



SALIÓ EL SOL...

Un marco introductorio para entender los fundamentos de
electricidad y sistemas fotovoltaicos para redes comunitarias

SALIÓ EL SOL...

Un marco introductorio para entender los fundamentos de electricidad y sistemas fotovoltaicos para redes comunitarias.

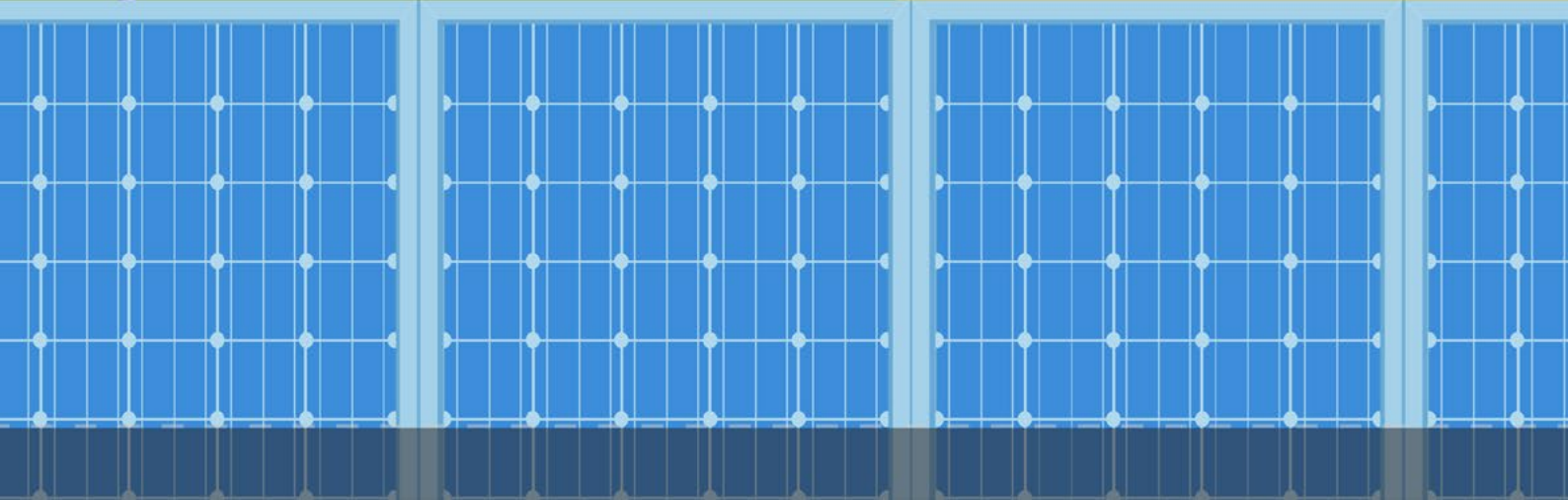
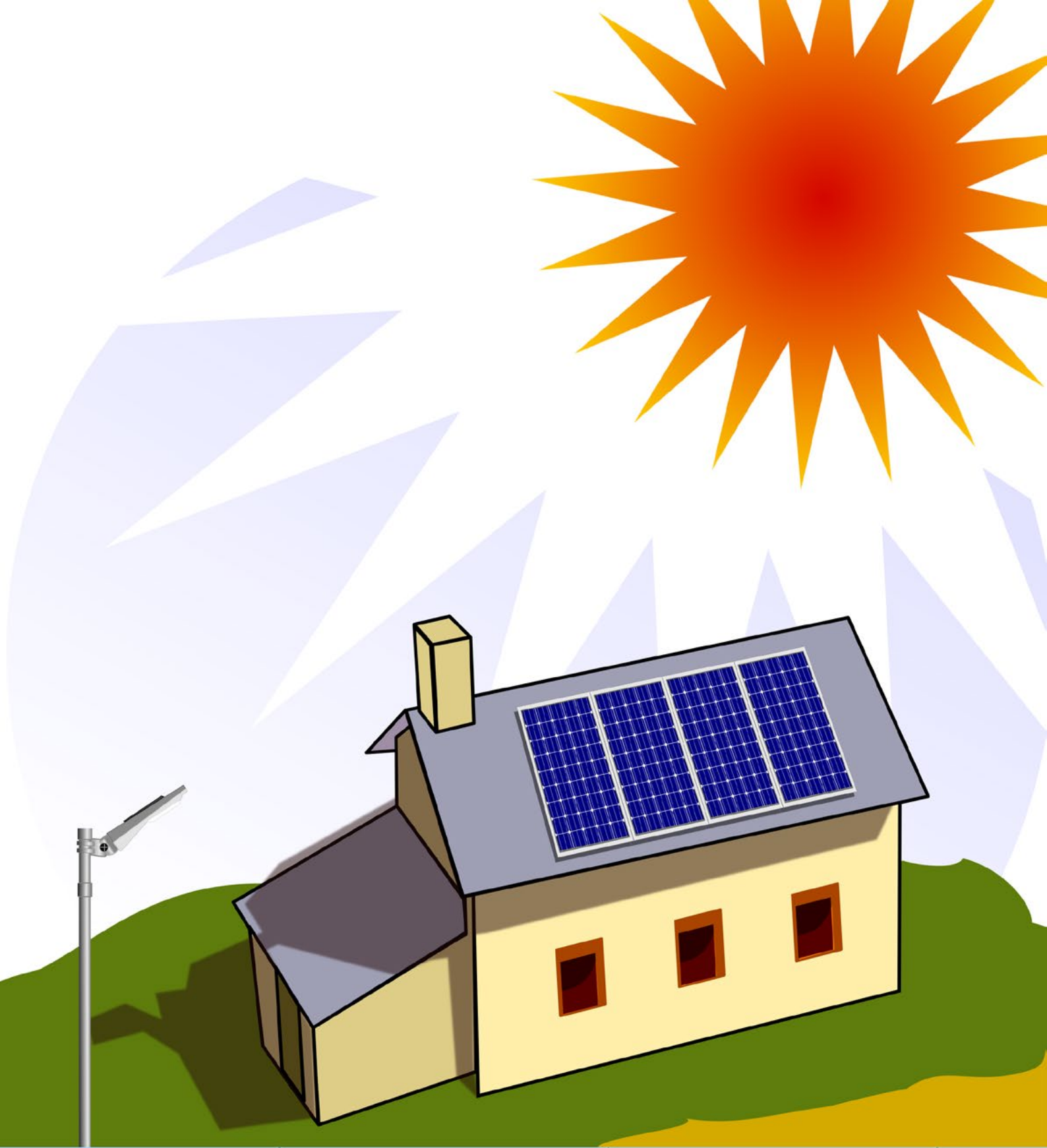


