

# **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTAS FOTOVOLTAICA MENORES A 100kW**



## 1. INTRODUCCION.



El Sol es una de las innumerables estrellas que hay en la galaxia, la más cercana y, sin duda, también la más importante para nosotros, ya que sin ella no existiríamos, ni existiría ninguna forma de vida sobre la Tierra. Es una estrella de tipo medio, su radio es de unos 700 000 km y su masa equivale a la que se obtendría juntando unos 300 000 planetas iguales a la Tierra. Brilla en el espacio desde hace más de 5000 millones de años y se calcula que el tiempo que le resta de vida es aún mayor.

El origen de la energía que el Sol produce e irradia está en las reacciones nucleares que ininterrumpidamente se realizan en su interior. En ellas, los átomos de hidrógeno, que es el elemento más abundante en el Sol, se combinan entre sí para formar átomos de helio y, al mismo tiempo, una pequeña parte de la masa de dichos átomos se convierte en energía, de acuerdo a la fórmula  $E=mc^2$ , la cual fluye desde el interior hasta la superficie (fotosfera) y desde allí es irradiada al espacio en todas las formas.

Aunque el Sol también emite partículas materiales, la mayor parte de la energía irradiada es transportada en forma de ondas electromagnéticas (fotones) en una amplia gama de longitudes de onda diferentes, las cuales se desplazan en el espacio vacío a una velocidad de 300 000 km/s, tardando solamente ocho minutos en recorrer los 150 millones de kilómetros que hay entre el Sol y la Tierra.

Cada segundo el Sol irradia en todas las direcciones del espacio una energía de  $4 \times 10^{26}$  julios, esto es, genera una potencia de  $4 \times 10^{23}$  kilovatios.

En el breve lapso de un solo segundo, el Sol irradia mucha más energía que la consumida por todo el género humano desde sus albores hasta nuestros días.

## **2. EL EFECTO FOTOVOLTAICO.**

El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

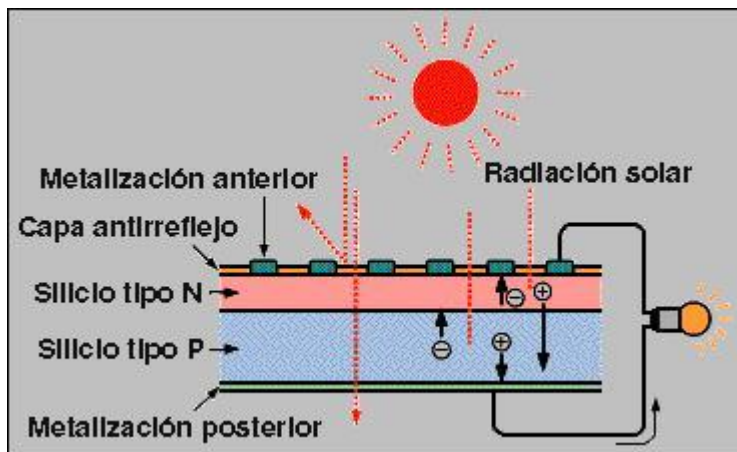
Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía. Desdichadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones. Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contrato para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulaste transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

Las células fotovoltaicas convierten pues, la energía de la luz en energía eléctrica.

El rendimiento de conversión, esto es, la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica, es fundamental en los dispositivos fotovoltaicos, ya que el aumento del rendimiento hace de la energía solar fotovoltaica una

energía más competitiva con otras fuentes (por ejemplo la energía de origen fósil).

Estas células, conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 V). La corriente producida depende del nivel de insolación. La estructura del módulo protege a las células del medioambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador fotovoltaico. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie y/o paralelo para producir cualquier combinación de corriente y tensión.



*Figura 1: Efecto fotoeléctrico.*

### 3. RADIACION SOLAR.

De los datos obtenidos analizando la radiación solar emitida y aplicando las leyes de la física, se deduce que la temperatura efectiva de la superficie del Sol es de unos 5900 K. Esto significa que la emisión de radiación de un cuerpo negro ideal que se encontrara a 5900 K sería muy parecida a la del Sol.

La mayor parte de los fotones emitidos por el Sol tienen una longitud de onda comprendida entre 0,3  $\mu\text{m}$  y 3  $\mu\text{m}$ , aunque solamente las que van desde 0,4  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$  son susceptibles de ser captadas por el ojo humano, formando lo que se conoce como luz visible.

La luz no visible emitida por el Sol, esto es, la radiación con longitud de onda menor que  $0,4 \mu\text{m}$  o mayor que  $0,7 \mu\text{m}$ , transporta también una considerable energía, que es preciso tener en cuenta.

#### 4. LA CONSTANTE SOLAR.

Al extenderse por el espacio en todas las direcciones, la energía radiante procedente del Sol se reparte en una superficie esférica hipotética, cuyo centro es el foco emisor (el Sol) y cuyo radio crece a la misma velocidad que la propia radiación. Así pues, la intensidad en un punto de dicha superficie esférica, al repartirse la energía solar sobre un área cada vez mayor, será más pequeña cuanto mayor sea el radio de la misma, es decir, cuanto mayor sea la distancia de dicho punto al Sol. Así, la radiación se debilita a medida que la distancia aumenta.

El valor medio de la Constante Solar es de  $1367 \text{ W/m}^2$ , aunque puede variar según fuentes, ya que la Constante Solar sufre ligeras variaciones debido a que la distancia entre la Tierra y el Sol no es constante, ya que la órbita terrestre no es circular, sino elíptica, estando la Tierra más cerca del Sol en Diciembre y Enero, y más alejada en Junio y Julio.

Una expresión para el cálculo de la Constante Solar para cualquier día del año es:

$$C = 1367 \times [1 + 0,033 \cos(0,973N)]$$

Donde:

N = Es el número secuencial del día, considerando N=1 al 1 de Enero y N=365 al 31 de Diciembre.

#### 5. EFECTO DE LA ATMOSFERA.

No toda la radiación solar interceptada por la Tierra llega hasta su superficie, debido a que la capa atmosférica supone un obstáculo al libre paso de la radiación mediante diversos efectos, entre los que cabe destacar la reflexión en la parte superior de las nubes y la absorción parcial por las diferentes

moléculas del aire atmosférico. Este último fenómeno hace que la intensidad que llega a la

superficie, aun en días despejados y con atmósfera muy limpia, sea como máximo de unos  $1100 \text{ W/m}^2$ .

