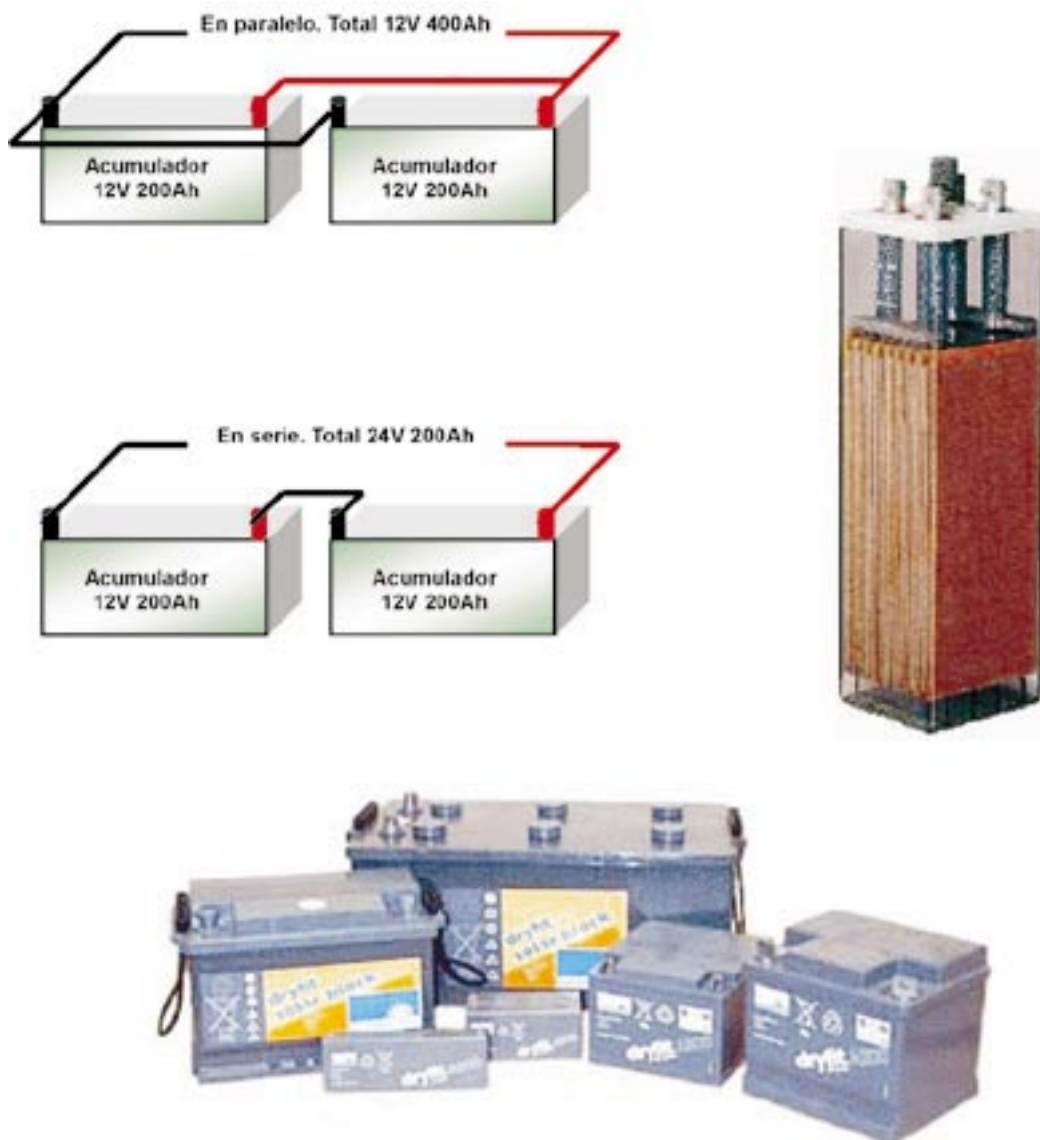


Figura 16. Esquema de conexión de acumuladores y diferentes modelos.

Profundidad de descarga

Hace referencia, en % de la capacidad nominal, a los Ah extraídos del acumulador plenamente cargado. Su opuesto es el estado de carga, que es la capacidad disponible expresada como un porcentaje de la capacidad nominal.

Si la descarga del acumulador se produce en un periodo largo de tiempo representará una profundidad de descarga menor que si se realizara en un periodo corto, debido a que la capacidad del acumulador aumenta en función del tiempo que dura la descarga.

Como referencia, un típico requerimiento en las condiciones de trabajo de un acumulador solar comprende la descarga diaria entre el 10% y el 25% de su capacidad y un 70% u 80% de descarga una o dos veces al año.

4.3. El regulador

La principal misión del regulador es la de gestionar la corriente eléctrica que absorbe o cede (en corriente continua) el acumulador o batería de acumuladores. Vigilando el ciclo de carga y descarga, desarrolla un papel fundamental en la gestión de una instalación fotovoltaica autónoma: Proporciona el control que día a día se necesita. El regulador siempre es recomendable para la seguridad y protección del sistema de acumulación, y en la casi totalidad de las ocasiones es de utilización obligatoria.

Su labor consiste en evitar sobrecargas y sobredescargas en las baterías. Si el acumulador está lleno y el panel recibe radiación, éste intentará inyectar energía en la batería sobrecargándola. Para evitarlo el regulador corta esta inyección de energía. Y en el caso contrario, si el acumulador está bajo de carga y se intenta seguir extrayendo energía, el regulador corta el suministro de energía protegiendo así la batería.

Algunos reguladores incorporan dispositivos de información que proporcionan datos de interés del sistema, permitiendo controlar parámetros como la temperatura, lectura de la intensidad de carga, de descarga, y la tensión de batería, incluso algunos modelos incorporan contadores de Ah.

La programación interna proporciona un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, y son muchos los reguladores que permiten la modificación de sus parámetros de funcionamiento fácilmente. También existen con la posibilidad de visualizar datos de interés, para conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado.

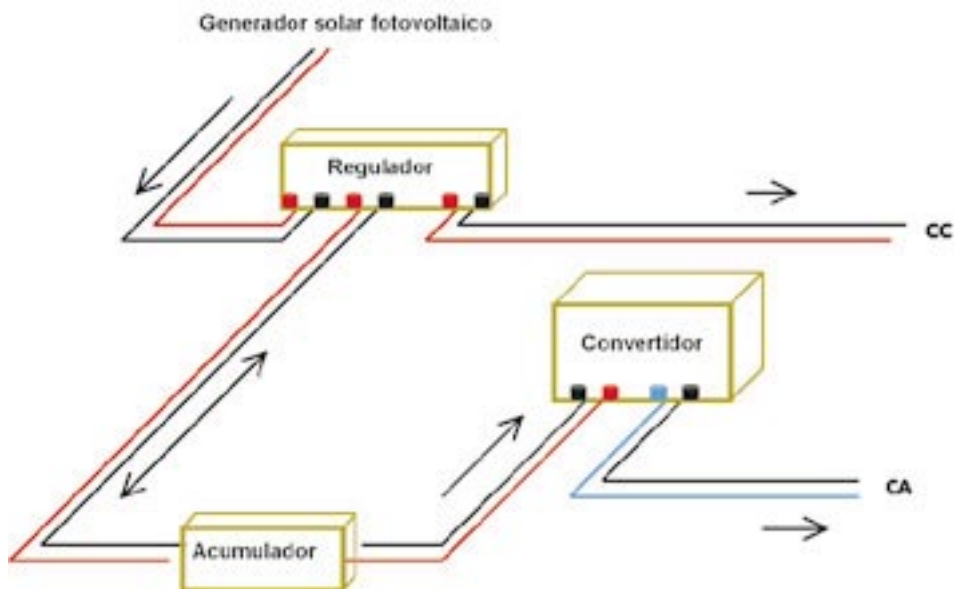


Figura 17. Esquema del flujo de energía en una instalación fotovoltaica.

Según el método que empleen para desarrollar su cometido, existen dos tipos de reguladores: los que trabajan en paralelo y los que lo hacen en serie.

El regulador paralelo (shunt) disipa toda la energía del generador fotovoltaico cuando el acumulador se encuentra totalmente cargado. Esto es razonable solamente en sistemas pequeños ya que la energía de exceso es convertida en calor por efecto Joule.

Cuando la tensión alcanza determinado umbral, el regulador shunt desvía la energía a un dispositivo de baja resistencia, apartándola del acumulador. El regulador shunt no se utiliza en sistemas grandes ya que disipar una potencia eléctrica grande acarrea problemas técnicos y económicos.

En *los reguladores de tipo serie* no se produce disipación de la energía cuando el acumulador se encuentra a plena carga y los módulos fotovoltaicos siguen intentando entregar energía al sistema. El regulador serie simplemente se limita a desconectar el generador solar del sistema de acumulación; es decir, interrumpe el circuito entre los paneles y la batería.

Conviene tener en cuenta tres puntos:

- Al manipular las conexiones del regulador, es necesario tener en cuenta que, aunque la incidencia de luz en las células solares sea mínima, lo más seguro es que haya tensión en el circuito de los paneles.
- Contrariamente a la creencia general, no todos los reguladores son iguales, ni se instalan de la misma manera, ni realizan su función utilizando la misma metodología. Por ello, no se comienza a conectar un regulador fotovoltaico sin antes estar totalmente seguro de haber entendido las instrucciones de instalación y operación del equipo, ya que si se diera el caso de mala utilización se produciría la invalidez de la garantía de compra.
- En el hipotético caso de que no se disponga de instrucciones para la conexión del regulador, se tendrá siempre en cuenta que lo primero en conectar y lo último en desconectar es la línea regulador/acumulador.

El proceso descrito a continuación sólo resulta válido para acumuladores de electrolito ácido. Estas baterías representan casi el 90% de las instaladas, y nunca se deben sobrecargar ni descargar excesivamente.

4.3.1. La carga y la desconexión de la línea de paneles

Los modernos sistemas de regulación aseguran una carga completa de los acumuladores. Una vez terminada la carga, el regulador interrumpe la conexión entre los paneles y las baterías, ya que es perjudicial seguir inyectando energía al acumulador cuando los acumuladores ya están cargados.

Existen dos procesos diferentes de carga: carga profunda y carga de flotación.

1. Al ser el voltaje (en bornes de la batería) y la temperatura indicadores del estado de carga de la batería, el regulador los detecta y mide constantemente.
2. Mientras se tenga corriente en la línea de paneles y el acumulador pueda recibir carga, el regulador trabaja en el proceso de carga profunda, buscando siempre la situación de final de carga.

3. Si el voltaje del acumulador llega al valor que el regulador tiene establecido como tensión final de carga el acumulador ha completado su ciclo de carga profunda.
4. Entonces el regulador procede a la desconexión eléctrica entre el generador y la batería (acumulador) o bien permite el paso de muy poca energía. Esta pequeña corriente se conoce por el nombre “de flotación” y se dice que el acumulador se encuentra en estado de flotación cuando solamente recibe la energía justa para mantenerse a plena carga.

Es decir, tras un proceso de carga profunda, una vez alcanzada la tensión máxima de regulación la tensión de la batería se mantiene mediante cargas intermitentes en el valor de la tensión de flotación. En esta situación se mantiene la carga alcanzada sin perjuicio alguno para el acumulador.

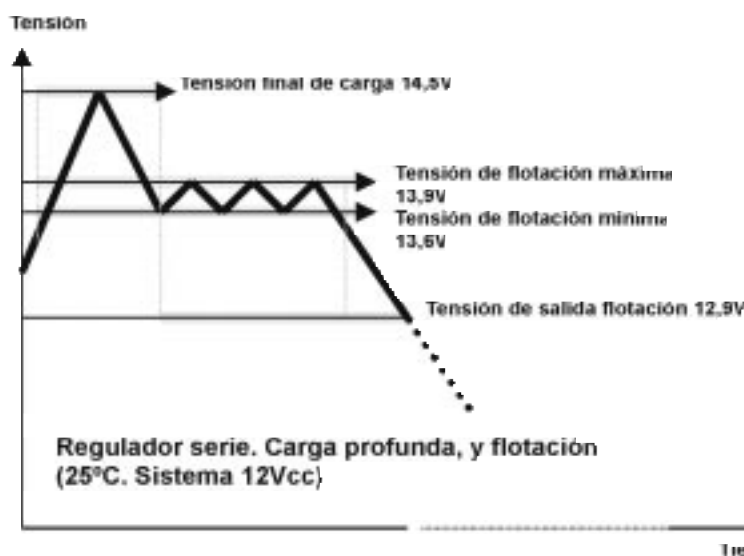


Figura 18. Gráfico del proceso de carga profunda y de flotación en un sistema de acumulación a 12 V.

Depende del sistema empleado y del acumulador, pero en un sistema de 12 V_{cc}, a 25 °C, la desconexión suele darse entre los 13,7 V y 14,4 V. En uno de 24 V_{cc} entre 28,7 V y 29 V. Y en sistemas de 48 V_{cc} entre 57 V y 58 V. La desconexión de la línea de carga (entre los paneles y el regulador) se puede realizar utilizando distintos elementos. Lo mejor y más económico es utilizar reguladores que contengan un relé de estado sólido en vez de electromecánico. Los relés de estado sólido construidos con semiconductores de potencia Mosfet proporcionan una fiabilidad y una duración muy superior a los sistemas electromecánicos, en los que el número de operaciones, la tensión de trabajo y las condiciones ambientales afectan sensiblemente a su funcionamiento y reducen su vida útil.

4.3.2. Baja tensión y desconexión de la línea de consumo

Cuando se consume mucha energía o se consume durante mucho tiempo, el acumulador se descarga. La mayoría de los sistemas de acumulación de las instalaciones fotovoltaicas son de electrolito ácido y es muy perjudicial descargarlos

completamente. Cuando el acumulador se descarga en exceso y se alcanza la tensión de alarma, el regulador puede activar una alarma, visual o acústica, y si la descarga continúa proceder al corte del suministro. En la mayoría de las ocasiones, para que se desconecte este circuito de alarma, es necesario que la tensión de batería se recupere hasta la tensión de rearme.

La salida para el consumo en corriente continua que disponen los reguladores incorpora una protección eléctrica para evitar descargas profundas. Esta protección corta el suministro de corriente (a los consumos) cuando la tensión de la batería desciende excesivamente. En un sistema de $12 V_{cc}$, a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, la desconexión suele darse entre $11,1\text{ V}$ y $11,4\text{ V}$. En uno de $24 V_{cc}$ entre $22,2\text{ V}$ y $22,8\text{ V}$. Y en sistemas de $48 V_{cc}$ entre $44,4\text{ V}$ y $45,6\text{ V}$.

