

MÓDULO 3: INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

1. Instalación:

- Conexión de módulos fotovoltaicos.
- Descargas atmosféricas y sombreado.

2. Cableado:

- Cables de conexión.
- Dimensionamiento por corriente, caída de tensión y cortocircuito.
- Correcciones por temperatura, agrupamiento y tendido.

3. Protecciones:

- Fusibles, interruptores termomagnéticos y diferenciales.
- Dimensionamiento y coordinación.
- Comportamiento en circuitos de corriente continua.

4. Instalaciones domésticas:

- Seguridad eléctrica.
- Normativas AEA (Asociación Electrotécnica Argentina) para instalaciones de CA (Corriente Alterna) y CC.
- Puesta a tierra de un sistema eléctrico. Puesta a Tierra para un sistema fotovoltaico.

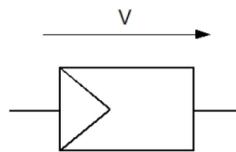
5. Medidas de seguridad aplicada

1. Instalación

El presente capítulo tiene como objetivo entrar en detalle en los cálculos y modos de instalación de sistemas fotovoltaicos, tanto On-grid como Off-grid.

El conexionado de los paneles permite ganar tensión o corriente, según se conecten en serie o paralelo. A continuación, se desarrollan estos contenidos.

El símbolo para el panel fotovoltaico es el siguiente:



✓ Conexiones en serie:

Si realizamos un **conexionado en serie** obtendremos el siguiente esquema,

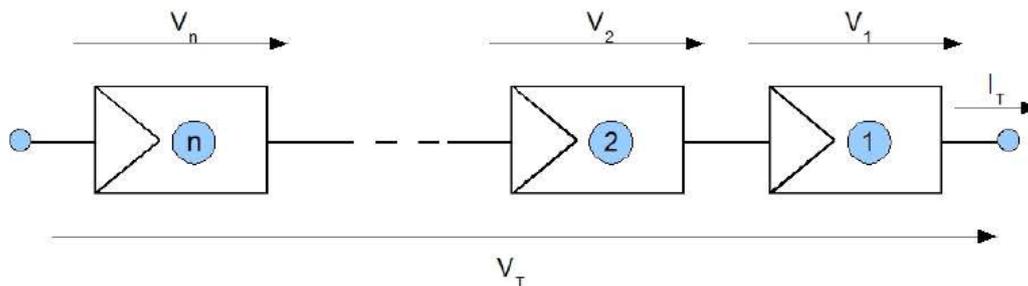


Ilustración 1. Esquema de conexión en serie

Para este modo de conexión, todos los paneles comparten la corriente, es decir, la **corriente** que circula a través de todos ellos es la **misma**. No obstante, la tensión no es la misma, es decir, va aumentando proporcionalmente a la cantidad de paneles.

$$V_T = \sum_{i=1}^n V_i = nV$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Las **placas solares en serie** generalmente se usan cuando tiene un inversor o controlador de carga conectado a la red que requiere 24V o más. La conexión en serie se realiza en paneles solares con potencias superiores a 200W, compuestos por 60 celdas y para uso en instalaciones solares de 24V o 48V. Mediante la conexión en serie se conectan directamente las placas solares entre sí, el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel.

A diferencia de la conexión en paralelo, se mantiene la intensidad de corriente y se suma el voltaje. Por ejemplo, si se conectan en serie 4 placas de 260W, 8,34A y 31Vmp (voltaje en el punto de

máxima potencia) cada una, se obtendrán 260W, 8,34A y 124Vmp. Los reguladores maximizadores MPPT (“Maximum Power Point Tracker” o seguidores del punto de máxima potencia), modulan el alto voltaje optimizando la capacidad de generar energía. Gracias a la tecnología MPPT se amplifica la potencia del orden del 25% (varía según las condiciones del clima, el estado de la batería y otros factores).

El regulador es un convertor de corriente continua a corriente continua que adapta la tensión que generan los paneles a la tensión que necesitan las baterías para cargarse. El regulador tipo MPPT hace un seguimiento digital de la salida de los paneles y la compara con el voltaje de las baterías. El microprocesador calcula cual es la potencia óptima que el regulador puede enviar a las baterías según el estado de carga. En los inversores conectados a red (on-grid) la energía generada por los paneles se convierte a corriente alterna. En esos casos los reguladores MPPT están incorporados al inversor y calculan la potencia óptima para alimentarlo.

La conexión de paneles solares en serie con diferentes clasificaciones de corriente solo debe usarse provisionalmente, ya que el panel solar con la corriente nominal más baja determina la salida de todo el sistema.