También es preciso tener en cuenta que, a pesar de los rayos solares viajen en línea recta, al llegar los fotones a las capas atmosféricas y chocar contra las moléculas y el polvo en suspensión, sufren difusiones y dispersiones que se

traducen en cambios bruscos de dirección. Aunque esta luz difundida finalmente llega también a la superficie, al haber cambiado muchas veces de dirección a medida que ha atravesado la atmósfera, lo hace, no como si procediese directamente del disco solar, sino de toda la bóveda celeste. Esta radiación es conocida con el nombre de difusa, en contraposición con la radiación directa, que es aquella que alcanza la superficie manteniendo la línea recta desde el disco solar. La suma de las radiaciones directa y difusa es la radiación total, que es el que nos interesa a efectos energéticos. La radiación difusa hace que un cuerpo siempre esté recibiendo una cierta cantidad de energía por todas sus partes, incluso por las que no recibe la luz del Sol directamente.

Aunque un día despejado la radiación directa es mucho mayor que la difusa, esta última será, evidentemente, la única forma posible de radiación en los días cubiertos, filtrándose más o menos homogéneamente por toda la bóveda celeste a través de la capa nubosa. La radiación difusa supone aproximadamente un tercio de la radiación total que se recibe a lo largo del año.

En cuanto a su distribución energética, hay que tener en cuenta que casi un 40 % de la radiación que alcanza la superficie lo hace no en forma de luz visible sino como radiación infrarroja, lo cual tiene gran importancia según se verá más adelante.

## 6. IRRADACION SOBRE UNA SUPERFICIE.

Irradiación  $E$ , es la cantidad total de energía radiante que llega a una superficie determinada en un tiempo determinado. Se trata de una medida de la energía incidente sobre dicha superficie, expresándose en cualquiera de las unidades

habituales usada para medir la energía, normalmente en mega julio. Este término es distinto a la intensidad radiante  $I$ , también denominada irradiancia, que es la energía que incide por unidad de tiempo y de superficie.

$$I = \frac{E}{St}$$

Donde:

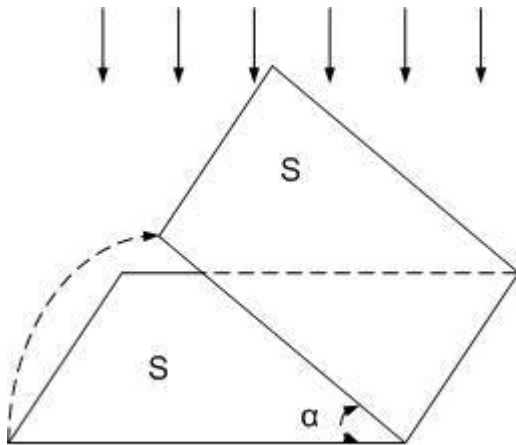
$I$  = Irradiancia

$E$  = Energía radiante

$S$  = Superficie

$t$  = Tiempo

La cantidad de energía debida a la radiación directa que una superficie expuesta a los rayos solares puede interceptar dependerá del ángulo formado por los rayos y la superficie en cuestión. Si la superficie es perpendicular a los rayos, este valor es máximo, disminuyendo a medida que lo hace dicho ángulo.



*Figura 2: Irradiación sobre superficie inclinada, la radiación directa disminuye conforme aumenta la inclinación.*

Es evidente que la intensidad sobre la superficie varía en la misma proporción que lo hace la energía  $E$ , por lo que:

$$I_D' = I_D \cos \alpha$$

Donde:

$I'D$  = A la intensidad directa sobre la superficie inclinada.

$I_D$  = A la intensidad directa sobre la superficie horizontal.

$\alpha$  = Al ángulo de inclinación sobre la horizontal

Este efecto de inclinación es la causa por la que los rayos solares calientan mucho más al mediodía que en las primeras horas de la mañana o últimas de la tarde, ya que en estos últimos casos el ángulo que forma el rayo con la normal a la superficie es grande y por tanto el factor hace que la intensidad sea pequeña.

La diferente inclinación de los rayos solares es asimismo la causa por la que las regiones de latitudes más altas, polares, reciben mucha menos energía que las más cercanas al ecuador.

En cuanto a la radiación difusa, la ley que rige el valor de su incidencia sobre una superficie inclinada:

$$I_F = \frac{I'_F(1 + \cos \alpha)}{2}$$

$I'_F$  = función de su intensidad sobre horizontal.

$I_F$  = función de su intensidad sobre superficie inclinada.

$\alpha$  = inclinación.

Para medir la irradiación total que una superficie recibe en un determinado número de días se emplean unos aparatos llamados piranómetros, los cuales detectan la intensidad de la radiación en cada instante y , acoplados a un ordenador, acumulan estos datos durante todo el tiempo que duran las medidas.





Un piranómetro colocado sobre una superficie perfectamente horizontal, libre de obstáculos a su alrededor que pudieran arrojar sombras sobre él, recibe la radiación total de toda la bóveda celeste, permitiendo evaluar la energía disponible en la zona en que se ubica y, así, efectuar una primera estimación de la viabilidad de un sistema solar que pudiera aprovechar dicha energía.

Los piranómetros de menor coste utilizan una pequeña célula fotovoltaica que genera una corriente eléctrica cuya intensidad es aproximadamente proporcional a la irradiancia. Su precisión no es elevada, pues tienen un margen de error del 5 %.

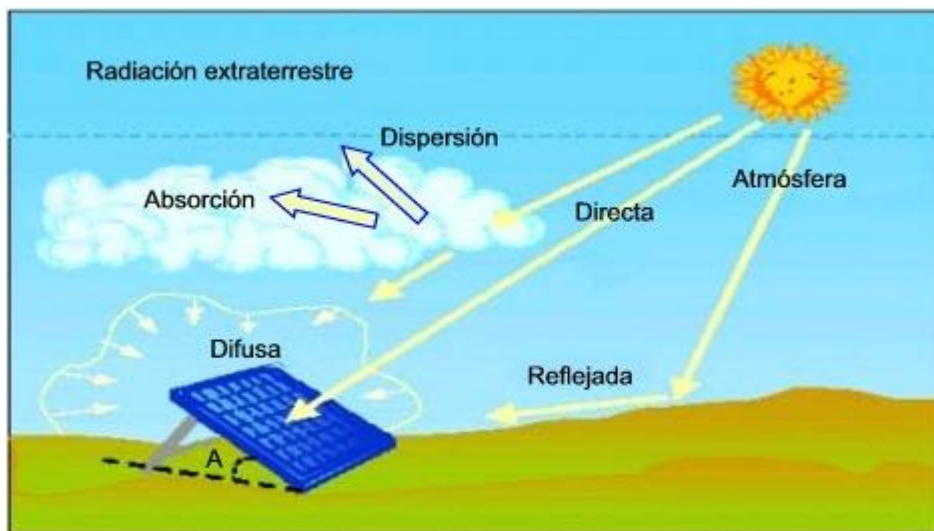
Un tipo de piranómetro de más precisión y precio, consta de un elemento absorbedor negro dispuesto bajo una doble campana de vidrio, el cual se calienta más o menos en función de la irradiación recibida, mediante una termopila que genera un voltaje proporcional a dicha irradiancia, el margen de error es del 3 %.