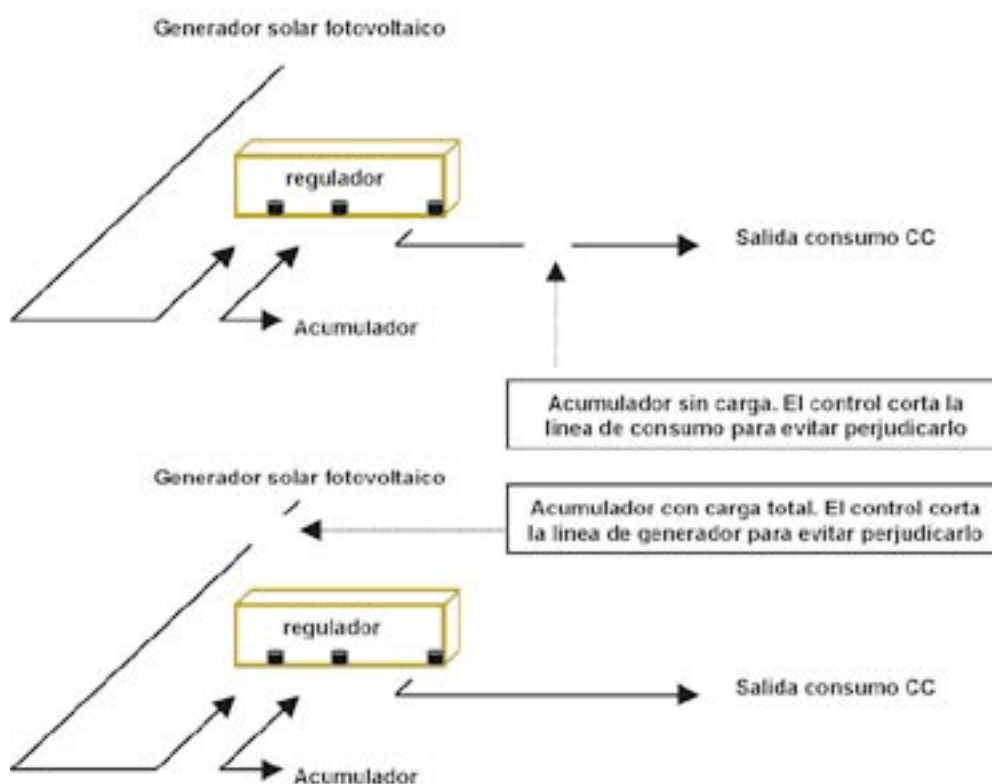


Figura 19. Actuación de un regulador ante situaciones de sobrecarga o sobredescarga.

4.4. El convertidor

Aunque en este texto va a ser denominado convertidor, en algunos sitios se le conoce como ondulador, y posiblemente el término más difundido es el de inversor. Se trata de un dispositivo, cuya finalidad es la de adaptar las propiedades de la corriente eléctrica generada o acumulada a las de la corriente eléctrica requerida total o parcialmente por los consumos.

Y se pueden hacer unas distinciones muy básicas:

- Existen determinadas aplicaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica en las que se necesita un convertidor CC/CC. Un ejemplo: pueden existir consumos que precisen $12 V_{cc}$ en instalaciones que generan y acumulan a 24 V ó $48 V_{cc}$. Y para

resolver esta situación, el convertidor CC/CC adapta la energía disponible (a 24 V ó 48 V), a la exigida por la carga (a 12 V).

- En instalaciones autónomas, y en las utilidades que demandan de equipos y/o consumos de corriente alterna es necesaria la presencia dentro del sistema fotovoltaico de un convertidor CC/CA. Es decir, un convertidor que proporcione CA a partir del sistema de acumulación que es de CC.
- Muchos de los fabricantes actuales tienen un modelo de convertidor que se denomina reversible. Es decir, no solamente extraen energía de la batería (CC/CA) como en el anterior apartado, también son capaces de inyectar energía a la batería para proceder a su carga (CA/CC). Se llaman entonces convertidores/cargadores o convertidores reversibles. En algunas ocasiones son una pieza fundamental en la instalación fotovoltaica no conectada a la red ya que proporcionan un número de combinaciones superior al normal.
- En los generadores fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, el convertidor de conexión a red es el corazón del sistema, siendo su función de una importancia extraordinaria. Es parecido a un convertidor CC/CA pero con prestaciones diferentes, como por ejemplo, la corriente alterna que proporciona se encuentra sincronizada con la existente en la red en ese momento. Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red tienen un futuro prometedor.

4.4.1. El convertidor autónomo

El convertidor autónomo es el que se utiliza en instalaciones fotovoltaicas alejadas de la red eléctrica de suministro. Este convertidor se conecta al sistema de acumulación, es decir, se conecta a las baterías de la instalación.

Las aplicaciones del convertidor CC/CA son muy variadas, siendo muy útil en sectores como electrificación rural autónoma, telecomunicaciones, náutica, vehículos de transporte, sistemas de emergencia, caravanas, y, en general, allí donde se disponga de un sistema de acumulación y sea necesaria la corriente alterna convencional.

A la hora de diseñar, calcular, o elegir el convertidor es necesario tener presente que hay que introducir en los cálculos la eficiencia de esta transformación energética.

Este convertidor debe incorporar un circuito de arranque automático que detecte cuándo se conecta un consumo. Mientras se encuentre en estado de espera y no esté alimentando ninguna carga, el convertidor consume muy poca energía. Se activa cuando detecta algún consumo por encima de un valor prefijado y una vez finalizada la demanda de energía el convertidor se detiene quedando de nuevo en espera.

Incorpora protecciones como la toma de tierra, la protección contra sobrecarga, contra cortocircuito, contra el aumento de temperatura del convertidor, y contra el bajo voltaje en el acumulador (así, al igual que el regulador, evita la descarga excesiva de las baterías).

La potencia del convertidor y el tiempo que esté funcionando deben estar en consonancia con la capacidad nominal del acumulador. Generalmente en las baterías ácidas: cuanto más corto es el tiempo de descarga, más pequeña es la cantidad de energía disponible. Por ello se debe elegir un sistema de acumulación de acuerdo al convertidor y viceversa.

Por otra parte, se debe seleccionar el convertidor de acuerdo a las características de los consumos a alimentar. Básicamente, los consumos pueden ser de dos tipos: Las cargas resistivas y las cargas inductivas.

Las cargas resistivas son aquellas en las que la electricidad produce calor o luz, y no, movimiento; y las cargas inductivas son las que generan movimiento. Estas últimas necesitan una mayor cantidad de energía para hacerlas arrancar que para mantenerlas en funcionamiento. Este aumento de energía demandada, que se produce sólo en el arranque, debe ser tenido en cuenta a la hora de elegir el convertidor, dado que durante estos momentos el convertidor ha de ser capaz de entregar una potencia dos o tres veces superior a su potencia nominal.

En el mercado se encuentra disponible una amplia gama de convertidores:

- Convertidores de onda cuadrada, especialmente indicados para cargas resistivas. Son los más baratos.
- Convertidores de onda senoidal, indicados para cualquier aparato eléctrico, suministran una corriente alterna de gran calidad. Son los más caros.
- Convertidores de onda cuadrada modificada o senoidal modificada. Se encuentran entre los dos anteriores, tanto en calidad de la onda suministrada como en precio.

Para conseguir el máximo rendimiento del equipo es muy importante seguir las instrucciones de instalación, sobre ubicación y conexión eléctrica.

En lo que se refiere a la ubicación física del convertidor, en primer lugar hay que tener presente las especificaciones dadas por el fabricante. También tener presente que la temperatura del emplazamiento adecuado de este equipo debe ser menor de 40 °C, en lugar seco y protegido de la intemperie. Y es importante que no queden cubiertas las rejillas de ventilación.

Siempre hay que colocarlo lo más próximo posible a los acumuladores, pero libre de la emisión de gases de éstos. El poner el convertidor cerca de las baterías se fundamenta en la caída de tensión que se puede dar en el cable que los comunica. Además, en este rango de tensiones, el transporte de energía en corriente continua es menos eficiente que en corriente alterna.

La sección de los conductores entre batería y convertidor debe de ser la adecuada en función de la longitud de la línea. En caso contrario, supondría grandes caídas de tensión si no se utilizan secciones correctas, reduciendo el rendimiento e incluso dañando el convertidor si no tuviera protección por baja tensión de alimentación.

El conductor utilizado debe estar provisto de terminales para su fijación a los bornes del equipo. En la entrada del convertidor se trabaja con intensidades altas y un mal contacto puede ser causa de caídas de tensión importantes y provocar calor excesivo. Antes de realizar la conexión a los bornes de entrada de corriente de batería es necesario comprobar la polaridad de los cables.

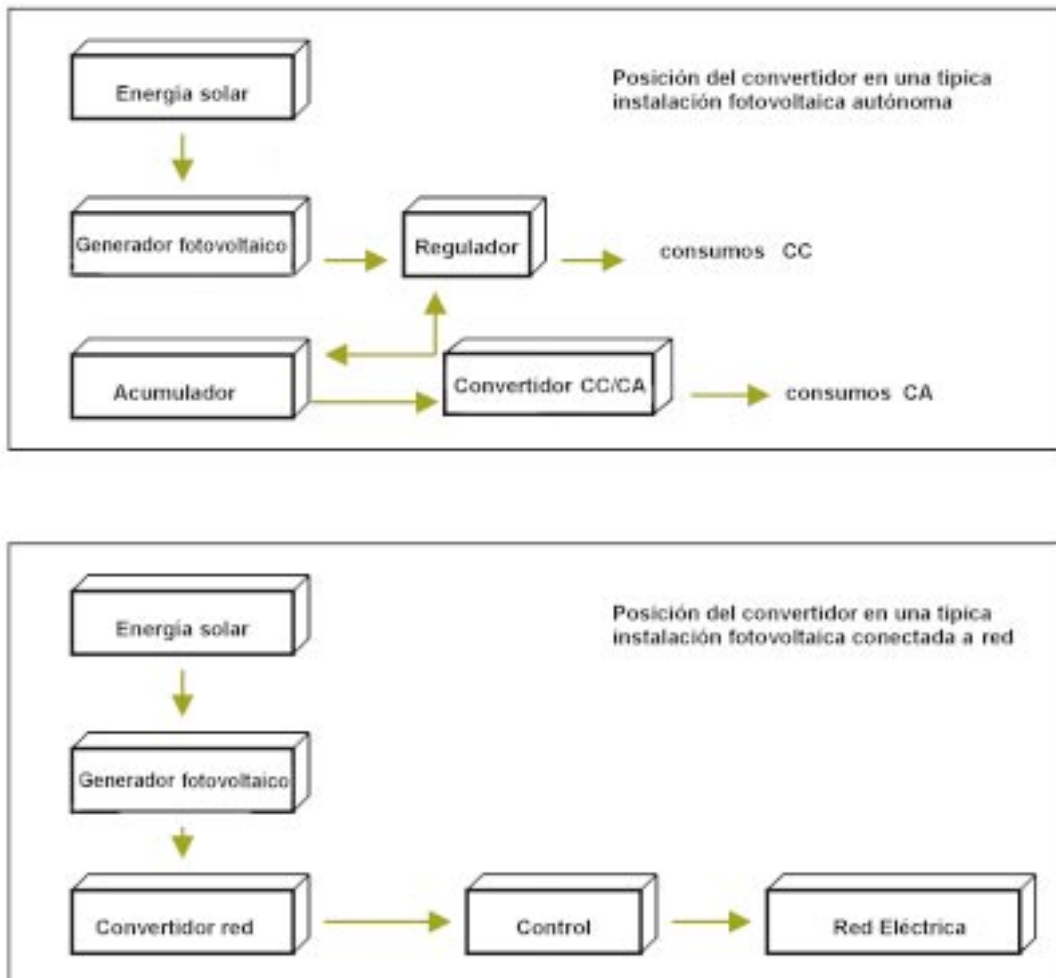


Figura 20. Esquemas de conexión del convertidor en instalaciones autónomas y conectadas a red.

4.4.2. El convertidor de conexión a red

Este capítulo solamente abarca conceptos de convertidores de conexión a red de pequeño tamaño, que se corresponden a sistemas con potencias de captación pequeñas. Constatar también que, a pesar de los programas y las instalaciones ya realizadas, la conexión con la red es todavía objeto de estudio, ya que hay aspectos no resueltos que surgen de las características particulares tanto de las redes, como de los usuarios, como del tipo de clima que se dispone donde se realiza el proyecto.

El convertidor de conexión a red es el encargado de proporcionar corriente alterna senoidal a partir de la energía entregada por los paneles fotovoltaicos. La energía que entrega este convertidor se encuentra sincronizada con la existente en la red de abastecimiento. Es decir, a partir de la energía solar captada por las células fotovoltaicas, este convertidor proporciona una energía eléctrica ajustada a los requerimientos exigidos por la corriente alterna de la red.

Los requerimientos en cuanto a la calidad de la señal eléctrica generada se evalúan mediante la medida de las características de la señal eléctrica: tensión, parpadeo, frecuencia y distorsión armónica. Alejarse de los valores fijados por las normativas existentes indica un empeoramiento de la calidad.

Los sistemas fotovoltaicos de pequeño tamaño deben desconectarse de la red cuando empeore la calidad de ésta. En sistemas fotovoltaicos de gran tamaño, la compañía eléctrica puede preferir que no se desconecten, ya que en ocasiones éstos ayudan a superar la perturbación eléctrica.

La forma de onda de la corriente eléctrica de la salida del convertidor debe ser lo más senoidal posible minimizando el contenido de armónicos inyectados en la red convencional. Los modernos convertidores son capaces de generar ondas senoidales con factores de potencia unitarios y donde el contenido de armónicos no supone problema.

Selección de la potencia del convertidor fotovoltaico de conexión a red

Para la selección de un convertidor en instalaciones fotovoltaicas de conexión a red, habrá que elegir un convertidor cuya potencia sea ligeramente menor que la máxima del campo fotovoltaico. Se recomienda que la potencia nominal del inversor sea entre un 15% y un 20% menor que la potencia pico del campo fotovoltaico. Esto es así por las siguientes razones:

- El campo fotovoltaico pocas veces entrega su potencia pico debido a que ésta es medida en condiciones muy favorables de insolación y temperatura (1000 W/m² y 25 °C). Normalmente o la intensidad de radiación no es tan alta o la temperatura de la célula es mayor (entre 20 °C y 25 °C por encima de la temperatura ambiente).
- La potencia nominal del convertidor es un dato referido a la salida del convertidor, y lógicamente para que el convertidor entregue esa potencia ha de demandar una potencia mayor del campo fotovoltaico.

Respecto a la eficiencia del convertidor cuando trabaja a cargas parciales, este tipo de aparatos suelen mantener eficiencias de transformación aceptables dentro de un amplio margen de su rango de trabajo.

Seguimiento del punto de máxima potencia

El convertidor debe realizar un seguimiento muy sensible a cualquier cambio de las condiciones de calidad de la red eléctrica ya que debe trabajar en sincronismo con ésta, esto es copiarla lo más exactamente posible. El convertidor fotovoltaico de conexión a red debe incorporar un dispositivo electrónico denominado MPPT o seguidor del punto de máxima potencia, que tiene la misión de extraer (en todo momento) la máxima potencia disponible del generador para inyectarla en la red.

La potencia de los módulos solares va a cambiar dependiendo de la cantidad de luz solar que reciben y de la temperatura de trabajo. El MPPT asegura el control absoluto de la tensión de salida del generador y permite localizar la potencia máxima de trabajo (el producto $V \times I$ de salida) para tenerla disponible a la hora de inyectarla en los circuitos de consumo. El algoritmo de control del MPPT multiplica constantemente la corriente y la tensión de salida del campo fotovoltaico para saber el valor de la potencia extraída.

Toma de tierra

Las compañías eléctricas prestan mucha atención a la calidad de la electricidad que se introduce en las redes de reparto, así como también a las medidas de seguridad con las que trabajan las instalaciones. Y en los sistemas fotovoltaicos conectados a red existen ciertas dudas sobre la toma de tierra que se explican a continuación.

- La primera es que en todos los casos es de obligado cumplimiento (REBT) la existencia de una puesta a tierra para conducir las corrientes de fuga o inducidas.
- En segundo lugar, dentro del sistema, en la zona que trabaja con corriente continua, una toma de tierra de la estructura soporte garantiza el camino para una descarga atmosférica accidental. La estructura soporte del generador fotovoltaico debe encontrarse conectada a una toma de tierra independiente de la del neutro de la red.
- Por último, es preciso señalar que un sistema fotovoltaico correctamente instalado no representa un elemento adicional de atracción de rayos en un edificio.