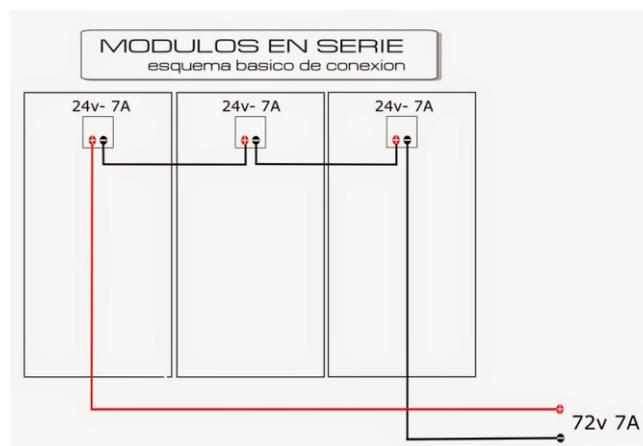


Ilustración 3. Esquema de conexión de paneles solares fv en serie

✓ **Conexiones en paralelo:**

En el caso de un conexionado en **paralelo** se obtendrá el recíproco de lo que sucede en el conexionado en serie. Por lo tanto, se van a compartir las tensiones, es decir, que la **tensión** en los bornes de cada panel va a ser la **misma**, no siendo así la corriente, ya que ésta va a ir aumentando proporcionalmente a la cantidad de paneles.

$$I_i = I_T = \sum_{i=1}^n$$

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

A modo de conclusión, el conexionado **serie o paralelo**, va a corresponder si se quiere ganar tensión o corriente, y así formar las cadenas necesarias para alimentar al inversor.

La conexión en paralelo se realiza conectando por un lado todos los polos positivos de los paneles de la instalación solar y, por el otro, conectando todos los polos negativos. De esta forma, se mantiene el voltaje o tensión (voltios) de los paneles solares mientras que se suma la intensidad de corriente (amperios).

Por ejemplo, si se conectan en paralelo 4 paneles solares de 140W, 7,9A y 12V cada uno, se obtendrán 560W y 31,6A a 12V. Se recomiendan conectores MC4 dobles para realizar conexiones en paralelo, ya que aporta una conexión estanca y segura que protege de los agentes meteorológicos y de las posibles fallas de contacto.

No se recomienda conectar paneles solares en paralelo con diferentes clasificaciones de voltaje ya que el panel solar con la tensión nominal más baja determinará la salida de voltaje del sistema.

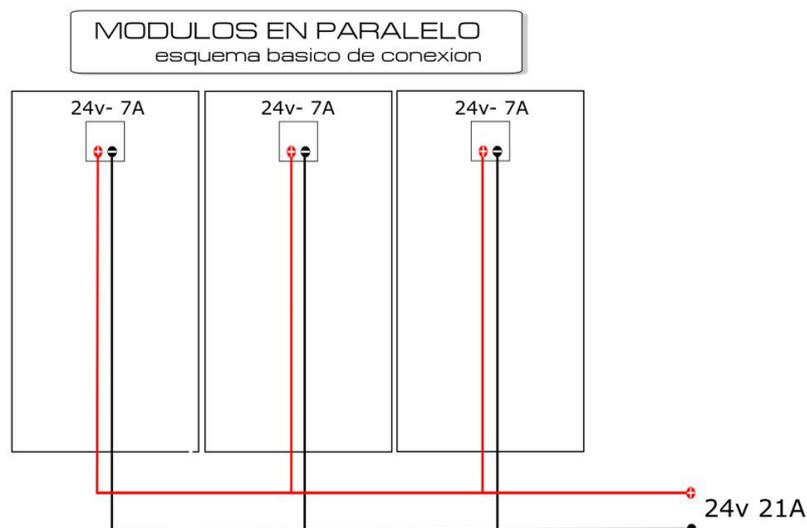


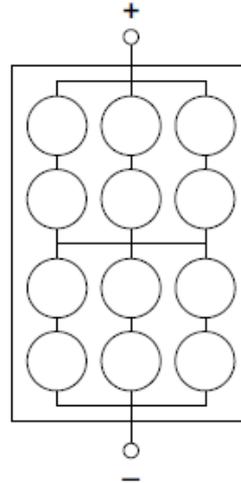
Ilustración 5. Esquema de conexión en paralelo

Veamos un ejemplo,

$$2 \text{ celdas en serie} \rightarrow \begin{cases} V_{oc} = 1,2V \\ I_{sc} = 3A \end{cases}$$

$$3 \text{ ramas en paralelo} \rightarrow \begin{cases} V_{oc} = 1,2V \\ I_{sc} = 9A \end{cases}$$

$$2 \text{ bloques en serie} \rightarrow \begin{cases} V_{oc} = 2,4V \\ I_{sc} = 9A \end{cases}$$



✓ **Sombreado:**

Como decíamos al comienzo, debemos evitar el sombreado de los paneles solares del sistema solar fotovoltaico.

En los casos en que el sombreado resulte inevitable, dependiendo de la forma de la sombra, el número de celdas o paneles que afecte y la distribución de ésta en el interconexión, el efecto sobre la generación de energía eléctrica del sistema puede variar considerablemente.

La existencia de sombras sobre parte de un panel fotovoltaico produce la entrada en funcionamiento de los diodos “bypass” de la caja de conexiones y esto provoca escalones en la curva I-V del mismo, es decir, su producción se reduce.

Por ejemplo, una placa solar estándar dispone de 3 diodos de bypass, uno por cada serie de 20 células. Cuando uno de los diodos conduce, el panel produce un 1/3 menos de lo que debería mientras dure el efecto de la sombra.