Si justo por encima de un piranómetro se coloca, adecuadamente posicionado, un anillo opaco o una esfera negra que proyecte su sombra sobre el sensor, evitando así que llegue la radiación directa, el piranómetro se convierte en un medidor de radiación difusa.

Para medir únicamente la radiación directa el sensor se monta en el fondo de un tubo de paredes interiores de color negro, que debe apuntar hacia el Sol, y cuyo extremo abierto ha de estar exactamente orientado hacia el disco solar. Estos dispositivos capaces de medir la radiación directa, se llaman pirheliómetros.

La radiación de albedo, que es la reflejada por los cuerpos situados alrededor de la superficie sobre la que nos interesa evaluar la radiación, y hay que añadirla a la directa y a la difusa que dicha superficie recibe. El albedo de los cuerpos es tanto mayor cuanto más claro sea el color de los mismos.

La influencia del albedo del entorno sobre la radiación incidente en un captador solar suele ser despreciable, y tan sólo en casos de ubicaciones muy particulares, como por ejemplo cuando existen paredes de color claro detrás de los colectores, puede suponer una pequeña ganancia adicional de energía.

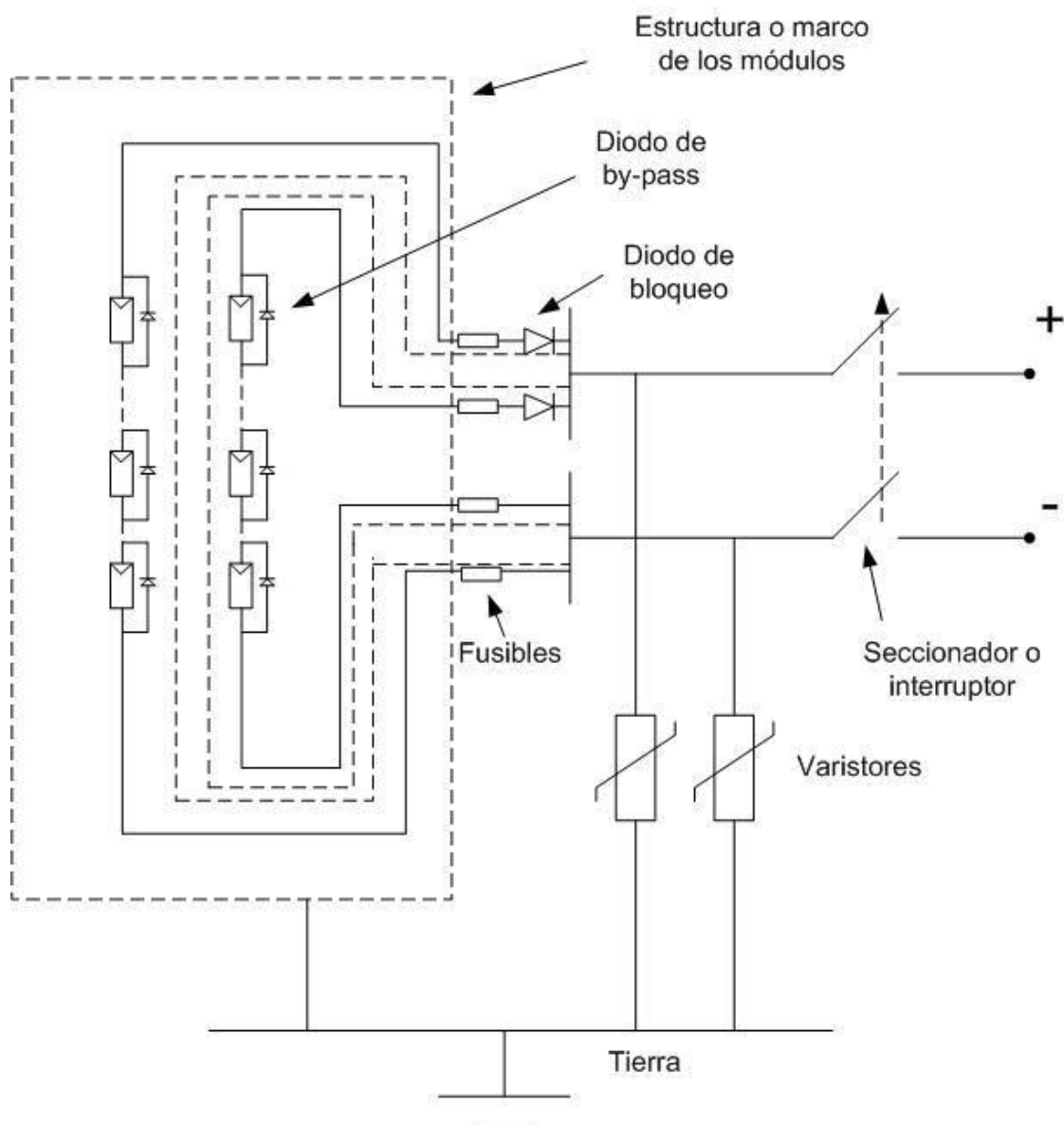


*Figura 3: Irradiación sobre el panel*

## Principales Elementos

Un generador fotovoltaico comprende una variedad de componentes tales como: Módulos, estructuras de soporte, diodos de “bypass”, diodos de bloqueo,

fusibles, cables y terminales, dispositivos de protección contra sobretensiones (varistores), seccionadores o interruptores y cajas de conexión.



*Figura 2: Esquema de un panel.*

Los módulos pueden, en principio, tener cualquier tipo de asociación de células en serie o paralelo aunque la mayoría de los comerciales disponibles tienen 20 V de tensión de circuito abierto (VOC) y, aproximadamente, 3 A de corriente de cortocircuito (ISC) en condiciones normales de prueba (SRC).

A la asociación de varios módulos en serie se le denomina “hilara” o rama. En hileras de módulos con tensiones de circuito abierto más altas que 30 V, es necesario instalar en antiparalelo con ellas, diodos de “bypass” que permiten un camino alternativo a la corriente alrededor de una asociación serie de células cuando alguna de las células que conforman dicha hilara está parcialmente sombreada o destruida. Normalmente los fabricantes de módulos incorporan en cada módulo uno o dos de estos componentes.

Los diodos de bloqueo, se instalan en serie con cada hilera o conjunto de hileras para prevenir las pérdidas debidas a la inversión de corriente cuando el generador fotovoltaico está conectado a una fuente de tensión como por ejemplo una batería, en situación de no iluminación, de noche. No obstante, para el caso de los módulos de silicio mono y multicristalino, suele ser mayor la energía perdida por caída de tensión en funcionamiento normal por lo que su uso en general, está desaconsejado, aunque en el caso de grandes instalaciones, cuando existen muchas ramas en paralelo, es conveniente disponer en serie con cada rama de un diodo de bloqueo para impedir que las ramas menos iluminadas actúen como cargas de las más iluminadas, en situación de cielo parcialmente nublado.