Incluso en pequeñas instalaciones, la seguridad es materia no negociable. El aislamiento y la separación galvánica entre la red y el generador fotovoltaico son esenciales. El sistema fotovoltaico también incorpora dispositivos de protección como fusibles, seccionadores, varistores y relés de tensión. Los varistores son dispositivos de protección contra sobretensiones producidas por descargas atmosféricas. Son aislantes hasta que llegan a la tensión a la que han sido tarados, entonces se convierten en conductores. Después de su actuación quedan inutilizados y hay que sustituirlos.

Factor de potencia

La instalación de generadores fotovoltaicos domésticos puede aumentar la demanda de potencia reactiva de la vivienda. Este hecho es significativo para la compañía eléctrica, ya que normalmente no factura el consumo de potencia reactiva a este tipo de usuarios.

La compañía se ve en la situación de tener que comprar energía activa a un usuario mientras le tiene que suministrar energía reactiva sin cargo alguno. Una solución razonable es que el convertidor trabaje con factor de potencia unitario. Las normas ANSI/IEEE 929 (1988) y CEI 1727 (1995) establecen un factor de potencia inductivo mayor a 0,85 para sistemas fotovoltaicos conectados a la red. El factor de potencia puede ajustarse con alta precisión y de forma automática en los convertidores modernos.

Protección

En las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red, si se detiene el suministro eléctrico convencional, se detiene en ese mismo momento y por completo el suministro eléctrico solar. No existe la posibilidad de que funcione el generador fotovoltaico si no está funcionando la línea de abastecimiento eléctrico convencional.

Esto último es lo que se denomina protección por desconexión de la red, y representa una seguridad absoluta para trabajadores y electricistas en el caso de que la compañía eléctrica desconecte la red o haga alguna intervención por motivos de mantenimiento.


Se debe cumplir la reglamentación vigente para la desconexión del equipo en caso de anomalía. Desconexión automática en el caso de que se produzcan situaciones anormales tales como corte o micro-corte de la red, variaciones de frecuencia, subidas o bajadas de tensión fuera del rango admisible, distorsiones de la forma de la onda...



Figura 21. Campo de colectores en una instalación de conexión a red no doméstica

La desconexión de la red se debe hacer por varios elementos redundantes para incrementar su fiabilidad. La variación de la impedancia de la red en una sola fase tiene gran importancia para garantizar la desconexión de la red cuando las condiciones de seguridad lo requieran. Por ello, las características de la red que debe vigilar el convertidor son la impedancia, la frecuencia y el voltaje.

El convertidor se debe desconectar de forma automática de la red cuando haya una variación de la impedancia en un determinado intervalo de tiempo o cuando esta supere un valor establecido. Siempre que el voltaje de una fase varíe respecto a su valor nominal (-15% ó +10%) se produce la desconexión en décimas de segundo.



Normalmente, una instalación fotovoltaica conectada a red está “esclavizada” por la red (siguiendo siempre a ésta). La red controla la frecuencia del sistema eléctrico y la instalación fotovoltaica se acoplará a ella. Desviaciones en la frecuencia por encima de $\pm 2\%$ también causan la desconexión del convertidor con la red.

Los métodos de protección contra operación en modo aislado se clasifican en pasivos y activos. Los primeros detectan cambios sutiles en la red que acusan la desconexión. Los segundos introducen algún tipo de perturbación que es amplificada en el momento de la pérdida de red, permitiendo con ello una fácil detección por el control.

5 | Las aplicaciones

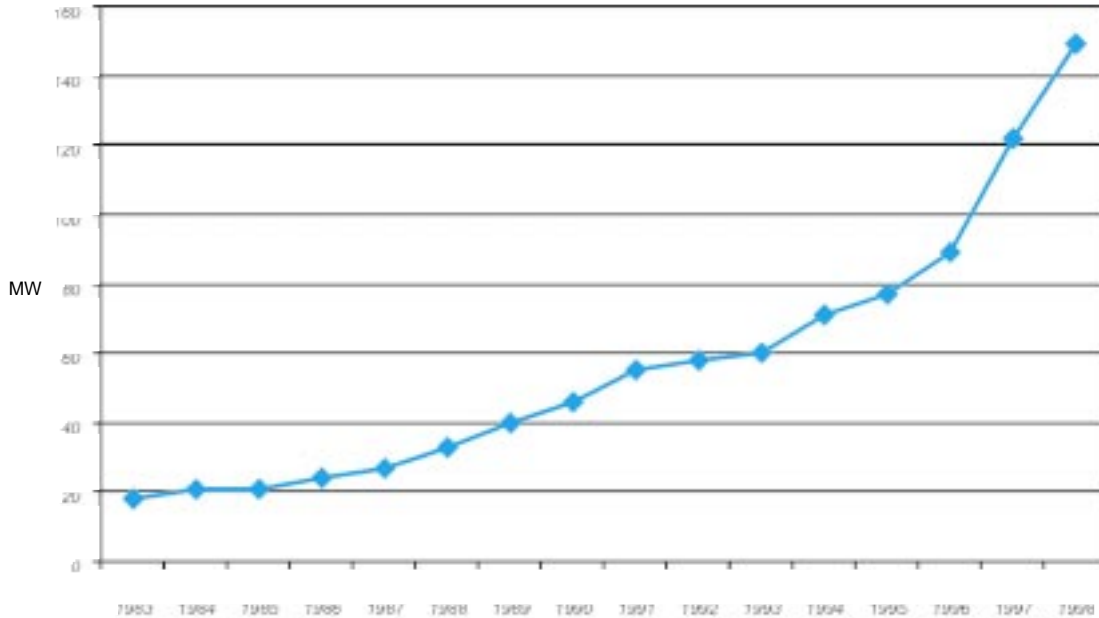


Figura 22. Producción mundial (1983 / 1998) de módulos fotovoltaicos.

Describir las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica es bastante complicado debido a que la electricidad que suministra se puede utilizar para cualquier fin. Es decir, la energía solar fotovoltaica tiene tantas aplicaciones como la electricidad.

Aunque todavía la electricidad fotovoltaica es demasiado cara para competir en igualdad de condiciones con las tecnologías energéticas convencionales, las células solares han encontrado nichos cada vez mayores en el mercado energético mundial. A partir de 1987 la tecnología fotovoltaica empieza a dejar de ser un compromiso permanente entre realidades y deseos, y comienza a caminar por una línea rígidamente marcada por la reducción de costes y al aumento de los rendimientos energéticos.

A lo largo del mundo, es posible encontrarse con instalaciones fotovoltaicas que alimentan desde una bombilla hasta pueblos enteros. Los sistemas solares fotovoltaicos suministran electricidad con excelentes resultados. Sin embargo no son siempre la mejor solución para todas las necesidades de energía.

Resulta importante tener en cuenta las ventajas y las limitaciones de la tecnología fotovoltaica antes de seleccionarla para abastecer de energía determinadas necesidades. La experiencia enseña que cuando los usuarios se encuentran mal informados o tienen expectativas irreales de las instalaciones fotovoltaicas, existen muchas posibilidades de que manejen el sistema de forma inapropiada. A continuación se exponen un resumen de ventajas e inconvenientes con la intención de ayudar a conocer más los sistemas solares fotovoltaicos.

Ventajas:

Economía. Existen aplicaciones fotovoltaicas muy competitivas. Muchas veces el coste del ciclo de vida de las instalaciones fotovoltaicas es más bajo que el de otras alternativas.

Fiabilidad. El sistema fotovoltaico es muchas veces la opción preferida para aplicaciones críticas que demandan un suministro de energía constante y predecible. Es una tecnología ampliamente avalada y contrastada.

Disponibilidad. Es necesario tener en cuenta que ningún sistema generador de energía desarrollado por el hombre puede estar disponible el 100% del tiempo. Los sistemas fotovoltaicos sobrepasan el 95% de disponibilidad.

Mantenimiento. Quizás la característica más favorable de los sistemas fotovoltaicos es su bajo mantenimiento y la ausencia de abastecimiento de combustible. Esto la hace muy popular en lugares aislados, reduciendo notablemente los costes de operación.

Medio ambiente. Es necesario tener en cuenta que ningún sistema generador de energía desarrollado por el hombre es inofensivo con el medio ambiente. Los sistemas fotovoltaicos son de muy bajo impacto medioambiental en comparación con otras alternativas. Sin duda resultan de gran utilidad cuando se trata de la defensa del medio natural.

Combustible. La energía solar realiza el papel de combustible en esta tecnología. No requiere pagos mensuales. En otras alternativas los costes de transporte de combustible pueden exceder en mucho el coste del propio combustible, por el contrario, la energía solar es gratuita, de clara disponibilidad e inagotable.



Figura 23. Ejemplo de instalación fotovoltaica integrada en el tejado de una vivienda.

Modular. Su construcción modular facilita la ampliación de las instalaciones fotovoltaicas. Pueden ser transportadas por piezas y ensambladas a modo de mecano para simplificar el desplazamiento a lugares remotos.



Figura 24. Ejemplo de electrificación de un núcleo rural.

Inconvenientes:

Coste inicial. La compra de la instalación fotovoltaica exige un coste inicial que puede, o no, ser competitivo. Existe un coste inicial debido a que el usuario es el propietario de la “central” de generación eléctrica. En ocasiones las ventajas de la tecnología fotovoltaica compensan sobradamente el coste inicial de compra del sistema, en otros casos no.

Acumulación. Los acumuladores necesitan mantenimiento, y una vez terminada su vida útil deben ser reemplazados. Para mantener una instalación fotovoltaica de forma eficiente se necesita que el usuario esté informado y conozca el funcionamiento del sistema. Por otro lado, existen acumuladores que contienen materiales tóxicos, por lo tanto se necesita un diseño inicial que contemple el posterior reciclaje del acumulador empleado.

5.1. Instalaciones alejadas de la red

Existen una gran cantidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas (alejadas de la red), y con ello una gran variedad de formas y composición de las mismas. Generalmente no se puede hacer distinción por tamaños, ni por características eléctricas, debido al abanico de combinaciones tan grande que presenta.

La característica principal de una instalación fotovoltaica autónoma es la presencia del acumulador, cuyo papel es el almacenamiento de la energía captada. Además del acumulador, en una instalación fotovoltaica autónoma intervienen varios elementos. A continuación se citan siguiendo su funcionamiento.

- *El generador fotovoltaico* recibe la radiación solar y genera electricidad en corriente continua.

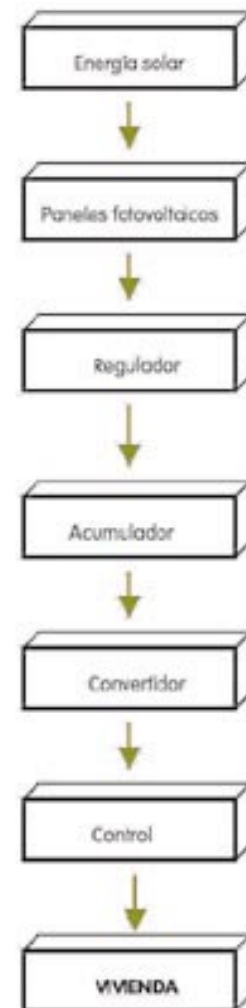


Figura 25. Instalación fotovoltaica adosada al tejado y esquema de una instalación autónoma.

- La corriente continua, generada por los paneles solares, es suministrada al *acumulador*, a través del *regulador de carga*.
- El *regulador* proporciona el control que se necesita.
- Si el consumo es alimentado por corriente continua, lo adecuado es utilizar la salida del *regulador* destinada a consumos, ya que se encuentra protegida. Si el consumo es alimentado por corriente alterna es necesario disponer de un *convertidor*.
- El *convertidor*, rescata la energía del *acumulador* y la convierte en corriente alterna.
- Resulta necesario hacer especial mención de las protecciones eléctricas del sistema, ya que nunca se opera en el campo de la electricidad sin tener en cuenta el capítulo de protecciones eléctricas.

Dentro de las instalaciones aisladas de la red eléctrica se hace difícil la clasificación por la gran variedad existente, pero, a modo de ejemplo, van a ser comentadas dos tipos de instalación.



Figura 26. Diversos ejemplos de instalaciones fotovoltaicas.

5.1.1. Electrificación rural

En nuestro entorno se encuentra muy extendida la red de suministro eléctrico, pero quedan numerosos casos en los que puede competir un generador fotovoltaico. Son emplazamientos aislados, cuyo abastecimiento eléctrico no resulta fácil, y en los que el coste de una instalación fotovoltaica es menor que el de la prolongación de la línea eléctrica u otra alternativa.

Es el caso de viviendas aisladas de ocupación permanente, viviendas de fin de semana, refugios de montaña, ermitas, granjas, bodegas, bordas de pastores, equipamiento para áreas recreativas, instalaciones turísticas y colonias de verano.

El grado de satisfacción de los usuarios de instalaciones fotovoltaicas es en general muy alto.

Respondiendo a criterios de distribución de electricidad, la tecnología fotovoltaica permite en algunas ocasiones, centralizar o descentralizar las instalaciones de generación, regulación, almacenamiento, y conversión de energía.

La mayoría de las instalaciones aisladas operativas en la actualidad se ajustan, quizás con ligeras modificaciones, a los esquemas de la figura 27.

A la izquierda se puede ver otro tipo de instalación, también bastante común, en la que el consumo se realiza en corriente continua, y por ello, carece de convertidor.

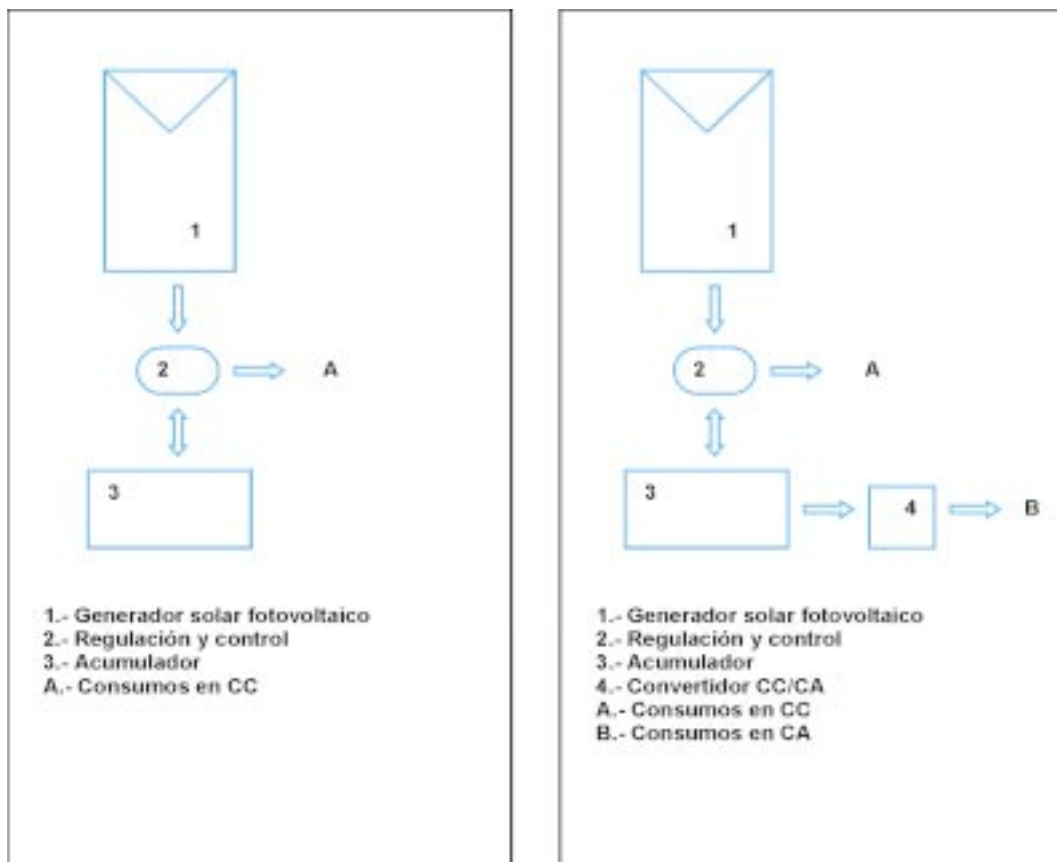


Figura 27. Esquemas generales de instalaciones aisladas de red.