Cuando una celda o grupo de celdas se sombrea pasa de producir electricidad a consumirla, lo que puede provocar sobrecalentamiento y hasta la destrucción de la celda (lo que se conoce como *punto caliente* o *hot spot*). Los **diodos “bypass”** hacen de puente de la corriente eléctrica para evitar que esto suceda. En la imagen siguiente imagen se muestra un ejemplo de punto caliente en un panel solar debido, en este caso, a su baja calidad.



Ilustración 6. Punto caliente o hot spot en panel solar

Es decir que, técnicamente hablando, cuando la suma de los voltajes positivos del resto de celdas asociadas en serie con la celda sombreada supera el voltaje negativo de ésta en una cantidad igual al voltaje de activación del diodo bypass, éste comienza a conducir, ofreciendo así un camino alternativo para la corriente y evitando que la célula sombreada resulte dañada.

En la siguiente imagen se puede ver que los diodos de paso no evitan el sombreado de las células, ni mejoran la respuesta eléctrica en esas situaciones, sólo sirven como medida de protección para minimizar los efectos del “punto caliente” en asociaciones serie.

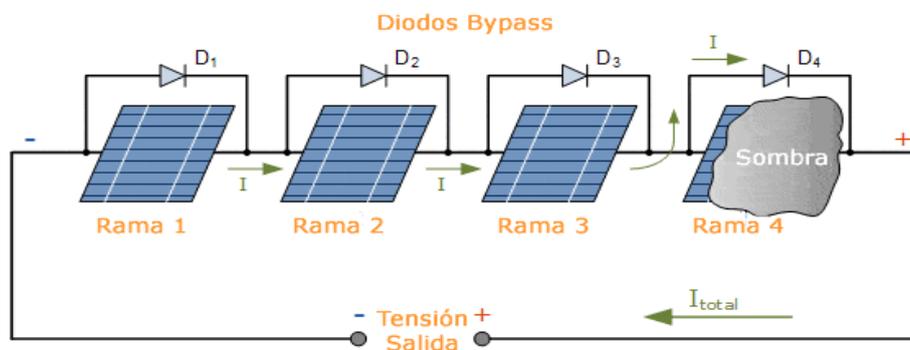


Ilustración 7. Esquema de diodo bypass de paneles en serie

El fenómeno de punto caliente no solo es causado por el sombreado, también puede darse en módulos solares de baja calidad, por lo que conveniente tener en cuenta la calidad de la marca de paneles solares que se selecciona la instalación.

En la siguiente Ilustración, se muestra la ubicación del diodo bypass en el panel solar.



Ilustración 8. Diodo de protección en el panel solar fv

Entonces, un diodo es un elemento que permite el flujo de la corriente en un solo sentido y bajo unas condiciones de Intensidad y Tensión.

Además de los diodos de Bypass, que permiten “puentear” la celda o módulo en serie que presenta problemas para que el conjunto no se vea afectado, existen los diodos de bloqueo. Éstos evitan ramas con distintas tensiones (para cadenas en paralelo). En la siguiente Ilustración se muestra un esquema de los mismos.

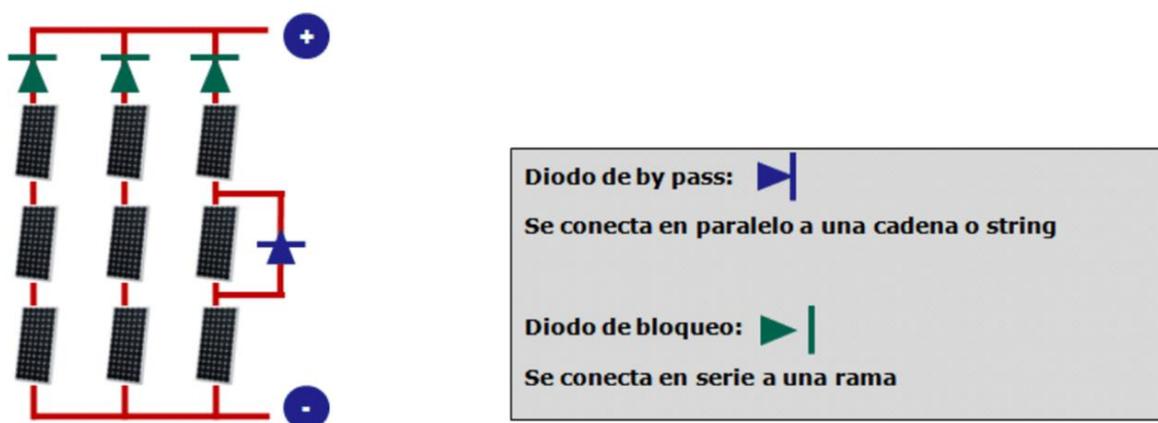


Ilustración 9. Esquemas de ubicación de diodos bypass y diodos de bloqueo

✓ **Descargas atmosféricas:**

Uno de los aspectos en los que se ha puesto mayor énfasis dentro de las normativas de instalación de sistemas eléctricos es el de puesta a tierra. Es considerado la base de la

seguridad en términos eléctricos, no sólo para el sistema eléctrico sino también para la infraestructura y personas que estén en contacto con alguna parte viva de la instalación.

Los sistemas on-grid se conectan en paralelo a la red eléctrica existente, por lo que se requiere que tengan su puesta a tierra. Las partes metálicas del sistema fotovoltaico como son el marco de los paneles, las estructuras, los envolventes de los equipos, cajas de conexión o de paso deberán colocarse a tierra mediante un conductor de puesta a tierra.