Los fusibles protegen a los conductores de sobre corrientes y se pueden instalar cuando el generador fotovoltaico está compuesto de varias hileras o ramas en paralelo, en el conductor que colecta la intensidad generada en dichas ramas si no tiene la suficiente capacidad para soportar de modo permanente la intensidad de corto circuito, máxima, proveniente del conjunto de dichas ramas, o bien en sistemas fotovoltaicos autónomos cuando un cortocircuito eventual en ella. No obstante, en un diseño adecuado del cableado de un generador fotovoltaico está conectado a red, los cables o conductores que lo conforman deberán tener la suficiente sección para permitir el paso de la máxima corriente generada, intensidad de cortocircuito de la rama o suma de las intensidades de cortocircuito de las ramas en paralelo asociadas, sin sobrecalentarse o sin presentar caídas de tensión según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Complementarias.

Por todo ello, la mayoría de las veces que se utilizan fusibles en serie con las ramas de un generador fotovoltaico, van asociados a seccionadores que permitirán aislar dicho generador fotovoltaico del equipo o equipos a él conectados.

Las cajas de conexión, son también muy importantes y numerosas en el generador fotovoltaico. Una mala conexión debida a un mal apriete del terminal

o corrosión de éste por insuficiente estanqueidad de la caja, puede inutilizar una rama o varias y, en el peor de los casos, provocar un fuego.

Otros componentes fundamentales de un generador fotovoltaico en cualquier caso, son los varistores o dispositivos de protección contra sobretensiones

producidas por descargas atmosféricas. Estos actúan como verdaderos fusibles

de tensión y se instalan en general entre los terminales positivo y negativo de una rama o asociación de ramas y entre cada uno de dichos terminales y la tierra de todas las masas metálicas del generador o sistema fotovoltaico: Estructura y marcos metálicos de módulos, carcasas de cuadros eléctricos, etc. Van tarados a una determinada tensión y son aislantes hasta que se llega a dicha tensión, momento en el que pasan a conducir, quedando inutilizados después de su actuación por lo que es necesaria su sustitución.

Finalmente, la estructura soporte del generador fotovoltaico sirve para unir y dotar de rigidez la asociación serie/paralelo de módulos que lo componen. Deberá estar diseñada para soportar todas las cargas mecánicas que pudieran presentarse en cada caso: viento, nieve, contracciones y dilataciones por cambios de temperatura, etc.

En viviendas fotovoltaicas conectas a red, en las que los módulos conforman, como elementos estructurales integrados, parte de la cubierta o fachada sur, la estructura soporte de módulos deberá estar dispuesta de tal modo que garantice una perfecta estanqueidad, permitiendo en todo caso la reposición o sustitución de cualquier módulo, fácilmente.

## 2. INVERSOR:



El dispositivo fundamental de un sistema fotovoltaico conectado a red es el inversor. Funciona como interfase entre el generador fotovoltaico y la red

eléctrica. De este modo, el sistema fotovoltaico conectado a red forma parte de los sistemas de generación que alimentan dicha red.

El inversor debe seguir la frecuencia a la tensión correspondiente de la red a la que se encuentre conectado. La forma de onda de la corriente de salida del inversor deberá ser lo más senoidal posible para minimizar el contenido en armónicos inyectados a red.

La potencia disponible del generador fotovoltaico varía con la irradiancia y temperatura de trabajo de las células que lo componen, el inversor deberá extraer la máxima potencia posible del generador fotovoltaico. Esto se consigue con un dispositivo que normalmente suelen incorporar este tipo de equipos, denominado “seguidor del punto de máxima potencia” (Maximum Power Point Tracker – MPPT), dispositivo electrónico incorporado en el inversor y que varía cada determinado tiempo, de uno o varios minutos, la tensión de entrada del inversor (o tensión de salida del generador fotovoltaico) hasta que el producto  $V_{xl}$  de salida, potencia de salida, del generador fotovoltaico se hace máximo.

En resumen, los inversores al utilizar sistemas fotovoltaicos conectados a red deben reunir las siguientes características generales: Alta eficiencia en condiciones nominales ( $> 90 \%$ ), así como en condiciones de baja insolación ( $>80 \%$  para valores de irradiancia  $\geq 150 \text{ MW/cm}^2$ ); bajo contenido en armónicos de intensidad ( $\text{THD} < 5 \%$ ); gran fiabilidad, peso reducido, bajo nivel de emisión acústica, etc.

## 2.1 REQUERIMIENTOS DE LOS INVERSORES CONECTADOS A LA RED.

Para la compañía eléctrica la seguridad y la calidad de la potencia son los puntos más importantes. El flujo de energía eléctrica normalmente siempre va en el sentido de las cargas, cuando un consumidor deja de consumir, no suele ser normal que comience a inyectar energía a red.

Existen diferencias entre la operación de auto productores con generadores dinámicos y con generadores estáticos (inversores). A continuación se detallan los requerimientos normalmente exigidos a estos últimos:

- El sistema fotovoltaico parte como un componente de la red eléctrica.

- El inversor debe cumplir las especificaciones de la red eléctrica.
- La seguridad de los operadores debe tenerse siempre en cuenta (pueden existir partes activas desconocidas).
- Los sistemas fotovoltaicos no deberán entregar energía a una línea sin protecciones.
- La desconexión del inversor debe ser automática en cuando aparezca un fallo.
- Deberá existir un punto de fácil desconexión (contactos) que sea accesible a los empleados de la compañía eléctrica.
- Los inversores deberán operar con factor de potencia unidad.
- Se deberá efectuar aislamiento eléctrico entre los sistemas fotovoltaicos y la red.

En la mayoría de los casos el inversor deberá estar desconectado en segundos a partir de la detección de alguna falta. La mayoría de los inyectores no están preparados para operar sin tensión de red (modo isla), por ello la mayoría de las compañías solo permiten conectar un sistema fotovoltaico a la red si se instala una relé de tensión trifásico. El inversor deberá desconectarse de la red a través del relé si la tensión crece o disminuye por encima de unos límites predefinidos. El rango recomendado es del 80 – 110 % de la tensión nominal.

Las tres fases deberán ser monitorizadas de cara a detectar pérdidas de la tensión de red. Así si un inversor monofásico puede mantener la tensión estable en una fase (modo isla) el relé de tensión deberá detectar el fallo en las otras dos fases y desconectar el inversor.