A la derecha se puede ver la más común de las instalaciones rurales fotovoltaicas autónomas. Proporciona la posibilidad de disponer de iluminación de alto rendimiento utilizando la línea de consumo del regulador, y también proporciona el confort de los 220 V tradicionales por medio del convertidor.

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden adaptar a cualquier otro modo de generación. Se denominan entonces, instalaciones híbridas. El otro generador puede ser un aerogenerador, una turbina microhidráulica, un grupo diésel o gasolina, etc.

5.1.2. Bombeo de agua

Una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica es la alimentación eléctrica de sistemas de bombes de agua autónomos (aproximadamente el 12% del mercado fotovoltaico mundial), tanto para uso doméstico como agrícola.

Tienen gran futuro ya que son muchas las ocasiones en las que se precisa bombear agua y no se dispone de energía. Para resolverlo, la generación de electricidad mediante un sistema fotovoltaico evita la instalación de largos y costosos tendidos eléctricos muchas veces inviables técnicamente por condicionantes geográficos o medioambientales.

Algunos sectores donde la tecnología fotovoltaica está presente son:

Extracción.	Bombeo de agua potable. Bombeo aplicación agrícola o ganadera. Drenaje y desagüe.
Depuración	Filtrado. Esterilización. Desalinización.
Acondicionamiento	Sistemas de cloración. Sistemas de aireación. Tratamiento de agua.
Circulación	Bombas de circulación. Bombeo en fuentes decorativas. Sistemas para el suministro.

Resulta obligatorio mencionar que entre las diferentes opciones de sistemas de bombeo utilizados en zonas sin red eléctrica, los sistemas fotovoltaicos destacan por su fácil instalación, limpieza, y fiabilidad.

En referencia a su configuración básica, los bombes fotovoltaicos se pueden dividir en dos grupos:



Figura 28. Bombeo directo en un estanque para decoración y oxigenación del agua.

- *Los de accionamiento directo.* Son bombes en los que no es necesario la utilización de baterías. El conjunto bomba/motor sólo funciona en el caso de recibir los paneles radiación solar. Si la aplicación lo demanda, el sistema de acumulación se compone de un depósito convencional en el que se guarda la cantidad de agua necesaria para los periodos sin luz solar.
- *Los de accionamiento indirecto.* Se trata de instalaciones fotovoltaicas convencionales en las que existen las tradicionales baterías. Así, independientemente del nivel de radiación solar, el bombeo funciona respondiendo a una demanda en cualquier momento del día o de la noche. Puede existir acumulador de agua o no, depende del usuario y de la aplicación.



Figura 29. Bombeo fotovoltaico para abastecimiento de agua de ganado.

El sistema fotovoltaico de bombeo más popular es el de accionamiento directo por ser una instalación eléctrica que requiere pocos elementos.

El proceso que tiene lugar en los paneles es estático y la única parte móvil de todo el sistema es el conjunto bomba/motor. El bombeo solar fotovoltaico directo elimina costes de aprovisionamiento energético, de funcionamiento y de mantenimiento. Tiene muchas ventajas. La más evidente es que hay una relación natural entre la disponibilidad de energía solar y la necesidad de agua.

Normalmente, en verano cuando mayor es la cantidad de energía solar disponible, y por añadidura la potencia suministrada por los paneles fotovoltaicos, es también mayor la necesidad de agua. Al contrario, la necesidad de disponer de agua decrece en invierno cuando el clima es frío y la luz solar más débil.

Un sistema fotovoltaico de bombeo directo está compuesto por:

- Un generador solar fotovoltaico que proporciona la energía necesaria al sistema. En este tipo de instalaciones, el consumo de la energía tiene lugar inmediatamente después de su generación en los paneles.
- Un conjunto bomba/motor. El motor va conectado internamente a la bomba de manera que forman una unidad completa.
- Un sistema de control. Un dispositivo que proporciona el máximo aprovechamiento de la energía obtenida en los paneles solares, es decir, hace posible el acoplamiento directo del generador fotovoltaico con el motor. A la vez, vigila el correcto funcionamiento de la instalación ya que dispone de sondas que le informan sobre el estado de la misma.



Figura 30. Dos ejemplos más de bombeo de agua en lugares aislados.

- El resto del sistema. Tuberías, cables, sondas...

En el gráfico siguiente, figura 31, se puede ver de forma más didáctica.

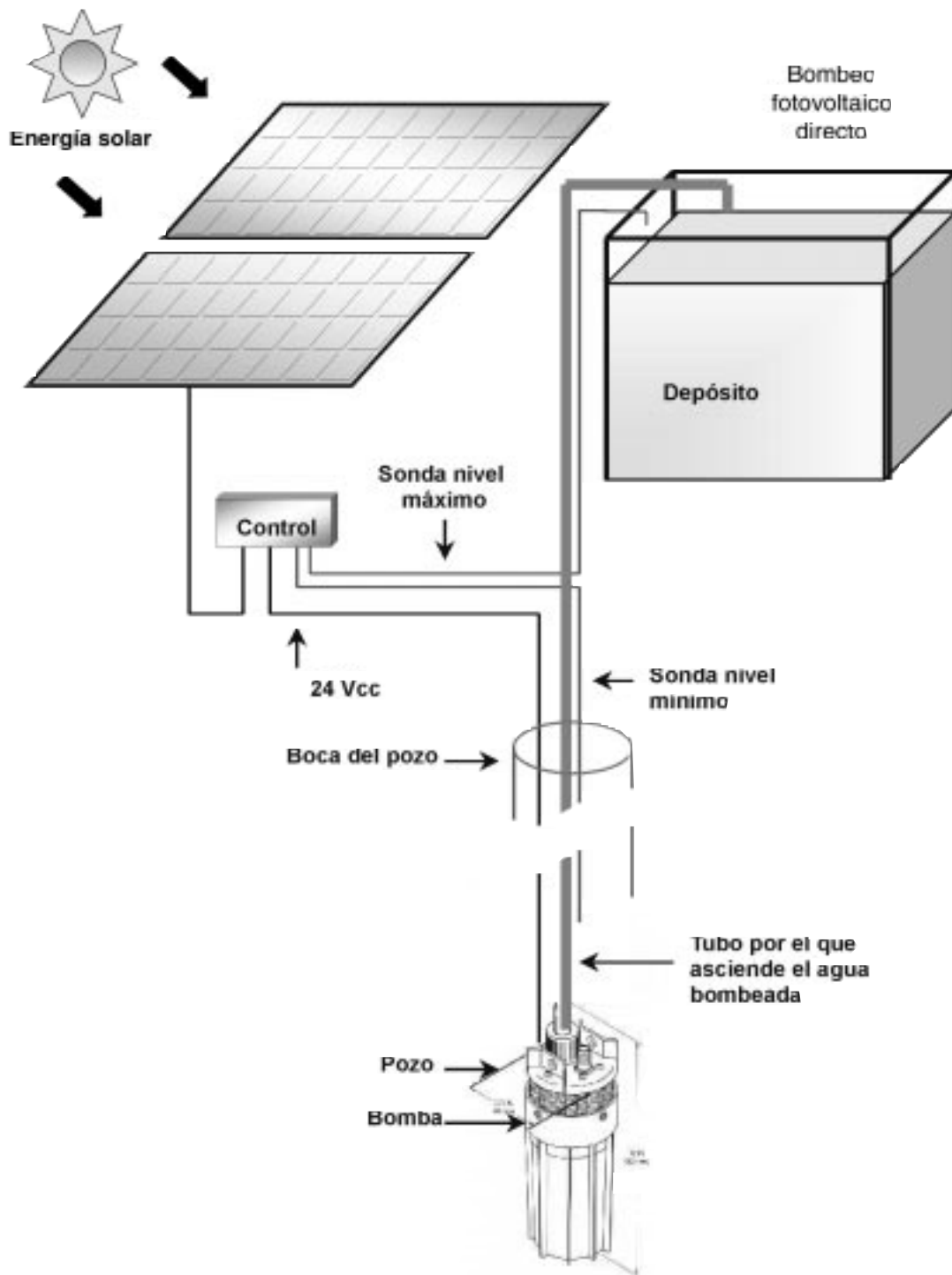


Figura 31. Esquema ilustrativo de un bombeo directo con bomba sumergida.

La tabla que a continuación se puede ver, hace referencia a una instalación similar a la de la página anterior. La tabla relaciona el desnivel que tiene que salvar una bomba con el caudal que es capaz de trasegar y el consumo de intensidad que conlleva, suponiendo la tensión de trabajo del sistema es 24 Vcc.

Metros ALTURA	Litros/hora CAUDAL	Amperios CONSUMO
6,1	443	1,5
12,2	432	1,7
18,3	413	2,1
24,4	401	2,4
30,5	390	2,6
36,6	382	2,8
42,7	375	3,1
48,8	371	3,3
54,9	352	3,6
61,0	345	3,8
70,1	310	4,1

Teniendo como eje central de clasificación el motor empleado, se pueden dividir en bombeos con motor de corriente continua, o bombeos con motor de corriente alterna.

La elección de la bomba depende de factores como:

- El tamaño requerido y el trabajo que sea necesario desarrollar. Es decir, de la cantidad de agua que sea necesaria bombear, del tiempo en el que es necesario hacerlo, y de las distancias a cubrir entre los diferentes elementos del sistema.
- La necesidad de tenerla sumergida o no. Ya que tomando a la bomba como protagonista, este tipo de instalaciones se pueden dividir en sumergibles (la bomba está dentro del agua) y autoaspirantes (la bomba se encuentra fuera del agua).
- Y por último, la disponibilidad de la electrónica para gobernarla. En muchos casos existe gran facilidad para localizar equipos electrónicos que proporcionen el control que se precisa, en otros casos no.

Los sistemas fotovoltaicos de bombeo presentan una fiabilidad eléctrica muy elevada y dependiendo del diseño pueden llegar a tener un funcionamiento totalmente automatizado. Pero cada sistema de bombeo tiene su campo de aplicación, y los fotovoltaicos son especialmente útiles para las demandas de cantidades medianas de agua, y para las necesidades agrícolas moderadas.

5.1.3. Otras aplicaciones

Existen desde pequeñas aplicaciones puntuales hasta grandes programas de electrificación rural de los que depende el desarrollo de regiones enteras.

Por ejemplo, los sistemas fotovoltaicos juegan un papel muy importante en el suministro de medicamentos en áreas remotas. Las vacunas son sensibles a las variaciones de temperatura y para que conserven sus propiedades deben mantenerse dentro de unas determinadas condiciones.

La existencia de una cadena de frío para vacunas y medicinas es uno de los requisitos a tener en cuenta en cualquier programa de salud, y son numerosas las organizaciones internacionales que han adoptado sistemas fotovoltaicos para alimentar equipos de refrigeración en el que transportan los medicamentos. La solución más práctica consiste en el acoplamiento de un sistema fotovoltaico a un grupo compresor accionado por corriente continua.

Existen miles de instalaciones fotovoltaicas que hacen funcionar equipamientos de hospitales y centros de salud rurales en todo el mundo. Son generadores fotovoltaicos que dotan a los equipos médicos de un grado de operatividad muy alto, al proporcionarles las ventajas del uso de la energía eléctrica en lugares aislados.

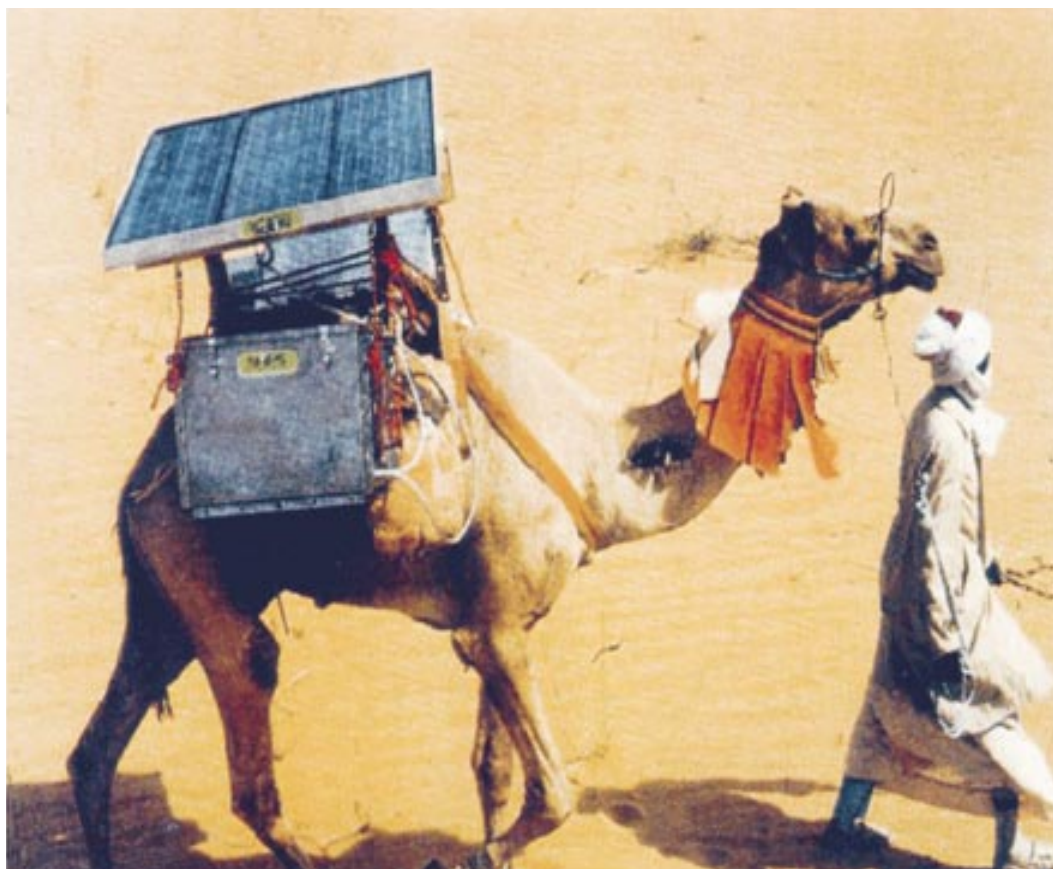


Figura 32. Equipo de refrigeración móvil para el transporte de vacunas en el desierto.

La capacidad de intercambiar información a distancia es vital para el desarrollo. La tecnología fotovoltaica juega un papel fundamental en el uso de la radio, el teléfono y los satélites. Desde que se inició la carrera espacial, han sido lanzados al espacio todo tipo de satélites que hacen posibles las telecomunicaciones de miles de entidades bancarias, organismos públicos, ejércitos, empresas privadas...

Los generadores fotovoltaicos son una excelente solución cuando hay necesidad de transmitir cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado, por ejemplo: estaciones meteorológicas, teléfonos remotos y teléfonos de emergencia en autopistas, equipos de radio y de vigilancia forestal para la prevención de incendios, plataformas de telemetría, repetidores y transmisores de radio o TV, sistemas de control de alarmas a distancia... Aplicaciones fotovoltaicas en la navegación y en los sistemas de seguridad aérea, radiofaros y sistemas de alimentación ininterrumpida.