Las protecciones contra sobretensión también se conectan a tierra y al operar descargan hacia tierra. Por todos estos aspectos es sumamente importante tener atención al instalar y supervisar este sistema.

Los aspectos a considerar en la puesta a tierra del sistema se detallan a continuación:

- El marco metálico de cada uno de los módulos del arreglo fotovoltaico debe conectarse a tierra con un conductor continuo, es decir, sin empalmes.
- El conductor de puesta a tierra para los marcos de módulos debe ser conectado en cada uno de ellos con una zapata terminal tipo compresión de cobre estañado o aluminio estañado. Dicha zapata debe sujetarse al marco metálico con un tornillo de acero inoxidable con tuerca mecánico con arandela de presión y de “estrella”, todo el conjunto en acero inoxidable.
- Las partes metálicas que compongan a la estructura de soporte deben tener un conductor de puesta a tierra.
- El conductor de puesta a tierra de las partes metálicas para la estructura debe atornillarse a ésta usando una zapata terminal tal como la utilizada en los marcos de los módulos.
- Los conductores de puesta a tierra para el marco de los módulos y de la estructura deben llegar a la caja de desconexión en donde se encuentre la barra o bus de tierra local o general, según sea el caso.

Fuente: Manual para la evaluación técnica-económica de: “Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red apoyados a través del Programa de Fideicomiso de Riesgo Compartido”. GIZ. Cooperación Alemana. 2015.

2. Cableado

El dimensionamiento de la sección de los cables es muy importante para transmitir la energía generada. Es necesario conocer la corriente que circula por ellos, ésta puede calentar los cables y hasta derretirlos si no es la sección adecuada para su circulación. Además, los componentes eléctricos funcionan en un rango de tensión [$U_{\min}; U_{\max}$], entonces, debemos saber cuánta caída de tensión tenemos en los cables.

✓ Dimensionamiento por corriente:

Es de suma importancia calcular correctamente la sección de los cables que transportarán la corriente generada. En la práctica, se considera una densidad de corriente superficial de $J = 4 \text{ A/mm}^2$. Por lo tanto, por un cable de 4 mm^2 de sección, podrán circular $4 \times 4 = 16 \text{ A}$. Esta práctica es solamente para tener una aproximación, lo correcto es utilizar un manual de cables del proveedor.

Por lo tanto, para el correcto dimensionamiento del cable es necesario conocer el valor de la corriente y el tipo de corriente (CC/CA). Luego debe uno dirigirse al manual de cables y comparar el valor de la corriente generada, con la corriente admisible por el conductor, la cual debe ser mayor o igual al valor de la corriente generada.

De la tabla de cables, se obtienen los parámetros del cable seleccionado (R, L o Z específicas [ohm/km]) para el cálculo de caída de tensión y cortocircuito. Sin embargo, la corriente admisible debe ser afectada por distintos factores K_i que dependen de la temperatura, el canal de alojamiento (bandejas, tuberías, etc.) y agrupamiento.

Con toda esta información, se procede a verificar la caída de tensión y cortocircuito. Si alguna de estas condiciones no se verifica, se debe seleccionar un cable de mayor sección hasta que se verifiquen los valores tolerables.

✓ Dimensionamiento por tensión:

Para corriente continua:

En este caso es importante que el ΔU sea lo suficientemente pequeño para permitir el buen funcionamiento del resto de los componentes (principalmente baterías, inversores y reguladores de carga). En corriente continua y en bajos voltajes (12, 24 o 48V) pequeños ΔU pueden ser muy significativos.

$$\Delta U = I \cdot R_{cable} \cdot L [V]$$

Donde:

ΔU : caída de tensión

I : corriente que circula por el cable [A]

R_{cable} : resistencia óhmica del cable [Ω/m]

L : longitud del conductor [m]

Para corriente alterna:

Monofásico:

$$\Delta U = I \cdot L \cdot Z_{cable} \cdot \cos(\varphi) [V]$$

Donde:

ΔU : caída de tensión

I : corriente que circula por el cable [A]

Z_{cable} : impedancia del cable [Ω/m]

$\cos(\varphi)$: factor de potencia

L : longitud del conductor [m]

Trifásico:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{fase} \cdot L \cdot (R_{cable} \cdot \cos(\varphi) + X_{cable} \cdot \sin(\varphi)) [V]$$

✓ **Verificación por cortocircuito:**

Cuando se produce un cortocircuito, la corriente que circula por los conductores hace que aumente la temperatura de éstos, de manera que las protecciones asociadas deberán estar dimensionadas para que puedan despejar la falla en un tiempo tal que evite que se exceda la temperatura máxima admisible de los conductores, según la siguiente fórmula:

$$\sqrt{t} \geq k \cdot \left(\frac{S}{I}\right)$$

Donde:

t = tiempo de desconexión en segundos (válido entre 0,1s y 5s)

S = sección del conductor en mm^2

I = corriente de cortocircuito en amperes.

K = factor que toma en cuenta la resistividad, el coeficiente de temperatura y la capacidad térmica volumétrica del conductor y las temperaturas inicial y final.