También si la señal de salida del inversor excede de las condiciones predefinidas para la operación (sobre/sub tensión, sobre/sub frecuencia) el



inversor debe desconectarse automáticamente de la red. Se posibilitará la nueva conexión después de un cierto tiempo (3 minutos normalmente), tiempo que el sistema de control y protección de red espera para intentar una nueva conexión.

## 2. 2 COMPATIBILIDAD CON LA RED.

En la conexión en alterna de un inversor conmutado por red, no hace falta un control directo. En control de la demanda de energía reactiva y quizá inyección armónica viene dado, debido esencialmente a la independencia del inversor y su control. En el caso de un inversor auto conmutado, la tensión de alterna del inversor puede ser controlada independientemente de las condiciones de la entrada en continua si la demanda de reactiva (o entrega) está controlada, y el control de flujo de potencia activa es perfecto mediante el ajuste de las fases de voltaje respecto de la red. Así, el parámetro más importante del lado de continua, la potencia del campo fotovoltaico, se puede controlar en la conexión alterna del convertidor de potencia auto conmutado.

## 2.3 CALIDAD DE LA SEÑAL.

Las dos principales cuestiones técnicas a tener en cuenta en un inversor desde el punto de vista de calidad de la señal son el factor de potencia y la distorsión armónica. Normalmente, los inversores conmutados por red, operan con factores de potencia significativamente menores de la unidad, cosa que en las conexiones a red se debe evitar. La cuestión es que con factores de potencia bajos el inversor demandará a la red energía reactiva (VAR), afectando a la tensión del sistema, lo cual puede degradar la calidad del servicio eléctrico de los demás consumidores conectados a ella. Además, esto es poco deseable para la compañía eléctrica ya que no puede ser razonable que se espere que ésta cargue con los costes de suministrar potencia reactiva mientras no se le compra potencia activa, o quizá incluso tener que comprar potencia activa si es un auto generador.

La demanda de energía reactiva ya sea debido a cargas o inversores, puede ser aceptada si la compañía eléctrica cobra dinero al propietario de la instalación auto generadora por el consumo de la potencia reactiva. Las leyes que regulan los contratos entre la compañía eléctrica y el consumidor no permiten hacer esto. Por ello, un factor de potencia unidad en el punto de conexión y la salida del convertidor es lo que las compañías eléctricas desean.



El contenido armónico en la señal de salida de un inversor para uso fotovoltaico es difícil de fijar debido a que no hay mucha información disponible. Las regulaciones prevén alguna forma de aislamiento. Segundo, el auto generador y la compañía eléctrica deberán utilizar protecciones que logren interrumpir corrientes de fallo en continua. En tercer lugar, un fallo en el inversor con niveles

de continua puede saturar el transformador de distribución y causar mal funcionamiento del servicio a otros abonados, así que tanto en el mismo transformador como en la misma línea, los dispositivos de protección se deben disparar inmediatamente. Todas estas áreas conciernen sobre todo a la compañía eléctrica.

La detección y señalización de fallos en la conexión campo fotovoltaico al inversor es difícil ya que normalmente se producen pequeñas corrientes de cortocircuito y los dispositivos de interrupción ante faltas en continua como contactores son caros y tienen una vida útil corta. Así, como el campo fotovoltaico no daña al inversor, es éste mismo el que se ocupa a menudo de detectar y señalizar la mayoría de los fallos en el lado de continua. Esto último no quiere decir que no se puedan producir fallos irremediables en el inversor, un corto entre los terminales del campo a través de los dispositivos de conmutación por ejemplo. Existen plantas piloto que han convertido esta posible situación en una operación de desconexión normal.

### 3. PROTECCIONES.

Los inversores de potencia actuales suelen incluir el control de todo el sistema. Esto incluye detectar que el campo fotovoltaico tiene suficiente potencia como para poder conectarse a la red, cerrando en ese momento un contactor y comenzando a operar tan pronto como haya luz.

Por la noche el inversor deberá estar totalmente desconectado. La lógica de control del inversor incluirá un sistema de protección que detecte situaciones de funcionamiento anormales como son:

- 1) Falta a tierra en continua.
- 2) Condiciones anormales en red (tensión de línea, frecuencia).

- 3) Pérdidas en una fase.
- 4) Parada del inversor cuando la etapa de potencia se sobrecaliente.
- 5) El inversor igualmente deberá ser protegido entre transitorios de tensión mediante varistores en el lado de continua y alterna.

Debido al hecho de que cada vez son más los inversores que operan con altas frecuencias de conmutación, 20 kHz o más utilizando PWM, se obtienen distorsiones armónicas bajas y factores de potencia cercanos a la unidad, por otro lado se causan interferencias en la región de RF. Esto es importante sobre todo en inversores operando en baja tensión, fotovoltaica en viviendas.

Los armónicos debidos a la frecuencia de conmutación del inversor pueden interferir con frecuencias utilizadas en equipos de telecomunicaciones (radio, televisión, teléfonos). Para evitar estas interferencias, los inversores suelen suprimir los armónicos mediante filtros y protecciones apropiadas.

Además de las protecciones ya comentadas sobre el inversor, un sistema fotovoltaico conectado a red debe incluir una serie de protecciones, tanto en la zona de continua como en la de alterna que garanticen su buen funcionamiento al par que un nivel de seguridad para el usuario y personal de mantenimiento, semejante a los sistemas eléctricos de generación/consumo convencionales.

En la zona de continua, en lo que a tierras se refiere, existe una controversia mantenida sobre las ventajas y desventajas de la puesta a tierra de masas metálicas y conductores polares. Así, en la zona de continua y desde el punto de vista de funcionamiento del sistema, una buena toma de tierra, resistencia de tierra  $< 2 \Omega$ , de la estructura soporte, aseguraría un buen camino para la corriente causada por una descarga atmosférica que se produjera accidentalmente sobre ella. Por tanto, en la mayoría de los casos y sobre todo en las zonas de riesgo de este tipo de fenómenos, la estructura soporte o las marcas metálicas de los módulos, así como todas las carcasas metálicas del equipamiento eléctrico incluido en un sistema de estas características, han de ponerse a tierra, a menos que exista o se instale un pararrayos que proteja el área en la que dicha estructura soporte fuera instalada, debido a la posibilidad de acoplamiento vía tierra.

Sobre la puesta a tierra de las partes activas del generador fotovoltaico, polo positivo o negativo, también existe controversia. En el artículo 690-41 del Reglamento Electrotécnico de EE UU (NEC-National Electrical Code) se explicita

que uno de los polos activos de un generador fotovoltaico han de ponerse a tierra. Sin embargo, en Europa, es práctica común, dejar el circuito en flotación, instalando varistores para protección contra sobretensiones.