Autores: José Manuel Ramos Rodríguez, Hiure Queiroz
Equipo de redacción: Michael Jensen (APC), Nils Brock (Rhizomatica), Elektra Wagenrad (Freifunk), Hiure Queiroz (Coolab)
Ilustraciones: Khushalsingh Kanheysingh Rajput (Korelgraphics)
Editorial: APC y Rhizomatica
Diseño editorial: Mónica Parra
Licencia: Licencia CC Attribution-ShareAlike 4.0 International
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
Agradecimientos: Carlos Baca

Enero 2023

Este manual es parte del proyecto “Conectar lo no conectado: apoyo a las redes comunitarias y otras iniciativas de conectividad con base en la comunidad” implementado por APC en sociedad con Rhizomatica que busca apoyar en forma directa el desarrollo de redes comunitarias, con fondos de la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Sida, por su sigla en inglés).





ÍNDICE

PRESENTACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE PRÁCTICA DE LOCNET	6
LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, UNA TECNOLOGÍA FUNDACIONAL	7
NOTAS DE LOS/AS COLABORADORES/AS	9
1. Introducción a la electricidad y los sistemas fotovoltaicos	10
1.1. Fundamentos de electricidad	11
Electricidad	13
Voltaje	17
La corriente eléctrica	20
Resistencia	21
Potencia eléctrica	23
1.2. Paneles fotovoltaicos	25
2. Buenas prácticas con los sistemas fotovoltaicos	27
2.1. Paneles solares	29
Posicionamiento	29
Orientación	30
Inclinación	31
Evitar las sombras	33
Montaje del panel y temperatura	34
Polvo acumulado en el panel	35
2.2. Cableado	36
2.3. Controladores de carga	37
2.4. Baterías	38
Profundidad de descarga (DoD)	38
Carga adecuada	39
Descarga adecuada	39
Temperatura	39
Mantenimiento	39
Tipos de baterías	40
2.5. Dispositivos de protección contra sobrecorriente (OCPD)	41
2.6. Tipos de carga y convertidores	42
3. Guía práctica para el dimensionamiento de una instalación	43

PRESENTACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE PRÁCTICA DE LOCNET

Este manual es el resultado de uno de los proyectos de las Comunidades de práctica (CoP) que contó con el apoyo de la iniciativa de Redes Locales (LocNet). LocNet es un esfuerzo colectivo dirigido por Rhizomatica y APC (Asociación para el Progreso de las Comunicaciones) que trabaja con socios de África, Asia, América Latina y el Caribe. Su objetivo es apoyar el desarrollo de enfoques ascendentes para la construcción de infraestructuras de comunicaciones conocidas como redes comunitarias (RC)¹ APC y Rhizomatica pretenden contribuir a un ecosistema que permita el surgimiento y crecimiento de dichas redes. Para alcanzar sus objetivos, LocNet adopta diversas estrategias relacionadas con el intercambio entre pares y el fortalecimiento institucional, la formación y la tutoría, la política y la promoción, la innovación tecnológica y la sostenibilidad, y el género y la participación de las mujeres.

A lo largo de los últimos años, LocNet ha proporcionado asesoramiento, recursos financieros y foros para apoyar a numerosas RC y otros socios. El objetivo de las CoP es aumentar la colaboración entre las Redes Comunitarias de todo el mundo a través de espacios de colaboración en línea creados en relación a diferentes temas de interés para los y las profesionales de las RC.

El enfoque de las CoP agrupa actividades destinadas a mejorar el apoyo a los temas clave de interés para la comunidad de las RC, reuniendo los diferentes hilos del trabajo en tecnología e innovación de años anteriores. En este sentido, una CoP es un grupo de personas que comparten una preocupación común, un conjunto de problemas o un interés por un tema y se reúnen para cumplir objetivos tanto individuales como grupales. Las CoP suelen centrarse en el intercambio de mejores prácticas y en la creación de nuevos conocimientos para generar avances en un ámbito determinado y uno de los componentes cruciales es la interacción permanente.

1. Estas iniciativas se entienden mejor como un esfuerzo colectivo de las comunidades locales para conectarse de forma significativa y construir redes digitales relevantes. Su trayectoria ha sido acompañada y apoyada desde 2017 por la iniciativa LocNet.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, UNA TECNOLOGÍA FUNDACIONAL

La electricidad es tan importante para las telecomunicaciones como el sol para una tomatera. Cualquiera que trabaje y diseñe una infraestructura de comunicaciones tiene que garantizar un suministro de energía fiable. Con demasiada frecuencia, las supuestas “soluciones” de conectividad dan por sentado el suministro general de energía en cualquier parte de nuestro planeta. Pero el 13% de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica en absoluto y un porcentaje mucho mayor experimenta un servicio inestable o deficiente, especialmente en las zonas rurales. Además, el consumo de energía varía sustancial y cualitativamente, mientras que la electricidad asequible está muy correlacionada con los ingresos. En otras palabras: mientras las flores, los seres humanos y todas las cosas de la tierra comparten un suministro gratuito y abundante de luz solar, la energía eléctrica no está disponible para todos. Así que utilizar la luz solar para generar energía eléctrica es muy importante para lograr un suministro más democrático y una infraestructura más inclusiva.

Los sistemas fotovoltaicos ya forman parte de esa infraestructura inclusiva construida y utilizada por un número creciente de redes comunitarias (RC). En 2019, el equipo de Tecnología, Innovación y Sostenibilidad de LocNet (WP4) mapeó las “tecnologías fundacionales” (herramientas y conjuntos de habilidades esenciales para las redes comunitarias creadas y mantenidas colectivamente), con representantes del ecosistema de CN. En ese mapa se le dio prioridad a los sistemas fotovoltaicos (clasificados como “infraestructura pasiva”).

Algunas redes comunitarias de África, Asia y América Latina ya habían tenido éxito en la creación de suministros energéticos autónomos para sus telecomunicaciones locales y otras infraestructuras. La energía solar, especialmente los sistemas fotovoltaicos, fueron claves en los planteamientos de BOSCO (Uganda), Abradig (Brasil) y la red comunitaria Pathardi, así como la red de Servalots (ambas en India). Con el formato de las ya mencionadas “Comunidades de práctica” (CoP), LocNet inició un experimento práctico para poner en primer plano las colaboraciones entre RC y otros profesionales relevantes. Y tras consultar al ecosistema de RC sobre posibles temas de CoP, resultó evidente que la energía solar es claramente algo prioritario para muchos/as profesionales de los RC.