✓ **Factores de corrección por temperatura y agrupamiento:**

La siguiente tabla muestra los distintos factores de corrección por temperatura y agrupamiento con los cuales se afectará a la corriente admisible del conductor elegido.

I _{adm} [A] a T° amb = 40°C		
Cobre [mm ²]	F1+N+PE	F1+F2+F3+N+PE
1,5	15	14
2.5	21	18
4	28	25
6	36	32
10	50	44
16	66	59
25	88	77
35	109	96
50	131	117

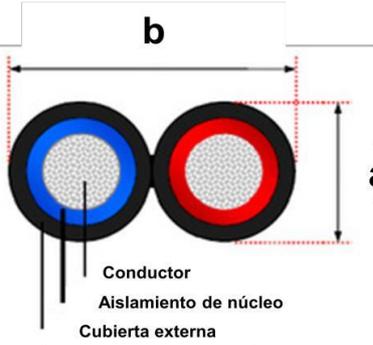
Referencias: F: alimentación, PE: protección, N: neutro

Factor de corrección para T° distinta a 40°C															
T° ambiente	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
PVC	1.4	1.34	1.29	1.22	1.15	1.08	1	0.91	0.82	0.7	0.57				
XLPE/EPR	1.26	1.23	1.19	1.14	1.1	1.05	1	0.96	0.9	0.84	0.78	0.71	0.64	0.55	0.45

Circuitos en un mismo caño	o número de conductores	factor	se aplica a
2 monofásicos	hasta 4	0.8	F1+N+PE
3 monofásicos	hasta 6	0.7	F1+N+PE
2 trifásicos	hasta 6	0.8	F1+F2+F3+N+PE
3 trifásicos	hasta 9	0.7	F1+F2+F3+N+PE

✓ **Tipos de conductores:**

Se utilizan tres tipos de conductores: uno que transmite corriente continua, otro alterna y el del sistema de puesta a tierra. Cada uno con características eléctricas y mecánicas distintas.

Tipo de conductor características	Características	Imágenes
Corriente continua	<p>Debe ser capaz de soportar condiciones de exterior:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corriente del circuito: 1,56 mayor a la corriente de corto circuito de la cadena (string). - Tensión: se debe poner especial atención en que el aislamiento del conductor trabaje a una tensión mayor al máximo valor de tensión de circuito abierto. 	 <p>Conductor Aislamiento de núcleo Cubierta externa</p>
Corriente alterna	<p>Los conductores comúnmente empleados para este tipo de transmisión eléctrica son los cables THW-LS/THHW-LS, desde la salida del inversor al punto de conexión con el sistema eléctrico general.</p> <p>Tiene una capacidad de aislamiento típica de 75°C o 90°C y una tensión máxima de operación de 600 V.</p> <p>Si este tipo de conductor se emplea en exteriores debe canalizarse en ductos que lo protejan de la intemperie.</p>	
Puesta a tierra	<p>Se usan cables THW/THHW LS con aislamiento de color verde-amarillo, también cable desnudo ya que permite tener mayor área de contacto con los ductos y otras partes metálicas. El conductor puede ser de cobre o aluminio.</p> <p>Para seleccionar el calibre del conductor es necesario revisar la capacidad de la protección contra la sobre-corriente más próxima del circuito, el conductor seleccionado debe ser capaz de drenar esa corriente.</p>	 <p>WARNING: ELECTRIC SHOCK HAZARD: THE DC CONDUCTORS OF THIS PHOTOVOLTAIC SYSTEM ARE UNGROUNDING AND MAY BE ENERGIZED.</p> <p>CAUTION: NOT SURFACES - TO REDUCE THE RISK OF BURNING - DO NOT TOUCH. RISK OF ELECTRIC SHOCK - WHEN THE PHOTOVOLTAIC ARRAY IS EXPOSED TO LIGHT, IT SUPPLIES A DC VOLTAGE TO THIS EQUIPMENT. COVER PV MODULE WITH CONDUCTIVE MATERIALS BEFORE CONNECTING OR DISCONNECTING THIS OPTIMIZER. DURING FAULTS, ZERO CURRENT IS SOURCED INTO DC ARRAY BY CONVERTER.</p>

3. Protecciones:

Es imprescindible proteger a los usuarios y a los equipos. Podemos hablar de protecciones físicas y de protecciones eléctricas. Las primeras refieren a la carcasa de los equipos eléctricos que los protegen de agentes ambientales. Es necesario tener en cuenta:

- Protecciones eléctricas: todas las partes metálicas tienen que estar conectadas a tierra.
- Inversor: cuenta con aislación galvánica que separa las etapas de CC y CA y la protección anti-isla, que evita la inyección a la red.
- Interruptor: entre el generador y el inversor.

Toda instalación eléctrica debe ser objeto como mínimo de medidas de protección contra las siguientes fallas eléctricas:

a) De cumplimiento obligatorio:

- Protección contra falla a tierra.
- Protección contra contactos directos.
- Protección contra contactos indirectos.
- Protección contra sobrecorriente (o cortocircuito).

b) Recomendables:

- Protección contra sobretensiones transitorias.
- Protección contra sobretensión permanente.
- Protección contra subtensiones.