Asimismo, desde el punto de vista de la seguridad personal, para prevenir choques eléctricos en usuarios o personal de mantenimiento cuando la tensión del sistema es cercana o superior a 100 V c.c.; es muy recomendable, sobre todo en instalaciones en las que el generador fotovoltaico es accesible, por ejemplo: fachadas, cubiertas accesibles, centrales fotovoltaicas, etc., instalar entre cada polo del sistema y tierra, un dispositivo suficientemente sensible, 100 mA, que detecte corrientes de fugas del sistema a través de tierra y en caso de contacto, actúe, cortocircuitando el sistema a tierra.

Además, dicho mecanismo debe poder actuarse manualmente con el mismo fin para evitar cualquier riesgo de accidente durante las labores de mantenimiento correspondiente.

Otra forma de disminuir el riesgo de choque eléctrico cuando la tensión del generador fotovoltaico está por encima del 100 V consiste en poner a tierra, a un punto intermedio de las ramas a modo de divisor de tensión.

Si la tensión de circuito abierto del generador fotovoltaico es igual o menor a 100 V (25 °C, 1000 W/m<sup>2</sup>), no sería necesaria la instalación de ningún dispositivo como los descritos, incluso si los módulos son accesibles.

En la zona de alterna, a la salida del inversor, siempre es conveniente poner un transformador de aislamiento galvánico en el que y para suministro trifásico, su neutro podría ir también conectado a tierra o flotante. En suministro monofásico, instalaciones domésticas, < 5 kW., no es preciso la puesta a tierra del neutro. Por supuesto, en todos los casos es imprescindible protección diferencial contra contactos indirectos. También es necesaria la instalación de

dos relés, uno de máxima y otro de mínima tensión que actúen sobre un interruptor automático de desconexión.

Además, tanto en la zona de continua como en la de alterna se instalarán, en todos los casos, disyuntores magnetotérmicos.

A continuación, se resumen las características técnicas generales en cuanto a funcionamiento y protecciones, que deben reunir los sistemas fotovoltaicos de potencia > 5kW, conectados a la red nacional, tanto debajo como en alta tensión, incluyendo los límites en fluctuación de tensión y frecuencia que la propia red puede tener.

- Fluctuación de tensión: La tensión debe mantenerse entre el 85 % y el 110 % de su valor nominal.

- Fluctuaciones de frecuencia: La frecuencia debe mantenerse entre 49 y 51 Hz para el adecuado funcionamiento del sistema fotovoltaico.

- Compensación del factor de potencia,  $\cos \varphi > 0,86$  (inductivo).

- Caída de tensión máxima permitida  $\Delta V = 5 \% V_{\text{nominal}}$ .

- Distorsión total armónica máxima: THD < 5 %.

- Protecciones mínimas necesarias:

### **1) Para conexión en baja tensión:**

- 1.- Contra sobrecargas y cortocircuitos (3 relés).

- 2.- Contra sobre y subtensiones fuera de los límites anteriormente establecidos, con rearme manual (3 relés).

3.- Contra desequilibrios en la red de más del 7 % en cualquier sentido (1 relé).

4.- Contra variaciones de frecuencia fuera de los límites mencionados (2 relés, una para subfrecuencia y otro para sobre frecuencia).

## **2) Para conexión en alta tensión:**

Además de las protecciones descritas para baja tensión:

1.- Protección de fallo a tierra, contra sobretensiones homopolares (1 relé de tensión en el neutro en sistemas de neutro aislado).

También y en relación a la norma IEC TC82 respecto a seguridad:

Los fallos internos del sistema fotovoltaico no deben afectar el funcionamiento de la red a la que se encuentran conectados.

Coordinación con los sistemas de protección de la red a la que se conecten.

Cuidado especial en las operaciones aisladas.

### **Otras condiciones:**

1.- Reconexión a la línea después de 3 minutos si la tensión está por encima del 85 % de la nominal.

2.- Si existen varios generadores, la reconexión se realizará a intervalos de 10 segundos.

Datos requeridos de las interfases:

#### Auto generador:

- 1.- Tipo de energía y condiciones legalmente vigentes.
- 2.- Localización, instalación y potencia.
- 3.- Nivel de cortocircuito en el punto de conexión.

#### Red eléctrica:

- 1.- Punto de conexión.
- 2.- Límites de valor de tensión.
- 3.- Máxima y mínima capacidad de corto en cortocircuito.
- 4.- Existencia de secuencia automática de reconexión.

## **MANTENIMIENTO PLANTA FOTOVOLTAICA**

### **1. OBJETO**

El objeto del presente Manual de Mantenimiento es establecer una serie de actuaciones indicadas para garantizar la mayor productividad posible de la instalación solar fotovoltaica, de forma que se minimicen los tiempos de parada por avería o mal funcionamiento de la misma y costes asociados a dichas fallas.

### **2. GENERALIDADES**



Las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red se caracterizan por ser instalaciones que requieren escaso mantenimiento, si están bien diseñadas, por lo que siguiendo el presente Plan de Mantenimiento no es de esperar que se produzcan averías en la instalación.

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es de carácter preventivo y correctivo. No tiene partes móviles sometidas a desgaste, ni requiere cambio de piezas ni lubricante.

Entre otras cuestiones, es muy recomendable realizar revisiones periódicas de las instalaciones, para asegurar que todos los componentes funcionan correctamente.

La experiencia demuestra que los sistemas fotovoltaicos tienen muy pocas posibilidades de avería, especialmente si la instalación se ha realizado correctamente y si se realiza un mantenimiento preventivo. Básicamente las posibles reparaciones que puedan ser necesarias son las mismas que cualquier aparato o sistema eléctrico, y que están al alcance de cualquier electricista.

A la hora de plantear el mantenimiento se deben considerar los siguientes puntos:

- Las operaciones necesarias de mantenimiento.
- Las operaciones a realizar por el usuario y las que debe realizar el instalador.
- La periodicidad de las operaciones de mantenimiento.

El mantenimiento de la instalación solar fotovoltaica lo puede realizar el usuario final de la instalación solar fotovoltaica (a través de los operarios cualificados correspondientes).

Para facilitar las labores de mantenimiento el usuario de la instalación deberá disponer de planos actualizados y definitivos de la instalación solar, en el que queden reflejados los distintos componentes de la misma.

Después de cada operación de mantenimiento, se generará un informe en el que se evaluará detalladamente el estado de los componentes revisados, indicando las operaciones efectuadas, sustitución de componentes y se propondrán, cuando las haya, posibles medidas de mejora o sustitución de componentes que predeciblemente no estén operativos hasta una posterior revisión.

### **3. PLANES DE MANTENIMIENTO MÁS COMUNES**

#### **3.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

El mantenimiento correctivo es una forma de mantenimiento del sistema que se realiza después de haber ocurrido un fallo o problema en alguna de sus partes, con el objetivo de restablecer la operatividad del mismo. Se utiliza cuando es imposible de predecir o prevenir un fracaso, lo que hace el mantenimiento correctivo la única opción.