Nos resultaría muy difícil concebir algunos grandes logros del potente campo de las telecomunicaciones sin las células fotovoltaicas. Y al revés, ya que las telecomunicaciones son aproximadamente el 22% del mercado fotovoltaico mundial.

Así, es posible encontrar instalaciones fotovoltaicas para la señalización de autopistas y carreteras, ferrocarriles, plataformas petrolíferas, balizas de puertos... Instalaciones fotovoltaicas que alimentan equipos electrónicos para la toma de datos en estaciones de medida medioambiental, plataformas oceánicas, redes de protección sísmica, presas, cauces de ríos, redes de protección civil... También en la protección catódica para grandes estructuras como puentes, gasoductos, y oleoductos.

También existen sistemas fotovoltaicos para la iluminación de vallas publicitarias, de largos túneles de carretera, o la iluminación pública con farolas autónomas que se diseñan con un funcionamiento automatizado. Existen faros en la costa marina cuyo funcionamiento tiene como base un generador fotovoltaico y recientemente ha encontrado hueco en el mercado toda una gama de lámparas, faroles y linternas que incorporan células solares.

Son varias las aplicaciones náuticas que requieren de un suministro eléctrico. Son situaciones que se dan en barcos, que procuran disponer de un generador fotovoltaico para aumentar el nivel de seguridad y confort. En algunos casos el barco completo es fotovoltaico, para ello incorpora un sistema de acumulación y su funcionamiento se basa en un motor eléctrico, un sistema de control y paneles solares. Esto hace que el barco, al desplazarse por aguas interiores, no tenga emisión de contaminantes ni de ruido.

Las aplicaciones en vehículos eléctricos son cada día más frecuentes. Prácticamente todos los fabricantes de coches del mundo tienen en la actualidad más de un prototipo eléctrico. El futuro en este mercado transcurre más por la electrificación solar de las estaciones de recarga de la acumulación del vehículo eléctrico, que en incorporar al coche módulos fotovoltaicos.

Las caravanas se han convertido en auténticos hogares móviles. La incorporación de sistemas fotovoltaicos en caravanas resulta una aplicación en auge. Son utilizados como generadores autónomos que aumentan la disponibilidad de energía eléctrica.



Figura 33. Aplicaciones en los sectores de telecomunicación, náutico, automoción, y alumbrado público.

Hay millones de calculadoras de bolsillo, relojes electrónicos, y cargadores de baterías que utilizan energía solar. Es frecuente ver aplicaciones dentro de sectores tan distintos como el camping, el aeromodelismo y el de los juguetes.

Actualmente se desarrollan toda una gran variedad de kits y maquetas educativas, que participan como elementos didácticos en procesos de formación medioambiental. Parquímetros, sistemas de aire acondicionado y ventiladores, radios solares, polímetros, mandos a distancia, equipos de carga para ordenadores portátiles y todo un mundo de consumos eléctricos tiene ya su equipo fotovoltaico.



Figura 34. Otras aplicaciones de la energía fotovoltaica.

5.2. Instalaciones conectadas con la red eléctrica

Un sistema fotovoltaico de conexión a red es un tipo de instalación eléctrica en la que básicamente intervienen cuatro elementos:

- El generador solar fotovoltaico. Consta de un grupo de módulos solares convenientemente conectados, y situados de manera que reciban la mayor cantidad de luz solar a lo largo del año.
- El convertidor de conexión a red eléctrica.
- Las protecciones eléctricas.
- La red eléctrica.

El principio de funcionamiento es sumamente sencillo:

- La energía solar incide sobre el generador fotovoltaico.
- Los módulos solares generan electricidad en corriente continua.
- La corriente continua suministrada por el generador solar fotovoltaico se entrega al convertidor. El control del convertidor se encuentra conectado al generador solar y a la red.
- En el convertidor de conexión a red, la corriente continua es transformada en corriente alterna, teniendo como referencia a seguir la corriente alterna existente en la red de distribución.
- La energía es inyectada en frecuencia y fase a la línea de distribución eléctrica existente, quedando disponible para su distribución y consumo.



Figura 35. Instalación fotovoltaica de conexión a red colocada en la azotea de un edificio

La producción eléctrica del generador fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar incidente. Siempre se produce energía aun cuando el día esté más o menos nublado.

El funcionamiento del sistema solar se realiza de forma completamente automática, tanto para su puesta en marcha como para su parada. Al amanecer, los dispositivos de control del sistema miden la potencia disponible en el generador fotovoltaico. Una vez alcanzado el nivel mínimo de funcionamiento, el convertidor arranca y comienza la generación de corriente. Al anochecer, cuando se detecta un nivel de potencia del generador inferior al mínimo de funcionamiento del convertidor, el equipo se para, y desconecta su propio transformador de salida con el fin de permanecer con un consumo prácticamente nulo hasta un nuevo amanecer.

Es preciso apuntar la existencia de una serie de condicionantes que son necesarios para elegir el emplazamiento de una instalación de este tipo. La superficie a ocupar con los paneles ha de recibir suficiente energía solar, y para ello estará libre de sombras, tendrá la orientación e inclinación adecuadas, y un tamaño suficiente para alojar los paneles.

Depende de varios factores, pero se puede decir que por cada kWp instalado son necesarios 8,5 m² de superficie útil en el tejado. Es decir, 5 kWp ocuparían entre 40 y



Figura 36. Instalación fotovoltaica de conexión a red integrada en la fachada de un edificio

40 y 45 m² del tejado (disponible en la mayoría de las edificaciones). Otra ubicación típica es en el jardín o en la fachada sur del edificio.

Cabe destacar de las centrales fotovoltaicas, el poco tiempo que se necesita para su construcción y la facilidad con que se pueden instalar en nuestros pueblos y ciudades. La generación fotovoltaica inyecta potencia en la red sin menoscabo alguno de la calidad del suministro y ofrece la posibilidad de obtener de forma limpia electricidad. Aunque, pese a su simplicidad, es obligatorio contar con un profesional para su montaje, ya que de otro modo puede significar adentrarse en un escenario peligroso.

Real Decreto 2818/98 sobre generación eléctrica

En España, en el Real Decreto 2818/98 de 23 de diciembre, con el fin de impulsar la puesta en marcha de pequeñas instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, se establecen unas primas sobre el precio de venta del kWh de origen fotovoltaico inyectado a red. Estas primas, que se detallan a continuación, son revisadas anualmente. En la revisión de diciembre de 1999 (R.D. 2066/99) no se modificaron.

Las instalaciones de menos de 5 kWp de potencia instalada pueden vender la energía generada a la red a un precio de 66 PTA/kWh. Este precio se desdobra en 6 PTA/kWh, que es un precio medio del kilovatio-hora en el mercado eléctrico, y 60 PTA/kWh que es la prima fijada para promocionar la energía fotovoltaica. Esta prima de 60 PTA/kWh se aplicará siempre y cuando la potencia instalada nacional de este tipo de instalación no supere los 50 MWp.

Para las instalaciones de más de 5 kWp de potencia instalada, la prima fijada es 30 PTA/kWh, con lo que el precio de venta por kWh es en estos casos de 36 PTA.

En la actualidad se está desarrollando una normativa específica para la conexión a red de instalaciones de hasta 5 kWp de potencia, de manera que se simplifiquen los trámites y se posibilite una cierta viabilidad económica.



Figura 37. Utilización de células semitransparentes para su integración en ventanas.

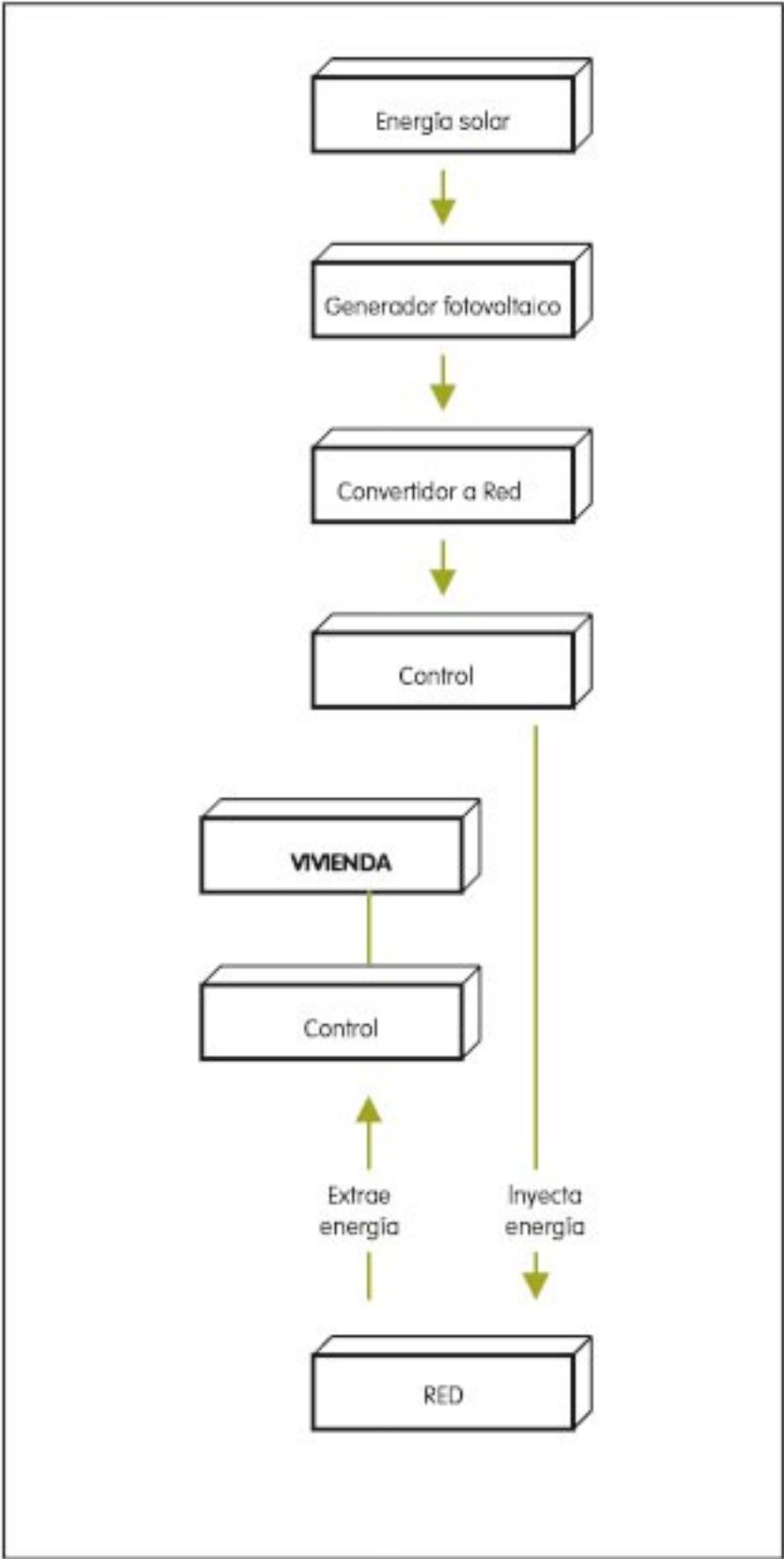


Figura 38. Esquema de una instalación doméstica de conexión a red.

Arquitectura fotovoltaica

Cuando se habla de arquitectura fotovoltaica se hace referencia a instalaciones fotovoltaicas, habitualmente conectadas a red, en las que el generador fotovoltaico está integrado en el edificio desde el diseño de éste.

Para poder integrar los paneles fotovoltaicos en los edificios se experimenta con nuevos materiales fotovoltaicos flexibles como un papel o rígidos como un azulejo. Existen paneles solares que se acoplan unos a otros en forma de mecano para facilitar la integración en un tejado. Algunas empresas incorporan células solares al recubrimiento exterior de edificios comerciales a modo de muro eléctrico, se fabrican paneles de 1,2 por 1,25 metros cuyo coste viene a ser parecido que el de otros materiales de revestimiento de alta calidad como el granito. También existen modernas tejas fotovoltaicas que se ensamblan para conseguir potencia y células fotovoltaicas semitransparentes para ser utilizadas en el interior de ventanas, cubiertas, claraboyas, y parasoles, así, a la vez se deja pasar la luz natural y se obtiene electricidad.

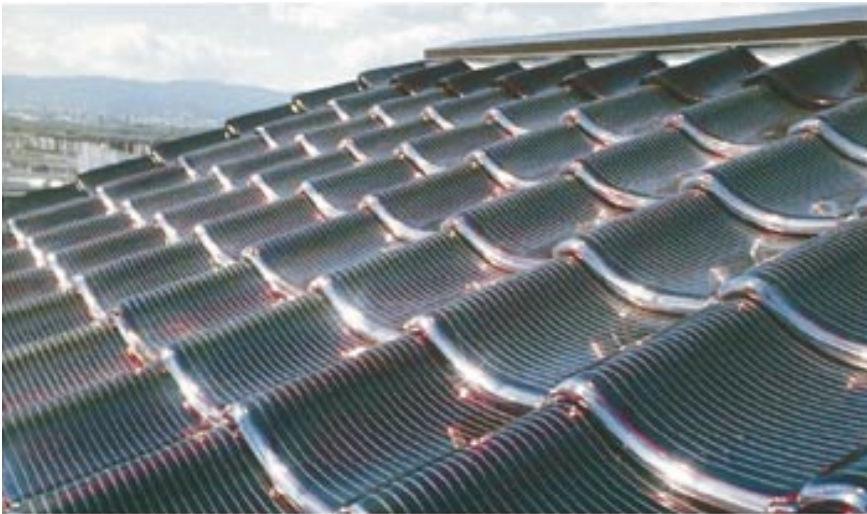


Figura 39. Tejas fotovoltaicas para la integración en tejado de la superficie colectora.

6 | Dimensionado y mantenimiento

Este capítulo está fundamentalmente pensado para el caso de instalaciones fotovoltaicas aisladas de red, si bien gran parte de lo contemplado es también de aplicación en las instalaciones conectadas a red.

Los componentes que forman una instalación fotovoltaica guardan entre sí un cierto equilibrio. La potencia de captación guarda una proporción con la capacidad de poder almacenar energía. Y ambas características, guardan una relación con el resto del sistema, tanto en lo que se refiere al control de la potencia como al consumo de la misma.

Pero hay que tener en cuenta desde un principio:

- Que las condiciones particulares que tenga cada aplicación pueden ser muy variadas. Las diferentes características eléctricas de los consumos pueden obligar a diseños complicados, mientras que en otras situaciones la simplicidad es la norma dominante.
- Que las peculiaridades de uso de la instalación pueden ser muy distintas en cada caso. Algunos consumos requieren suministro de electricidad las 24 horas del día mientras que otros sólo funcionan unos minutos. En algunas instalaciones se precisa automatizar todas las funciones mientras que en otras existe intervención manual.
- Que la ubicación de la instalación es otro factor determinante en el proceso de cálculo y no existen reglas que unifiquen por características todas las ubicaciones geográficas.



Figura 40. Instalación fotovoltaica para suministro de agua potable en un poblado.

6.1. Recomendaciones

Resulta necesario aclarar desde un principio que el cálculo fotovoltaico es un trabajo que exige especialización. Al existir multitud de aplicaciones, y de origen muy diverso, el diseño de una instalación fotovoltaica se puede volver complicado y precisar la intervención de un profesional.

También existen instalaciones muy fáciles de llevar a cabo, pero si se quiere que todo funcione bien, mucho tiempo y por poco dinero, deben tenerse en cuenta muchos factores. Es decir, no se pueden extraer reglas sencillas que a la vez de facilitar la labor, sean fiables.