Generalmente, para la protección de falla a tierra, contacto directo e indirecto, se utiliza un **interruptor diferencial** que detecta una variación de $\Delta I \geq 30mA$.

En cambio, para las sobrecorrientes o cortocircuitos se utilizan interruptores termomagnéticos automáticos. Cada uno de estos elementos de protección debe estar dimensionado respecto de la instalación, considerando la corriente máxima que circula por la misma en un momento dado. Para ello, debe conocerse el factor de simultaneidad del usuario que depende del grado de electrificación mostrado en el siguiente cuadro.

El grado de electrificación se calcula sumando las potencias de todos los elementos receptores que dispone la vivienda. En el siguiente cuadro se muestra la clasificación del mismo.

Tabla 771.8.I – Resumen de los grados de electrificación de las viviendas

Grado de electrificación	Superficie (límite de aplicación)	Demanda de potencia máxima simultánea calculada (sólo para determinar el grado de electrificación)
Mínimo	hasta 60 m ²	hasta 3,7 kVA
Medio	más de 60 m ² hasta 130 m ²	hasta 7 kVA
Elevado	más de 130 m ² hasta 200 m ²	hasta 11 kVA
Superior	más de 200 m ²	más de 11 kVA

Tabla 771.8.IV – Resumen de los grados de electrificación de oficinas y locales comerciales proyectados originalmente para tal fin

Grado de electrificación	Superficie (límite de aplicación)	Demanda de potencia máxima simultánea calculada (sólo para determinar el grado de electrificación)
Mínimo	hasta 30 m ²	hasta 4,5 kVA
Medio	más de 30 m ² hasta 75 m ²	hasta 7,8 kVA
Elevado	más de 75 m ² hasta 150 m ²	hasta 12,2 kVA
Superior	más de 150 m ²	más de 12,2 kVA

Grado de electrificación	Coefficiente de simultaneidad
mínimo	1
medio	0.9
elevado	0.8
superior	0.7

Para las sobrecorriente y cortocircuitos suelen utilizarse fusibles. Se denomina **fusible** a un dispositivo constituido por un soporte adecuado y un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión, que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda (por efecto Joule) cuando la intensidad de corriente supere (por un cortocircuito o un exceso de carga) un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio y/o destrucción.

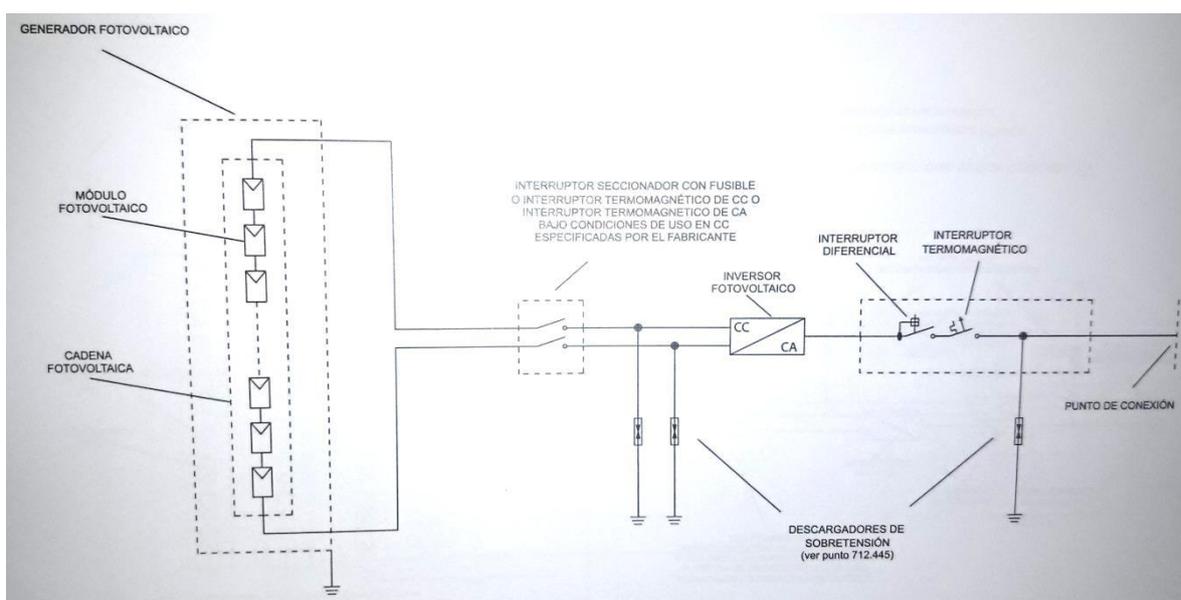


Ilustración 10. Esquemas general de una instalación fotovoltaica.

4. Instalaciones domésticas:

Los sistemas solares fotovoltaicos deben ser instalados por un técnico habilitado. Como elementos de protección personal mínimos, el instalador debe usar guantes y zapatos aislantes.