El proceso de mantenimiento correctivo se inicia con una avería y un diagnóstico para determinar la causa del fallo. Es importante determinar qué es lo causó el problema, a fin de tomar las medidas adecuadas, y evitar así que se vuelva a producir la misma avería.

Esta estrategia de mantenimiento puede resultar económica a corto plazo, al no invertir en planes de mantenimiento preventivo, si bien puede ocurrir que a causa de una falta de mantenimiento surja una avería que pueda resultar irreparable y con las graves consecuencias que esto conlleva, por tanto no se recomienda este plan de mantenimiento, por estar demostrado que es mucho más costoso que cualquier otro a medio y a largo plazo.

#### **3.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El mantenimiento preventivo es aquel mantenimiento que tiene como primer objetivo evitar o mitigar las consecuencias de los fallos o averías de un sistema del equipo, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran.

Este plan de mantenimiento permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir coste de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.



El mantenimiento preventivo en general se ocupa en la determinación de condiciones operativas, de durabilidad y de confiabilidad de un equipo. Un plan de mantenimiento correctamente planificado puede reducir considerablemente los fallos de una instalación.

### **3.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El mantenimiento predictivo está basado en la determinación del estado de un sistema en operación, es decir, se basa en que los sistemas darán un tipo de

aviso antes de que fallen por lo que este plan de mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

En el mantenimiento predictivo se suelen realizar ensayos no destructivos, como medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, intensidades, tensiones, etc.

El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo, de forma que se subsane este antes. Detectar cambios anormales en las condiciones del equipo y subsanarlos es una buena forma, aunque no fácil, de evitar posibles averías en el sistema.

## **4. MANTENIMIENTO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA**

### **4.1. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

#### **4.1.1. Paneles solares fotovoltaicos**

Por su propia configuración carente de partes móviles, los paneles fotovoltaicos requieren muy poco mantenimiento, al mismo tiempo el control de calidad de los fabricantes es general y rara vez presenta problemas.

Dos aspectos a tener en cuenta primordialmente son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y por el otro, mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos.

Las pérdidas producidas por la suciedad pueden llegar a ser de un 5%, y se pueden evitar con una limpieza periódica adecuada.

**El mantenimiento consiste en:**

#### **4.1.1.1. Limpieza periódica del panel**

La suciedad que pueda acumular el panel puede reducir su rendimiento, las capas de polvo que reducen la intensidad del sol no son peligrosas y la reducción de potencia no suele ser significativa.

Las labores de limpieza de los paneles se realizarán 3 veces al año o bien después de una lluvia, nevada u otros fenómenos meteorológicos similares.

La limpieza se realizará con agua (sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos). Preferiblemente se hará fuera de las horas centrales del día, para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel (sobre todo en verano).



*Figura: Limpieza de paneles.*

El proceso de limpieza depende lógicamente del proceso de ensuciado, en el caso de los depósitos procedentes de las aves conviene evitarlos poniendo pequeñas antenas elásticas que impidan que se posen.

#### **4.1.1.2. Inspección visual de posibles degradaciones (bimensualmente)**

- Se controlará que ninguna célula se encuentre en mal estado (cristal de protección roto, normalmente debido a acciones externas).
- Se comprobará que el marco del módulo se encuentra en correctas condiciones (ausencia de deformaciones o roturas).

#### **4.1.1.3. Control de las características eléctricas del panel (anualmente)**

Se revisará el estado de las conexiones, entre otros:

- Ausencia de sulfatación de contactos.
- Ausencia de oxidaciones en los circuitos y soldadura de las células, normalmente debido a la entrada de humedad.
- Comprobación de estado y adherencia de los cables a los terminales de los paneles.
- Comprobación de la estanqueidad de la caja de terminales o del estado de los capuchones de seguridad. Si procede, se sustituirán las piezas en mal estado y/o se limpiarán los terminales.
- Comprobar la toma a tierra y la resistencia de paso al potencial de tierra.

#### **4.1.2. Estructura soporte de los paneles**

La estructura soporte de los paneles fotovoltaicos está fabricada íntegramente con perfiles de aluminio y tornillería de acero inoxidable, por lo que no requieren mantenimiento anticorrosivo. El mantenimiento de las mismas se realizará cada seis meses y consistirá en:

##### **Cada 12 meses:**

- Comprobación de posibles degradaciones (deformaciones, grietas, etc).
- Comprobación del estado de fijación de la estructura a cubierta. Se controlará que la tornillería se encuentra correctamente apretada, controlando el par de apriete si es necesario. Si algún elemento de fijación presenta síntomas de defectos, se sustituirá por otro nuevo.
- Comprobación de la estanqueidad de la cubierta. Consiste básicamente en cerciorarse de que todas las juntas se encuentran correctamente selladas, reparándolas en caso necesario.

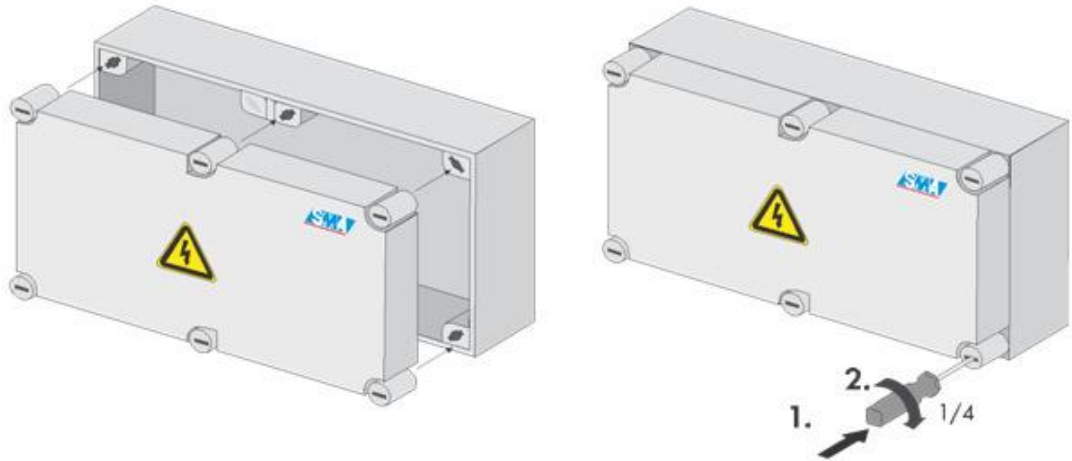
- Comprobación del estado de fijación de módulos a la estructura. Operación análoga a la fijación de la estructura soporte a la cubierta.