A continuación se incluyen una serie de recomendaciones a tener en cuenta.

La información y el usuario

El usuario de instalaciones fotovoltaicas, trabaja con una energía “vieja” como la energía del Sol, pero con dispositivos y tecnología modernos.

Esto provoca un cierto choque, debido sobre todo a la ausencia de información sobre las capacidades y el comportamiento de estos sistemas. Por eso es importante que el usuario tenga una idea clara de cómo funciona una instalación de estas características. Si la conocen, si comprenden sus ventajas y sus limitaciones, pueden gestionarla de forma y modo adecuado.

Para ello, es necesario entregar al usuario instrucciones específicas sobre el funcionamiento general de la instalación, así como un esquema eléctrico de la misma. Si la gestionan bien obtendrán un mayor rendimiento de su inversión, una instalación operativa muchos años. Si el usuario entiende que el consumo debe estar de acuerdo con la capacidad de generación, incluso podrá disponer de más energía eléctrica de la que realmente figuraba en el diseño inicial.



Figura 41. Electrificación rural.

Instalación modular y simple

A la hora de configurar el sistema, hay que procurar que en el diseño inicial se tenga presente el carácter modular de la tecnología fotovoltaica. Es decir que desde el primer momento la instalación tenga la posibilidad de aumentar o disminuir de tamaño, sin dificultades añadidas por el proceso de diseño.

Si se ha sido previsor en el momento inicial de diseño, el generador fotovoltaico puede aumentar de tamaño, colocando nuevos paneles, si es preciso captar más energía solar.

La conversión directa de la energía, la ausencia de partes móviles y el que las células solares trabajen siempre en silencio, son algunas propiedades básicas del efecto fotovoltaico que recuerdan lo discreto y sencillo del funcionamiento de esta tecnología.

Es preciso seguir esa línea, ya que la experiencia demuestra, que si se dimensiona la instalación fotovoltaica lo más simple posible para cada aplicación se aumentan las prestaciones. Complicar un sistema solar sólo lleva a disminuir su fiabilidad y ampliar su mantenimiento.



Figura 42. Montaje del campo solar en la cubierta de un estadio.

Materiales

Hay que procurar siempre una buena elección de todos los elementos que integran una instalación fotovoltaica. Sin duda, es básico estar seguro de la disponibilidad, las prestaciones y el coste de los componentes a emplear. Siempre resulta inevitable comparar las ventajas de unos materiales frente a otros, y cuanto más informado se esté mejor será la decisión.

Se recomienda no utilizar productos que hayan sido fabricados sin control de calidad (normas ISO), y sin certificado CE. La instalación eléctrica que se implemente debe de cumplir con las normas del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en los procedimientos, partes y componentes que tengan especificaciones reguladas.

Radiación solar

Es preciso conocer la radiación solar existente en el emplazamiento de la instalación, y reunir información acerca del clima y de las horas de luz solar disponibles durante las distintas estaciones.

La radiación solar que llega a los paneles depende de varios factores: la ubicación de la instalación, la época del año, la hora del día, la orientación de la superficie captadora, la inclinación...

La cantidad de energía recibida del sol y la demanda de energía diaria, son los dos puntos clave por donde empezar. Para el cálculo de producción, el concepto HSP (horas de sol pico) establece una unión entre la cantidad de energía recibida del sol y la cantidad de energía proporcionada por el módulo solar fotovoltaico bajo una intensidad de radiación solar de 1000 W/m². Horas solar pico (HSP) es el valor de la energía solar incidente sobre una superficie de 1 m² expresado en kWh.

Si en la ubicación de una instalación solar se reciben en un mes una media diaria de radiación solar de 13174 kilojulios (o lo que es igual 3,66 kWh/m²), es lo mismo que si incidiese una intensidad de 1000 W (1 kW) durante 3,66 horas, y se dice que el número de HSP en ese mes, ese sitio, esa inclinación y esa orientación es igual a 3,66. Si se tiene un módulo fotovoltaico con una I_{MAX} de 4,4 amperios, al multiplicarlo por 3,66 HSP se obtiene una producción estimada de 16,1 Ah/día, por cada módulo instalado de esa forma.

Normalmente todas las tablas de radiación están expresadas en KJ/m². No obstante, se puede encontrar algunas, cuyas unidades sean los Langleys (caloría/cm²) o bien el BTU/pie² (BTU/ft²). Algunas equivalencias entre estas unidades son:

$$\text{KWh/m}^2 = \text{HSP}$$

$$\text{Langleys} \cdot 0,0116 = \text{HSP}$$

$$\text{BTU/ft}^2 \cdot 0,00315 = \text{HSP}$$

$$\text{KJ/m}^2 \cdot 0,000278 = \text{HSP}$$

Consumos

A la hora de estimar los consumos y sus características hay que ser minucioso y a la vez realista. Es preciso obtener toda la información posible sobre las características eléctricas de las cargas que la instalación solar debe alimentar, saber cuánta energía se espera usar y cuál será la demanda máxima, y establecer los perfiles de carga para calcular la necesidad de energía a lo largo del año.

Por otra parte, siempre será mejor elegir equipos de iluminación, motores y electrodomésticos, que presenten un alto rendimiento energético, y se ajusten a las características eléctricas de la instalación fotovoltaica.

En algunos casos de electrificación rural es complicado conocer el perfil diario de consumo, debido a que no sigue un patrón diario definido. En muchas aplicaciones no se consume igual todos los días. En otros casos resulta muy fácil conocer cuáles van a ser las necesidades de electricidad que han de ser abastecidas por el sistema. Son aplicaciones que tienen un perfil de consumo constante día tras día, año tras año, como en telecomunicaciones y en señalización.

Es importante conocer el valor medio mensual de los consumos, saber cuál es el valor mes a mes a lo largo del año. Estos valores se pueden contrastar con el recurso solar disponible en la ubicación física de la instalación. Distribuir y estimar correctamente los consumos a lo largo del año permite saber cuál es el mes más desfavorable. Siempre habrá un mes de menor radiación solar con relación al valor de los consumos.

La ubicación

Es muy importante seleccionar correctamente la ubicación física de la totalidad de los componentes de la instalación. Con una buena planificación acerca de cómo y dónde colocar los distintos componentes de la instalación se obtienen mayores niveles de seguridad eléctrica, se reduce el coste de los materiales y disminuye la mano de obra necesaria.

Para los paneles, identificar un lugar libre de sombras, localizando el sur geográfico y la inclinación idónea, con la ayuda de una brújula y otras herramientas como el inclinómetro.

La utilización de una estructura soporte adecuada para los módulos fotovoltaicos es muy importante ya que facilita las labores de instalación de los paneles fotovoltaicos, simplifica el mantenimiento, minimiza la longitud del cableado, evita problemas causados por las condiciones climatológicas adversas, e integra el generador en su ubicación posibilitando la captación de la máxima cantidad posible de radiación solar.

Es necesario asegurarse de la correcta ubicación del sistema de acumulación. Dependiendo del tipo de acumulador que sea, existen unas normas a seguir. Directrices que aportan seguridad, fiabilidad y el escenario adecuado para conseguir extraer el máximo rendimiento al acumulador a lo largo de su vida útil.

Es conveniente proceder al trazado teórico de la trayectoria de los cables de conexión para poder evaluar las dificultades que se encontrarán en el tendido de la línea. Pueden surgir inconvenientes en función de la longitud de la línea respecto de la sección a emplear.

Muros que se precisa atravesar, la situación de los conductos del agua, las características de construcción de las paredes... pueden obligar a buscar diversas alternativas para proceder al tendido de las líneas, y hay que valorar sus ventajas e inconvenientes. Una correcta ubicación de las cajas de derivación en la línea principal facilitará una futura ampliación o reforma de las líneas secundarias.

Hay que procurar que el diseño inicial se tenga muy presente una regla de oro en instalaciones fotovoltaicas autónomas: en cada aplicación el generador fotovoltaico, el regulador, el acumulador, y el convertidor, han de colocarse lo más cerca posible entre sí. Con esto se minimizan las pérdidas de energía en el transporte, se necesita menos material y menor tiempo de instalación, con lo que se abarata el coste inicial.



Figura 43. El heliostato (seguidor del sol) consigue en cada momento máxima captación.

Transporte y montaje

Es importante conocer el coste y el procedimiento del transporte. Algunas instalaciones se encuentran alejadas de núcleos habitados, o tienen un acceso en precarias condiciones. Una correcta planificación evita la realización de viajes no programados.

Por otra parte, algunas partes pueden ser montadas en taller, como cuadros eléctricos, estructuras soporte, e incluso la unión de varios paneles en un módulo estructural, pudiéndose llevar al lugar de obra parcialmente preparadas. Esto hace que aumenten de volumen, y es necesario ser previsor a la hora de su transporte.

Hay que determinar el tiempo que se necesita para finalizar el montaje, y las herramientas adecuadas para ello.

El mantenimiento

Es vital tener presente el mantenimiento del sistema a la hora de la realización del diseño (todo funcionará mejor y más tiempo). También es preciso recordar que los materiales empleados deben de tener una garantía de producto. Por otro lado, y en los casos que sea necesario, siempre es muy recomendable disponer de un contrato de mantenimiento pactado desde un principio, contrato que esté confeccionado a partir de los requisitos básicos del mantenimiento, la identificación de medidas a tomar, la deter-

minación de los tiempos y el programa de verificación de las condiciones de operación. Más adelante existe un apartado donde se detallan más datos sobre el mantenimiento.

Cálculos

El apartado de cálculos es especialmente importante en las instalaciones aisladas de red, en las que es necesario garantizar el suministro de energía aun en condiciones desfavorables a partir de un recurso de naturaleza variable como es la luz del Sol, y buscar a la vez que el coste total del sistema no sea excesivamente gravoso para el usuario. En las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica el suministro de energía se encuentra garantizado por la red de distribución.

Basta con recordar que en algunas instalaciones es preciso contar con un sistema de acumulación que sea capaz de satisfacer las necesidades si transcurre un cierto número de días consecutivos de bajo nivel de radiación solar. Es necesario realizar el proceso de cálculo de la totalidad de los componentes con los que se va a construir la instalación: las dimensiones del generador fotovoltaico (número de paneles solares), el sistema de acumulación necesario, el sistema de regulación y control, el convertidor; realizar los cálculos necesarios para el correcto cableado, así como de otros elementos que puedan estar presentes en la instalación.

Propuesta

El instalador ha de comunicar por escrito los resultados obtenidos y un análisis técnico y económico de la solución que se propone. Los resultados han de ser expuestos de forma breve y concisa, con una explicación resumida del objetivo y del funcionamiento de la instalación propuesta, así como de las características técnicas y físicas de los principales elementos que van a ser utilizados.



Figura 44. En grandes instalaciones conectadas a red es usual ver seguidores solares de un único eje.

6.2. Cálculo simplificado

A continuación se procede a describir un método sencillo y simplificado para calcular los elementos que contiene una instalación fotovoltaica aislada de red. Éste es un procedimiento bastante acertado y a la vez muy fácil de realizar.

Existen varias maneras de proceder con el cálculo, algunas de ellas bastante complejas. Un correcto proceso de dimensionado resulta básico para que la instalación funcione bien y tenga una vida larga.

En el cálculo desarrollado a continuación no se tienen en cuenta ciertos factores específicos de cada instalación, según la aplicación y ubicación. Se desarrolla para mostrar información a la hora del diseño de una instalación. En cualquier caso, lo mejor es acudir a profesionales.

La forma más sencilla de calcular el consumo total es confeccionando una tabla con los consumos parciales que se precisa alimentar.

DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO	P	N	H	C
Luz PL 20 W	20	4	2	160
Luz PL 40 W	40	2	4	320
Luz PL 20 W	20	3	1	60
Equipo de música	40	1	1	40
Televisor	60	1	3	180
Bomba	60	1	4	240
Total				1.000

Donde:

- P: Potencia del consumo en vatios.
- N: Número de consumos de iguales características.
- H: Horas de funcionamiento al día del consumo.
- C: Energía consumida ($P \times N \times H$), en Wh/día.

Por lo que se desprende de la tabla de consumos, se prevé un consumo diario de corriente alterna de 1.000 Wh, a 220 V y 50 Hz.

El sistema de acumulación dispone de energía en forma de corriente continua, pero en este caso todos los consumos demandan corriente alterna. Entonces es necesario usar un convertidor CC/CA, y ha de tenerse en cuenta el rendimiento de este dispositivo; rendimiento que, como se ha mencionado con anterioridad, será variable en fun-

ción de la potencia que se extraiga del convertidor. Por ello no se aplicará la eficiencia máxima sino un valor más conservador. A falta de otros datos se toma el 80%.

$$1.000 / 0,80 = 1.250 \text{ Wh/día}$$

Esto quiere decir, que si se precisa extraer del convertidor 1.000 Wh, el acumulador debe proporcionarle 1.250 Wh. Por ello es muy conveniente escoger convertidores con una alta eficiencia de conversión.

Tal y como se desprende del cálculo, en esta instalación se espera un consumo al día de 1.250 Wh (1,25 kWh/día).

En este paso se incorpora un coeficiente de seguridad, el consumo calculado se incrementa para tener en cuenta una serie de factores que vienen dados por las peculiaridades de uso de la instalación, por la configuración eléctrica que resulte del diseño, y por las condiciones impuestas de su emplazamiento geográfico. Es el proyectista quien lo estima basándose en su experiencia. En el ejemplo presente se toma un 11%.

$$1.250 \times 1,11 = 1.387,5 \text{ Wh/día}$$

Se realiza el cálculo del consumo en Ah/día, dividiéndolo por la tensión nominal de trabajo escogida para la generación en paneles (en este caso 24Vcc).

$$1.387,5 \text{ Wh/día} / 24 \text{ Vcc} = 57,81 \text{ Ah/día}$$

Como la instalación es de utilización temporal, es decir, se usa solamente los fines de semana y los meses de verano, se determinan los días al mes de consumo. Por ejemplo, en el caso de una segunda vivienda, la ocupación típica es de 12 días al mes (los fines de semana) o treinta días al mes, durante el verano.

Teniendo en cuenta que diciembre es el mes de menor cantidad de radiación solar, si se asegura que en estas circunstancias la instalación funciona, en meses de mayor cantidad radiación solar se podrá, o aumentar los consumos, o el tiempo de uso de la instalación.

De tal manera que con la misma instalación y sin cambiar ningún componente, los 1.000 Wh/día previstos para consumir cada uno de los 12 días de diciembre, se pueden convertir en 1.100 Wh/día previstos para consumir cada uno de los 31 días de julio. Es normal, ya que en julio se dispone de mucho más combustible en forma de luz solar.

En el presente caso, para el mes de diciembre, el total del consumo del mes:

$$12 \text{ días} \times 57,81 \text{ Ah/día} = 693,72 \text{ Ah/mes}$$

Y a continuación se localiza el dato necesario de la radiación solar.

Inclinación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0°	1,35	2,15	3,26	4,13	5,02	5,55	6,22	5,48	4,18	2,72	1,63	1,08
10°	1,58	2,43	3,53	4,30	5,11	5,59	6,31	5,68	4,49	3,03	1,89	1,25
20°	1,78	2,65	3,71	4,37	5,07	5,50	6,25	5,76	4,69	3,28	2,11	1,40
30°	1,93	2,82	3,81	4,34	4,95	5,30	6,08	5,71	4,79	3,45	2,27	1,52
40°	2,04	2,91	3,83	4,22	4,71	5,01	5,78	5,53	4,77	3,54	2,39	1,60
50°	2,10	2,94	3,76	4,02	4,39	4,61	5,36	5,24	4,65	3,55	2,45	1,64
60°	2,11	2,91	3,61	3,73	3,98	4,13	4,84	4,84	4,43	3,48	2,45	1,65
70°	2,07	2,81	3,38	3,38	3,52	3,61	4,27	4,35	4,11	3,33	2,40	1,62
80°	1,99	2,65	3,09	2,97	3,03	3,05	3,64	3,81	3,72	3,11	2,30	1,56
90°	1,87	2,44	2,74	2,54	2,50	2,49	2,98	3,21	3,25	2,83	2,14	1,46

Figura 45. Datos de radiación solar (orientación sur). Vitoria-Gasteiz. Unidades en HSP (kWh/m²).