✓ Seguridad y riesgo eléctrico:

El riesgo eléctrico es aquel que está originado por la energía eléctrica y, en consecuencia, puede producirse en instalaciones eléctricas, partes de las mismas y dispositivos eléctricos bajo tensión. El choque eléctrico es la estimulación física que ocurre cuando la corriente eléctrica circula por el cuerpo. El cuerpo recibe un choque eléctrico porque forma parte del circuito cerrándolo, puede darse de las siguientes maneras:

- A través de dos conductores activos, es decir, con tensión.
- A través de un conductor activo a la tierra.
- A través de una masa puesta bajo tensión (por un defecto de aislación) y la tierra.
- O porque el cuerpo toma contacto con dos masas sometidas a diferente potencial.

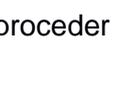
Se pueden definir dos clasificaciones dentro de lo que es el choque eléctrico:

- Contacto directo: se da cuando la persona toca directamente bornes, conductores, electrodos de enchufes, tomacorrientes o elementos que no se encuentren aislados. Las medidas preventivas correspondientes son: alejar los cables y conexiones de los lugares de trabajo y paso, recubrir las partes bajo tensión con material aislante y utilizar tensiones de seguridad inferiores a 24V.
- Contacto indirecto: ocurre cuando la persona toca partes de la instalación o electrodomésticos, los cuales no deberían tener tensión. Esto ocurre cuando los elementos de la instalación no se encuentran correctamente aislados o por desgaste de los mismos a lo largo del tiempo, provocando así, que cuando la persona toca el artefacto, se cierre el circuito a tierra. Las medidas preventivas son: puesta a tierra, interruptor diferencial (sensibilidad de 30 mA y tiempo de corte no mayor a 30 ms).

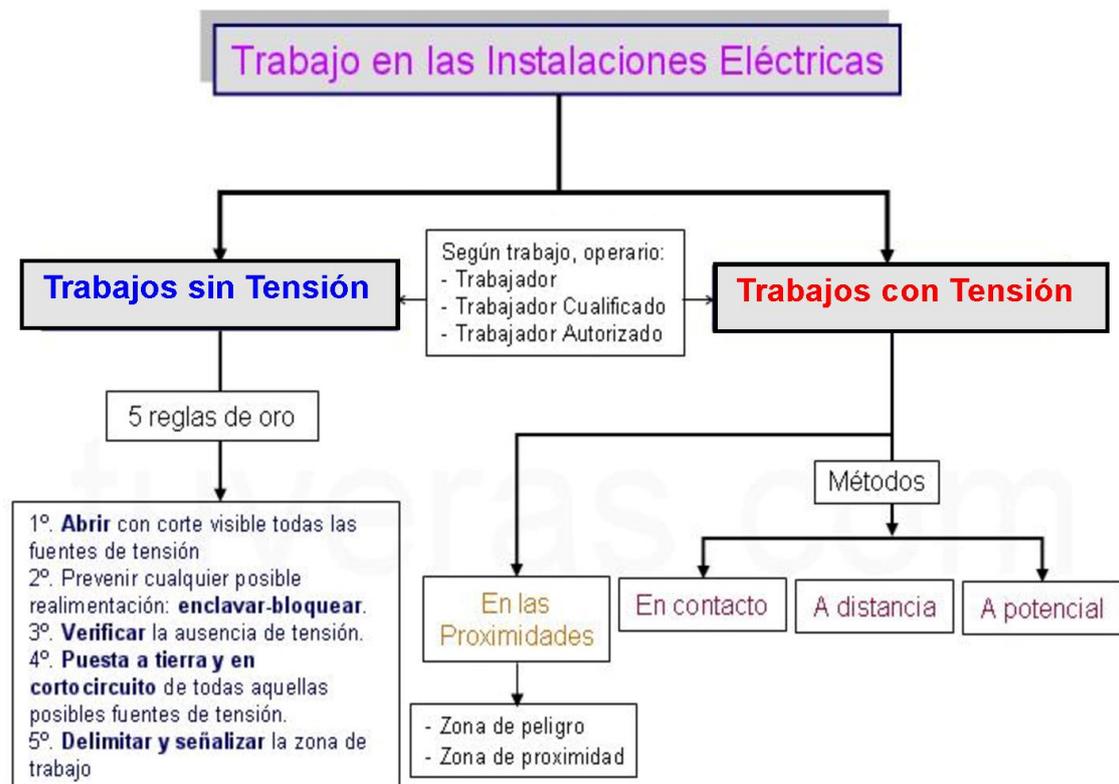
El efecto sobre el cuerpo humano depende de los siguientes factores:

- La magnitud de la corriente.
- Tiempo de circulación en el cuerpo.
- Condiciones físicas de la persona.
- Nivel de aislación en el momento del choque.

Límites de corriente tolerables por el cuerpo

Corriente	Efecto	Motivo	
1 a 3 mA	Percepción	El paso de la corriente produce cosquilleo. No existe peligro	
3 a 10 mA	Electrización	El paso de la corriente produce movimientos reflejos.	
10 mA	Tetanización	El paso de la corriente produce contracciones musculares y agarrotamientos.	
25 mA	Paro Respiratorio	Si la corriente atraviesa el cerebro	
25 a 30 mA	Asfixia	Si la corriente atraviesa el tórax	
60 a 75 mA	Fibrilación Ventricular	Si la corriente atraviesa el corazón	

A continuación, se muestra un diagrama de flujo el cual muestra cómo proceder a trabajos en instalaciones eléctricas si se tiene que manipular con o sin tensión.