#### **4.1.3. Cajas (String box)**

Las cajas (String Box) suministradas son resistentes a la intemperie (emplazadas a la sombra). Se recomienda realizar las siguientes operaciones de mantenimiento:

##### **Cada 12 meses:**

- Comprobar el correcto anclaje de la caja a la estructura soporte correspondiente y horizontalidad de la misma, asegurándose de que la tornillería está correctamente apretada (comprobando el par de apriete si es necesario), sustituyendo algún elemento de fijación si se encuentra en mal estado.
- Comprobar que la carcasa de la caja se encuentra en correcto estado y no presenta síntomas de deterioro debido a agentes externos. Sustituirla en caso necesario.
- Comprobar la estanqueidad de la carcasa y si presenta daños.
- Comprobar si la tapa está bien asentada y su estanqueidad. Asegurarse al cerrar la tapa que los cierres estén bien bloqueados, ejerciendo una ligera presión con un destornillador hasta que estos encajen (1/4 de vuelta).



#### 4.1.4. Inversores

Los inversores son uno de los equipos más delicados de la instalación, y como tal requieren un mantenimiento más exhaustivo. Si bien los intervalos de mantenimiento dependen del emplazamiento de estos y de las condiciones ambientales (polvo, humedad, etc). Las instrucciones que a continuación se muestran son válidas para el emplazamiento en el interior de un edificio sometido

a rangos de temperatura normales (0-40°C a la sombra). Los trabajos de mantenimiento son los siguientes:

##### **Cada mes:**

- Lectura de los datos archivados y de la memoria de fallos.

##### **Cada 6 meses:**

- Limpieza o recambio de las esteras de los filtros de entrada de aire.
- Limpieza de las rejillas protectoras en las entradas y salidas de aire.

##### **Cada 12 meses:**

- Limpieza del disipador de calor del componente de potencia.

- Si es necesario, limpiar el inversor y tomar las medidas pertinentes.
- Revisar la firmeza de todas las conexiones del cableado eléctrico y, dado el caso, apretarlas.
- Comprobar si el aislamiento o los bornes presentan descoloración o alteraciones de otro tipo. En caso necesario cambiar las conexiones deterioradas o los elementos de conexión oxidados.
- Inspeccionar y, dado el caso, reponer las etiquetas de indicación de advertencia.
- Comprobar el funcionamiento de los ventiladores y atender a ruidos. Los ventiladores pueden ser encendidos si se ajustan los termostatos o durante el funcionamiento.
- Intervalos de sustitución preventiva de componentes (ventiladores, calefacción).
- Verificar el envejecimiento de los descargadores de sobretensión y, dado el caso, cambiarlos.
- Revisión de funcionamiento de la monitorización de aislamiento / GFDI  
Comprobar el funcionamiento y la señalización.
- Revisión de funcionamiento de los dispositivos de protección
  - Interruptores de protección de la corriente de defecto.
  - Interruptores automáticos.
  - Interruptores de potencia.
- Control de la función de sobre temperatura y revisar el funcionamiento del circuito de seguridad de esta función.



Debido al peligro inminente por riesgo eléctrico, las operaciones de mantenimiento se deben realizar con los inversores desconectados y sin tensión.

#### **4.1.5. Sistema de monitorización de la instalación solar**

En este apartado nos centraremos en los elementos que complementan al sistema de control formado por las String box y los inversores, ambos comentados.

Estos elementos, aunque no son fundamentales para el correcto funcionamiento de la instalación solar, son muy importantes para el control de la misma así como detección de averías. El mantenimiento es muy sencillo y consiste en:

##### **Cada mes:**

- Supervisión visual de los distintos equipos a través del PC, es decir, controlar los parámetros de producción (tensión, intensidad, potencia, etc) registro de alarmas, etc.
- Comprobación del sistema de aviso de alarmas. Para ello se enviará un mensaje de prueba al dispositivo móvil o correo electrónico configurado.

##### **Cada 12 meses:**

- Revisión de las conexiones de los distintos elementos, tarjetas, sensores, Router, PC, etc.
- Comprobación de todos los sensores, cerciorándose de que se encuentran en buen estado y no presentan síntomas de deterioro o roturas. En caso necesario, sustituir estos.

#### **4.1.6. Línea eléctrica**

De una buena conservación de la misma dependerá el correcto funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica y de las protecciones de la misma. La parte más delicada de la línea eléctrica corresponde a la línea de CC sobre cubierta,

por estar sometida a las inclemencias atmosféricas y agentes externos. El mantenimiento de la línea eléctrica consiste en:

**Cada 6 meses:**

- Comprobación del estado de la cubierta y aislamiento de los cables, así como las protecciones mecánicas de los mismos. Si presenta algún síntoma de deterioro, sustituir el tramo completo.

**4.1.7. Protecciones de la instalación solar fotovoltaica**

Las protecciones del circuito eléctrico de la instalación solar fotovoltaica han de encontrarse siempre en perfecto estado de funcionamiento ya que de estas depende la totalidad de las condiciones de seguridad tanto de equipos como de usuarios. Las operaciones de mantenimiento que habrá que realizar son:

**Cada 3 meses:**

- Inspección visual de mecanismos interiores para posible detección de anomalías visibles y dar aviso al profesional.

**Cada 12 meses:**

Comprobación del correcto funcionamiento de los interruptores diferenciales mediante el siguiente procedimiento:

- Acción manual sobre el botón de prueba que incluye el propio interruptor diferencial.
- Desconexión automática del paso de la corriente eléctrica mediante la recuperación de la posición de reposo (0) de mando de conexión desconexión.
- Acción manual sobre el mismo mando para colocarlo en su posición de conexión (1) para recuperar el suministro eléctrico.



## **4.2. PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Este plan de mantenimiento se aplicará únicamente cuando por circunstancias sobrevenidas, debidas a averías en la instalación, sea necesario subsanar el defecto de la misma.

Las labores de mantenimiento correctivo serán delegadas en una Lumisolar Ltda, especialista en el sector, encargada de realizar todas las reparaciones pertinentes así como suministrar los repuestos necesarios.

Dicha empresa habrá de estar homologada y autorizada por los distintos fabricantes de los equipos suministrados, en caso contrario puede dar lugar a la anulación de la garantía legal de dichos equipos, por negligencias en las labores de mantenimiento.

Lumisolar Ltda encargada de realizar las labores de mantenimiento correctivo deberá:

- Garantizar la visita a la instalación en los plazos establecidos y cada vez que el usuario lo requiera debido a cualquier incidencia en la misma. Dicha visita a la instalación tras llamada del usuario se atenderá en el plazo máximo de 48h.
- Analizar y realizar un presupuesto adecuado de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto y normal funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica.
- Subsanan correctamente cualquier incidencia en un tiempo máximo de 48 horas, excepto cuando se trate de causas de fuerza mayor debidamente justificadas (por ejemplo: Desastres Naturales).