Si se fija la atención en los ángulos de inclinación, se observa que a medida que se acerca el verano, la radiación solar recibida es mayor cuanto menor es el ángulo de inclinación de los paneles. Lo contrario ocurre en invierno, cuando los rayos solares tienen mucha más inclinación (debido a que el sol no se eleva tanto en el cielo). Dependiendo de la época del año, los rayos inciden con un ángulo determinado. En esta latitud, este ángulo oscila aproximadamente entre los 20 y los 60 grados.

Para el ejemplo, se escogen los datos en la tabla de radiación solar de Vitoria-Gasteiz. Se busca la orientación Sur para la instalación del generador fotovoltaico, y se localiza la inclinación que más energía proporcione en el mes más desfavorable: 55-60°.

Se apunta el valor de HSP para estos parámetros, y en diciembre, ya que es nuestro peor mes de cálculo: 1,65.

Se elige dentro del mercado un modelo de panel solar. Por ejemplo, un módulo fotovoltaico de 85 Wp de P_{MAX} y 4,72 A de I_{MAX} .

Al multiplicar las HSP y la I_{MAX} del panel se obtiene la producción teórica de energía al día, en un módulo.

$$1,65 \times 4,72 \text{ A} = 7,78 \text{ Ah/día}$$

Es decir, ese módulo teóricamente producirá 7,78 Ah/día si se coloca en Vitoria-Gasteiz, en diciembre, orientado al sur, y con una inclinación de 55-60°.

La producción al mes es:

$$7,78 \text{ Ah/día} \times 31 \text{ días} = 241,18 \text{ Ah/mes de producción solar}$$

A continuación, se calcula el generador fotovoltaico (número de paneles).

$$\text{Número de paneles en paralelo} = \text{consumo} / \text{producción.}$$

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Ah/día	9,95	13,73	17	17,6	18,78	19,49	22,84	22,84	20,9	16,42	11,56	7,78
HSP 60°	2,11	2,91	3,61	3,73	3,98	4,13	4,84	4,84	4,43	3,48	2,45	1,65

Figura 46. Producción teórica (al día) en todos los meses con el panel de 4172 amperios del ejemplo.

En el ejemplo: 693,72 Ah/mes / 241,18 Ah/mes = 2,87 paneles.

Se toma la cifra entera inmediatamente superior, es decir, 3 paneles.

Este cálculo indica 3 paneles en paralelo (para que la intensidad sea el triple que la de uno). La instalación es a 24 Vcc en el sistema de generación, luego para conseguirlo, cada grupo consta de 2 módulos conectados en serie (en serie, la tensión se suma), siendo el número total de módulos 6 (es decir 3 x 2).

Es decir, la potencia de captación a instalar es de:

$$6 \text{ módulos} \times 85 \text{ Wp} = 510 \text{ Wp}$$

Entonces se obtiene un generador solar fotovoltaico compuesto por 6 módulos de 85 Wp conectando tres grupos en paralelo, y cada grupo compuesto por dos paneles conectados en serie.

Con un total de 85 Wp x 6 = 510 Wp de P_{MAX} y una tensión teórica de 24 Vcc.

En lo referente a la I_{MAX} del conjunto de paneles una vez conectados, para la elección del regulador se calcula:

$$4,72 \text{ amperios} \times 3 = 14,16 \text{ amperios}$$

La intensidad máxima de producción del generador fotovoltaico será de 14,16 amperios. Esto hace reflexionar sobre la elección de un regulador a 24 Vcc que permita 25 ó 30 amperios en la línea de paneles. Todo ello con vistas a futuras ampliaciones en la cantidad de módulos fotovoltaicos a emplear.

Para calcular la capacidad del acumulador (de electrolito ácido, que es el más utilizado) se tienen en cuenta los siguientes parámetros (que pueden variar según la aplicación): 5 días de autonomía, una profundidad máxima de descarga del 70% y un rendimiento global del 90%.

$$C = \frac{C_{PRE} \cdot D_{AUT}}{P_{DES} \cdot R}$$

Siendo:

C: Capacidad teórica de la batería (en Ah C₁₀₀ 25 °C).

C_{PRE}: Consumo diario previsto en el cálculo.

D_{AUT}: Días de autonomía previstos del sistema.

P_{DES}: Profundidad de descarga máxima del acumulador.

R: Rendimiento del acumulador.

En el caso del ejemplo: $57,81 \cdot 5 / 0,7 \cdot 0,9 = 458,8 \text{ Ah}$.

Para el acumulador se pueden tomar dos opciones:

- Elegir el modelo que haya en el mercado inmediatamente superior a 459 Ah C_{100} , a 25 °C.
- Dividir el resultado entre 0,85 en previsión de una mayor exigencia en acumulación, y por posibles problemas de temperatura, (si la temperatura de trabajo no es cercana a 25 °C la capacidad del acumulador disminuye un 0,7% por grado de diferencia).

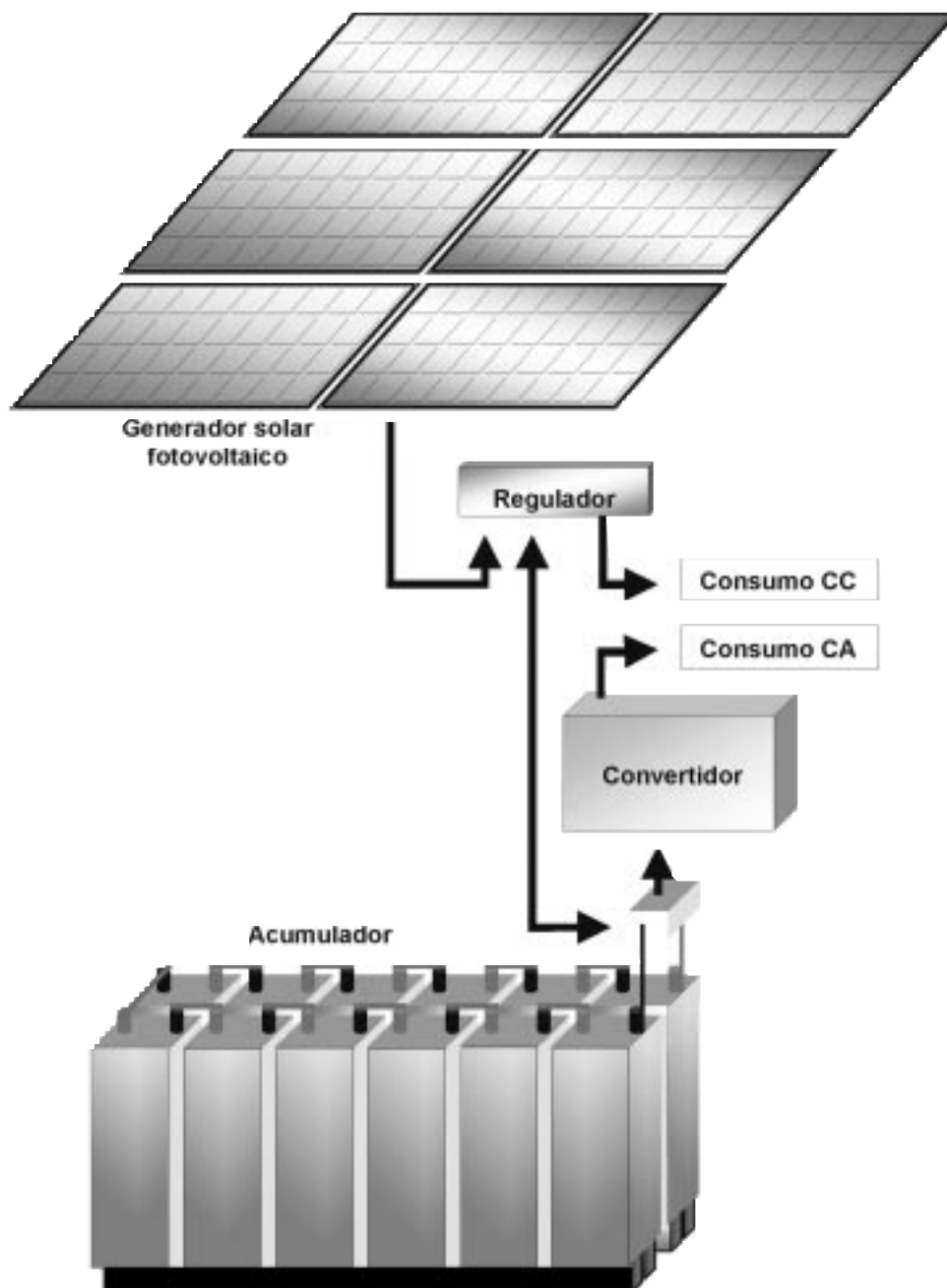


Figura 47. Esquema de la instalación resultante.

6.3. Mantenimiento

A menudo suele ocurrir que las instalaciones fotovoltaicas se realizan con presupuestos muy ajustados y se encuentran en lugares alejados o de difícil acceso. Por ello, el capítulo de mantenimiento o el de posibles averías puede tener una importante repercusión.

La primera reflexión a realizar consiste en ver la necesidad de facilitar el trabajo de mantenimiento utilizando desde el principio materiales de calidad demostrada. Siempre es recomendable la utilización de productos cuyo proceso de fabricación posea certificado de calidad. La segunda reflexión nace del concepto de mantenimiento, ya que aunque éste sea pequeño, existen tareas que de no llevarse a cabo provocarán una reducción de la vida de la instalación. Es decir, las instalaciones fotovoltaicas necesitan un mantenimiento muy pequeño pero totalmente necesario.

Con relación al mantenimiento, y dependiendo de cada caso, en las instalaciones fotovoltaicas se deben considerar dos puntos:

- Las actuaciones necesarias a realizar por el usuario.
- Las operaciones de mantenimiento que sólo el instalador debe realizar.

Conviene apuntar todas las operaciones y las fechas en las que se realicen en un Libro de Mantenimiento, y también resulta de gran ayuda disponer de un contrato de mantenimiento pactado desde el principio con el instalador, contrato en el que se determinen todos los trabajos de mantenimiento que es preciso realizar. Pero todos los usuarios deben tener clara la diferencia existente entre contrato de mantenimiento y periodo de garantía de la instalación fotovoltaica.

El mantenimiento preventivo se basa en los siguientes puntos:

- Realizar siempre un uso racional de la energía eléctrica.
- Procurar aprovechar al máximo la luz natural.
- Pintar las paredes y techos de color claro. Con ello, será necesaria menor potencia para la misma sensación de luminosidad.
- Dimensionar la potencia de consumo en relación con las necesidades.
- Seleccionar los aparatos de consumo en función de su eficiencia energética.
- Limpiar y cuidar los equipos eléctricos.
- Evitar la conexión simultánea de todos los aparatos eléctricos.

Si se procede a una inspección periódica de la instalación fotovoltaica (sobre todo si es autónoma) pueden corregirse pequeños inconvenientes antes de que lleguen a afectar a la totalidad del sistema:

- Es recomendable realizar la primera inspección a una instalación fotovoltaica a los 45 días de su puesta en marcha aunque se estime que esté funcionando correctamente.

- Dependiendo del tamaño, composición, y aplicación, es recomendable realizar una inspección de mantenimiento al menos dos veces al año.

A continuación se abordan unos planteamientos teóricos que es necesario tener presente dentro del programa de mantenimiento. No obstante, el instalador fotovoltaico debe entregar al usuario instrucciones específicas para el mantenimiento de la instalación, y conseguir así aumentar la disponibilidad del sistema y su vida útil.

Módulos solares fotovoltaicos

Los módulos solares fotovoltaicos carecen de partes móviles y se encuentran contruidos con materiales ampliamente avalados. Al mismo tiempo, el control de calidad de los fabricantes es en general bueno. Por otra parte, todos los fabricantes de módulos solares fotovoltaicos ofrecen una garantía bastante alta y lo hacen porque están muy seguros del producto que ponen en el mercado. No obstante, un módulo solar fotovoltaico necesita mantenimiento.

Debido a varios agentes de diferente origen, la suciedad irá acumulándose sobre el generador solar haciendo que llegue menos luz a las células fotovoltaicas y con ello disminuya su potencia. Es conveniente limpiar los paneles al menos dos veces al año y muy especialmente al comenzar el invierno.

La suciedad acumulada sobre la cubierta transparente del panel puede llegar a ser un serio problema en el caso de los residuos industriales y los procedentes de las aves. La lluvia puede en muchos casos reducir la necesidad de la limpieza de los paneles, pero también existen lluvias que depositan suciedad sobre el cristal que recubre las células.



Figura 48. Operación de limpieza del campo solar en una instalación fotovoltaica.

Cualquier detergente de los que se usan para limpiar cristales junto con un paño o esponja no abrasiva será suficiente para la operación de limpieza. La mayoría de las ocasiones solamente es necesario agua y un paño. Debe prestarse especial atención a que ningún objeto o cualquier otro obstáculo, de forma circunstancial o permanente, produzca sombra sobre los paneles solares.

Durante la limpieza se aprovecha para realizar una inspección visual del panel con objeto de detectar fallos originados por acciones externas, como roturas del cristal de protección, así como detectar posibles oxidaciones de los circuitos y soldaduras de las células fotovoltaicas, generalmente producidas por la entrada de agua en el panel.

Si cuando fueron instalados los módulos solares se tuvo especial cuidado y dedicación en la calidad de las conexiones eléctricas entre los paneles, en el momento del mantenimiento no se procederá a la comprobación del apriete y estado de los terminales de conexionado de los paneles. Lo que sí se tendrá en cuenta es la comprobación de la estanqueidad de la caja de terminales o del estado de los capuchones de protección de los terminales, según el tipo de panel.

En otro orden de cosas, siempre será recomendable una inspección visual de la estructura soporte que sujeta los paneles.

Sistema de regulación y otros equipos

El regulador, el convertidor y otros equipos electrónicos sufren poco desgaste con el tiempo, tienen garantía de producto y si son manipulados por personal ajeno a la empresa fabricante se produce la nulidad de la garantía; por tanto, cualquier revisión interna debe ser realizada por profesionales.

El mantenimiento se reduce a revisiones periódicas que verifiquen las condiciones de trabajo de los equipos. Pero la labor del usuario es fundamental ya que en la revisión periódica de la instalación debe:

- Comprobar el estado de las conexiones y el apriete de los bornes. Todo ello para garantizar un buen contacto eléctrico.
- Impedir la acumulación de polvo y suciedad que se pueda quedar en los dispositivos de ventilación de los equipos.
- Realizar una observación general del estado y funcionamiento. Ésta debe realizarse a partir de la documentación entregada.

Por otra parte muchos reguladores, convertidores, y equipos electrónicos de las instalaciones fotovoltaicas tienen la posibilidad de recoger, almacenar y ofrecer datos de interés del sistema. El registro de estos datos permitirá efectuar un análisis más concreto del funcionamiento de la instalación al personal cualificado, y su lectura y conocimiento será de gran ayuda al usuario.