Puesta a Tierra (PAT):

Un sistema de PAT consiste en un conductor conectado entre un elemento que podría estar bajo tensión accidentalmente y la tierra. El propósito primordial es garantizar la seguridad de las personas que pudieran estar en contacto con partes bajo tensión. También se debe proteger a los equipos y materiales de las instalaciones, brindando un camino seguro para la disipación o circulación de las corrientes de falla, descargas atmosféricas, descargas estáticas, interferencias electromagnéticas y señales de interferencia de radiofrecuencias.

De esta forma, un sistema de PAT adecuado mejora la confiabilidad del sistema en servicio, aumentando la calidad y disminuyendo la probabilidad de daños o mal funcionamiento.

Los sistemas de PAT en dos categorías:

- Puestas a tierra de protección.
- Puestas a tierra de servicio.

En general, ambos sistemas coexisten dentro de una misma instalación, pero es aconsejable y conveniente que se mantengan independientes uno de otro.

Las tomas de tierra de protección deben poner a tierra a todos aquellos objetos que por alguna anomalía puedan eventualmente entrar en contacto con un conductor energizado.

También se consideran dentro de esta categoría las tomas de tierra de los descargadores, que deben permitir el pasaje de corrientes de valor muy elevado resultantes de descargas por sobretensión (de maniobra o atmosférica), de manera de asegurar un rápido desenganche de las protecciones.

Las tomas de tierra de servicio forman parte de la red y configuran entre los conductores y el suelo circuitos que pueden ser permanentes o no, en forma rígida o a través de impedancias que tienen por función influenciar el comportamiento del sistema en caso de una falla a tierra en algún equipo o sobre la línea.

Las corrientes resultantes de descargas a tierra, ya sea por cortocircuitos o por descargas de sobretensiones, producirán una elevación del potencial de la instalación involucrada respecto del punto remoto, que se toma como referencia, y gradientes de potencial dentro y fuera de ella.

Entonces, a menos que se tomen las precauciones adecuadas en el cálculo y el diseño de la PAT, los máximos gradientes alcanzables sobre la superficie del terreno pueden ser tan grandes bajo condiciones extremas, que pueden tornarse en valores realmente peligrosos para las personas que pudieran encontrarse en el lugar. Por otra parte, también pueden existir diferencias de potencial peligrosas, durante la falla, entre estructuras o partes de los equipos que estén puestos a tierra en el terreno adyacente.

La solución del problema de las PAT no es simple, debido a que en general es difícil conocer

con anticipación los valores exactos de las distintas resistencias involucradas y por ende, de los gradientes de tensión resultantes de la circulación de corrientes elevadas, en los que inciden diversos factores, entre ellos la incertidumbre respecto a la resistividad del terreno, que es variable con las condiciones climáticas y con las estaciones.

La figura siguiente muestra el esquema de la instalación de PAT.

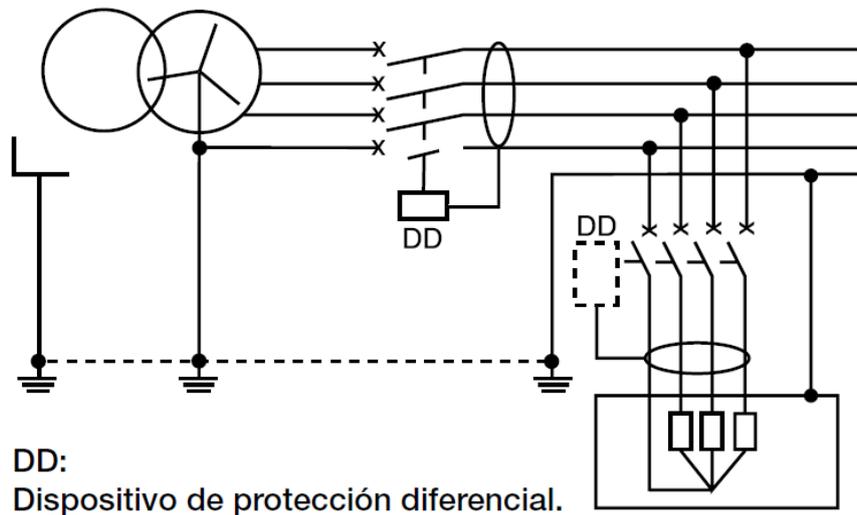


Ilustración 11. Esquema de puesta a tierra.

Las masas de la instalación deben estar interconectadas y puestas a tierra en un solo punto. El dispositivo diferencial instalado en el comienzo de la instalación (puede existir otro dispositivo diferencial en otro punto de la misma), provocará la apertura del circuito en el caso de un contacto directo. Ante una falla de aislamiento en un equipo cualquiera, se corre el riesgo de efectuar un contacto indirecto; en este caso actuará el dispositivo diferencial al tener el apoyo de sistema de puesta a tierra en la masa de la instalación.

Para que esto sea efectivo se deberá ejecutar tratando de obtener la menor resistencia a tierra posible (como máximo 40Ω) para instalaciones domésticas. Se podrán conectar diferenciales para prevenir riesgo de contacto indirecto o incendio de hasta 300 ms.

La forma más simple de acceder a esos valores se logra enterrando un electrodo o jabalina, en terreno natural.