Acumuladores

Se va a comentar el mantenimiento de los acumuladores de electrolito ácido, que corresponden a más del 90% de los instalados. Actualmente, la calidad en la fabricación de los acumuladores es alta y, consecuentemente, son muy fiables; dándose un

porcentaje muy bajo de averías debidas a defectos de fabricación. Sin embargo, por su modo de trabajar, los acumuladores son los elementos que requieren una mayor atención en la instalación fotovoltaica.

Por lo general, el acumulador es el elemento más frágil y menos duradero de un sistema solar fotovoltaico, y la correcta comprensión de su funcionamiento y características alarga su vida útil.

Entre los factores que más inciden en la incorrecta operación de los acumuladores se encuentran:

- Bajo nivel de electrolito.
- Carga insuficiente. El resultado es la sulfatación de las placas de la batería (largo tiempo a bajo nivel de carga) y deterioro de las mismas.
- Sobrecargas no controladas. El resultado es el desprendimiento del material activo de las placas, problemas de corrosión internos y reducción de vida útil.
- Contaminación del electrolito. Las impurezas en el interior de la batería producen pérdida de la capacidad y problemas de corrosión. También pueden provocar un cortocircuito destruyendo el acumulador.

Las tareas más importantes del mantenimiento del acumulador se pueden resumir en:

- Comprobación y limpieza de los terminales.
- Verificación del nivel de electrolito.
- Medida de la densidad del electrolito.
- Comprobación de la utilización del acumulador.

Comprobación y limpieza de los terminales

En la inspección del estado de los bornes de las baterías habrá que asegurarse de que son firmes, se limpiarán los posibles depósitos de sulfato y se tratarán con un inhibidor de corrosión todas las conexiones.

Si las conexiones del acumulador no son firmes, de calidad y completamente limpias, se puede producir un mal contacto eléctrico que lleve a una situación de bajo rendimiento debido a que se trabaja con bajas tensiones e intensidades altas.

Es recomendable conservar los acumuladores, las conexiones, la bancada y los accesorios siempre limpios y secos. Todo ello es, entre otras cosas, para evitar la contaminación del electrolito. Hay que impedir que entre suciedad en el interior de las baterías, ya que pueden ser la causa de la destrucción del acumulador.

Verificación del nivel y la densidad del electrolito

Los ciclos de carga y descarga que sufren las baterías en el funcionamiento normal del sistema conllevan la evaporación del electrolito. Es decir, la causa más importante de la pérdida de agua en un acumulador es la electrólisis de la misma, producida por la corriente de carga. Cuando se pierde electrolito, la lectura de la densidad se ve afectada.

También se puede producir variación en la lectura de la densidad del electrolito cuando se produce la estratificación del mismo. Es decir, se distribuye en capas de distinta densidad quedando en el fondo las más densas.

La operación de relleno consiste en el control del nivel de electrolito en todos los elementos de la batería. Se comprueba y se añade agua exenta de impurezas (destilada) cuando sea necesario para mantener el nivel del electrolito dentro de unos límites.

Cuando se procede al relleno del elemento con agua desmineralizada (destilada), hay que procurar que se mezcle bien con el electrolito. Las lecturas de la densidad se deben efectuar después de un periodo de carga, para que las burbujas de gas que durante la carga se producen hayan causado (por la agitación del electrolito) la uniformidad de la densidad.

Si un acumulador precisa mucho del proceso de adición de agua destilada es un claro síntoma de que se están produciendo sobrecargas frecuentemente. Es decir, que el acumulador está con carga completa mucho espacio de tiempo y se debe corregir el ajuste de final de carga desde el regulador.

Es de vital importancia mantener el nivel de electrolito dentro de los límites indicados en las baterías. Si se tiene un acumulador con el nivel de electrolito tan bajo como para que las placas del mismo se queden al descubierto, éstas entran en contacto con el aire, se sulfatan, y se produce la destrucción del acumulador.



Figura 49. La accesibilidad al campo solar es importante en ambientes polvorientos para su limpieza.

Para saber con certeza el estado de carga de un acumulador es necesario conocer la densidad del electrolito. Es un dato fiable para saber el estado de carga de un acumulador de plomo. A mayor valor de densidad se corresponde mayor estado de carga. Por otra parte, para saber si un acumulador funciona bien se debe comprobar que todos los elementos que lo componen tienen la misma densidad.

El electrolito está compuesto por agua y ácido sulfúrico. Si el acumulador se encuentra totalmente descargado, la densidad del electrolito es casi la densidad del agua destilada; y si está cargado, el electrolito es más denso que el agua.

La densidad del electrolito de un acumulador cargado es de 1,24 g/cm³ en el caso de placa positiva tubular, y de 1,20 g/cm³ en el caso de placa planté (a 25 °C de temperatura).

Como se ha dicho, las mediciones de la densidad pueden ser falsas si el electrolito se ha estratificado. Si existe estratificación es necesario realizar una carga de igualación para mezclar el electrolito.

Si la lectura de la densidad del electrolito de una celda difiere en más de un 5% de las otras, indica que la celda está débil y exige una observación más detallada por parte de un profesional. Las densidades medidas deberán ser similares en todos los casos, y tienen que encajar con las especificadas por el fabricante.

Comprobación de la utilización del acumulador

En este apartado se comprobará gradualmente el estado de la carga de los acumuladores, comparándolo (entre otras cosas) con el nivel de radiación solar de los días previos. Asimismo se comprobarán los consumos e igualmente se compararán con los previstos y por último se comprobará el número de cortes por baja tensión entre los periodos de las revisiones de la instalación.

En resumen, una batería bien calculada y mantenida no suele presentar problemas. Si se producen fallos pueden ser por:

- Un error de cálculo a la hora del diseño y dimensionado de la capacidad del acumulador a instalar respecto de los consumos previstos por el usuario.
- Un uso inadecuado por parte del usuario. Grave equivocación al sobrepasar los consumos previstos en el cálculo inicial.
- No realizar las labores de mantenimiento de la instalación. Es necesario tener claro que la conservación de los acumuladores en condiciones óptimas, siempre se encuentra condicionada a un correcto programa de mantenimiento.

7 | Apéndices

7.1. Algunos ejemplos del País Vasco

A continuación se muestran algunos ejemplos de instalaciones fotovoltaicas en la CAPV.

Kiosco de prensa

Esta instalación fotovoltaica suministra corriente eléctrica a un kiosco de venta de prensa situado en la plaza de la Salve, en Bilbao, para iluminación y otros pequeños consumos, como por ejemplo una radio. El consumo se realiza a 12 Vcc.

Tiene un campo solar de 150 Wp, mediante 2 paneles de 75 Wp cada uno.

Esta instalación se puso en marcha en 1999.



Figura 50. Kiosco de prensa electrificado con energía solar.

Repetidor de TV

Aplicación de la energía fotovoltaica en combinación con la pequeña eólica para suministro eléctrico de un centro reemisor de TV en el Valle de Lastur, Deba (Gipuzkoa).

La potencia instalada es 1.500 Wp, mediante la conexión de 20 paneles de 75 Wp cada uno. El aerogenerador es de 250 W.

Se puso en marcha en 1995.

Figura 51. Centro reemisor de señal de televisión.

Dosificador de abono

Esta instalación alimenta mediante energía fotovoltaica un dosificador de abono en un invernadero en la Escuela de Formación Agroforestal de Murguía (Álava), es una aplicación adecuada por el bajo consumo de estos dosificadores.

La potencia instalada es 55 Wp.

Se puso en marcha en 1998.



Figura 51. Invernadero con un dosificador de abono fotovoltaico.

Bombeo para ganado

Aplicación fotovoltaica de bombeo directo para suministro de agua para ganado en Bitigarra (Álava) durante los meses de estío.

La potencia instalada es 2.040 Wp mediante la conexión en serie de 17 paneles de 120 Wp. El caudal medio diario que puede aportar es 10.000 litros bombeados desde una profundidad de 140 metros.

La cabaña ganadera abastecida por este bombeo se compone de 600 cabezas de ovino, 60 cabezas de vacuno y 20 cabezas de equino.

La instalación se puso en marcha en 1999.



Figura 52. Bombeo directo para suministro de agua para ganado.

Borda de pastores

Ejemplo de electrificación de lugares alejados de la red es esta borda situada en las faldas del Gorbea, en la que los pastores pasan largas temporadas haciendo y curando queso de oveja.

Con una potencia instalada de 120 Wp, tres paneles de 40 Wp, y la instalación a 12 Vcc, la borda está dotada de iluminación y la posibilidad de atender otros pequeños consumos.

La instalación se puso en marcha en 1997.



Figura 53. Borda en el Parque Natural de Gorbeia.

Vivienda dedicada al turismo rural

En este caso, la energía fotovoltaica suministra electricidad a una vivienda de ocupación habitual y dedicada al turismo rural en Goiatz-Bidegoian (Gipuzkoa). La demanda térmica es cubierta con propano.

La potencia instalada es de 2.888 Wp, con 24 paneles de 120 Wp. Parte del consumo de la instalación es a 24 Vcc, y otra parte a 220 Vac.



Figura 54. Electrificación de una vivienda dedicada al turismo rural.

En este caso, en un principio la instalación se realizó con 12 de los paneles, añadiéndose posteriormente otros 12 por la incorporación de varios equipos de frío, un lavavajillas y un microondas.

La instalación completa se terminó en 1998.

Bombeo de agua potable

Con esta instalación fotovoltaica se suministra agua potable al pueblo de Barrón (Álava) mediante un bombeo directo.

La potencia instalada es de 960 Wp, con 8 paneles de 120 Wp. El caudal medio diario es de 12.000 litros, con una altura de bombeo de 20 m.c.a. y dos bombas de 1500 litros/hora cada una.

La instalación está configurada de forma que habitualmente cada bomba es alimentada por 4 paneles, pero el sistema es capaz de conectar de modo automático los ocho paneles a una sola bomba siendo posible bombear con bajos niveles de radiación.

La instalación se puso en marcha en 1999.



Figura 55. Bombeo de agua potable.

Conexión a red

Instalación fotovoltaica de conexión a red ubicada en el Centro de acogida de jóvenes Eskalmendi, en Vitoria-Gasteiz, dependiente de la Diputación Foral de Álava.

La potencia instalada es 4,8 kWp, 64 paneles de 75 Wp, y la conexión a red se realiza mediante dos convertidores 48 Vcc / 220 Vac, de 2,2 kVA cada uno.

La instalación se puso en marcha en 1998.



Figura 56. Instalación fotovoltaica de conexión a red.

Pastor eléctrico

Esta pequeña instalación suministra electricidad para la iluminación de un establo y el funcionamiento de un pastor eléctrico. Durante el invierno está instalada cerca del puerto de Trabakua (Bizkaia), y durante el verano es trasladada al barrio Lapurerreka – alto de Dima (Bizkaia).

La potencia instalada es 55 Wp.

La instalación se ha puesto en marcha en el año 2000.



Figura 56. Instalación fotovoltaica de conexión a red.

7.2. Recursos sobre información

Publicaciones

- **Atlas de radiación solar del País Vasco.**
EVE. Ente Vasco de la Energía. División de Investigación y Recursos.
- **Base de datos Internacional H-World.**
Colectivo (1993). Editorial Progenza.
- **La radiación solar.**
Varios autores. Editorial Lavoisier.
- **El sol**
I. Nicolson. Editorial Progenza.
- **El sol. Fuente de energía para el desarrollo de culturas en paz con la naturaleza.**
Madanjeet Singh (1998). Editorial Circulo de Lectores.
- **Estrategia solar para el acuerdo pacífico con la naturaleza.**
Hermann Scheer (1993). Editorial Plaza & Janés.
- **Energía solar para el hombre.**
B. J. Brinkworth (1981). Editorial H. Blume.
- **Instalaciones solares fotovoltaicas.**
Enrique Alcor (1995). Editorial Progenza.
- **Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.**
Colectivo. Serie ponencias Ciemat. UPM (1996). Editorial Ciemat. MINER.
Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas. Ciemat.
- **Energía solar. Bases y aplicaciones.**
C.C. Cobarg (1983). Editorial Paraninfo.
- **Electricidad solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos.**
Eduardo Lorenzo y otros (1994). Editorial Progenza.
- **La energía solar. Aplicaciones prácticas.**
Censolar (1996). Editorial Progenza.
- **Electricidad solar. Estudio económico de la energía solar**
Wolfgang Palz (1980). Editorial H. Blume.

- **Manual del usuario de instalaciones fotovoltaicas.**
SEBA Servicios Energéticos Autónomos Básicos (1998). Editorial Progensa.
- **Acumuladores de electricidad. Manual práctico.**
Lionel Lejardi (1983). Editorial Progensa.
- **Pilas y acumuladores. Máquinas de corriente continua.**
Colectivo (1989). Editorial CEAC.
- **Acumuladores electroquímicos.**
J. Fullea (1994). Editorial McGraw-Hill
- **Avances en energía solar**
Colectivo (1998). Editorial Progensa.
- **Guía solar Greenpeace**
Greenpeace (1999). Edición Greenpeace España y Censolar.
- **Biblioteca multimedia de las energías renovables.**
Colectivo (1999). Editorial Progensa.
- **Estrategia energética de euskadi 2005. Marco de actuación del plan 3E 2005.**
Ente Vasco de la Energía. (1997).
- **Energía para el futuro. Fuentes de energía renovables.**
Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios.
Comisión Europea. Comunicación de la Comisión (1998).

Direcciones en la red Internet

A continuación se propone un recorrido que facilita la localización de recursos sobre la tecnología fotovoltaica y posibilita el enlace a otros sitios de interés. A todas las direcciones hay que añadir "http://" al principio.

Un buen punto de partida

- www.censolar.es

Fotografías

- www.nedo.go.jp/nedo-info/search-e/solar_photo/index.html
- www.nrel.gov/data/pix/pix.html

Educación

- witss.gdl.iteso.mx/solar/
- www.geocities.com/Athens/Acropolis/8663/
- www.arrakis.es/~masanz/
- psaxp.psa.es/
- aurora.crest.org/index.htm
- www.self.org
- www.solarenergy.org
- solstice.crest.org/renewables/reeti/index.html
- www.caddet-re.org/
- www.ases.org/solar/
- www.pvpower.com/

Enlaces con otras páginas

- solarmike.interspeed.net/index2.html

Arquitectura fotovoltaica

- www.eia.doe.gov/neic/education/ren_toc.htm
- www.ultranet.com/~sda/
- lesowww.epfl.ch/PV/pvintro.html#demosite
- www.nrel.gov/pv/seb/sebtoc.html

Radiación solar

- www.sti.nasa.gov/STI-homepage.html
- rredc.nrel.gov/solar/
- solar.stanford.edu/SolarData.s/SolarData.htm
- wrwc-mgo.nrel.gov/
- solar-center.stanford.edu/

Herramientas informáticas

- www.crest.org/software-central/html/sizer.html
- gap.sees.cinvestav.mx/solar.htm
- gteam.ici.ro/pindex/pindex.htm
- www.3dsoftware.com/solar/pcsolar/
- www-cenerg.cma.fr/~st/solargis/welcome.html
- solstice.crest.org/renewables/SJ/
- solstice.crest.org/renewables/relac/

Otros sitios de interés

- www.euskadi.net
- www.eve.es
- www.inm.es/
- www.europa.eu.int/en/comm/dg17/dg17home.htm
- www.min.es
- www.unesa.es
- www.csen.es/
- www.idae.es/
- www.ciemat.es/index.html
- www.mercaelectrico.comel.es/



EVE | **Ente Vasco
de la Energía**

San Vicente, 8
Edificio Albia, 1 - Planta 14
48001 BILBAO
Tel.: 94 403 56 00
Fax 94 424 97 33
<http://www.eve.es>

Herri-Erakundea
Ente Público del