El grupo de 17 participantes en la CoP de infraestructuras pasivas comenzó a explorar las prioridades y las posibles metodologías para los intercambios

de aprendizaje.² Ya en la primera sesión se puso de manifiesto la necesidad de comprender mejor la energía eléctrica y sus conceptos clave. En cuanto a la energía fotovoltaica, los y las profesionales de la CN querían establecer un marco general de componentes y orientación para planificar el despliegue local de estos sistemas. Se reconoció que se trataba de un tema enorme y difícil de abordar de forma global desde cero. Por ello, se acordó celebrar una serie de intercambios en línea con profesionales experimentados/as de la energía fotovoltaica, especialmente Elektra Wagenrad y Hiure Queiroz. A estos encuentros les siguieron dos sesiones online inclusivas en las que se expusieron los fundamentos de la electricidad y las prácticas fotovoltaicas. Y aunque esas sesiones se pusieron en línea (en inglés), los y las participantes también recomendaron encapsular las lecciones en un documento escrito y traducirlo a varios idiomas.

El trabajo resultante fue dirigido por José Manuel Ramos Rodríguez, profesor de comunicación y cambio social con amplia experiencia en la redacción de manuales y textos instructivos para comunidades locales en América Latina. Su trabajo de edición se acompaña de más de 30 ilustraciones de Khushalsingh Kanheysingh Rajput, que ya ha colaborado en la traducción visual de conocimientos y experiencias con y para el ecosistema de los RC. Elektra Wagenrad y Michael Jensen han tenido la amabilidad de añadir un final muy práctico al material introductorio, por lo que abarca un amplio abanico de conocimientos y habilidades diferentes y será útil tanto para principiantes como para personas que busquen ideas prácticas.

Este primer enfoque para un marco introductorio sobre los fundamentos de la electricidad y los sistemas fotovoltaicos tendrá sus lagunas y carencias. De hecho, debería terminar con la frase “continuará”, porque se espera que se convierta en un recurso gestionado colectivamente, mantenido, ampliado y traducido por una comunidad de práctica diversa y activa dentro del ecosistema de la CN - una especie de jardinería tecnológica intercultural. Esperamos que forme parte de una serie de enfoques que produzcan resultados y beneficios tangibles para las CN, así como un medio para seguir trabajando en la metodología emergente de las CoP de LocNet.

Esperamos que disfruten de las siguientes páginas, que nos lo hagan saber, que compartan sus comentarios e ideas y se unan a la CoP de Energía Solar de LocNet para nuevos compromisos y co-creaciones:

<https://t.me/+qO4cZ3ZJPSsyYzhi>

2. Nos llevó algún tiempo definir colectivamente y sin jerarquías la interacción, teniendo como prioridades la inclusión de género, raza/etnia, diversas capacidades y diferentes niveles de conocimiento, validando el conocimiento empírico y promoviendo un ambiente libre de prejuicios. Nuestro objetivo fue y es utilizar este enfoque para incentivar y compartir dinámicas de diseño y producción de tecnología centradas en la comunidad y que tengan en cuenta el carácter localizado de las prácticas tecnológicas desde el principio. Este proyecto específico abordará la apropiación, innovación e implementación de tecnologías que son clave para una organización participativa y sostenible de las redes comunitarias.

NOTAS DE LOS COLABORADORES

José Manuel Ramos Rodríguez es investigador y activista en formación y acompañamiento de procesos de educación y comunicación comunitaria e indígena.

Hiure Queiroz ha estado trabajando diariamente en una red comunitaria rural (<https://portalsemporteiras.github.io>). A través de esta experiencia ha contribuido a varios proyectos de código abierto para ayudar a desarrollar nuevas herramientas y dispositivos para redes comunitarias. En un intento de crear movimiento en torno de este tema ha producido documentación, guías y tutoriales con coolab (<https://coolab.org>).

Elektra Wagenrad ha estado desarrollando tecnología de malla inalámbrica para redes comunitarias y sistemas alimentados por energía solar y ha participado en el desarrollo de <http://villagetelco.org> y <http://freifunk.net>. Ha desarrollado tres tipos de Freifunk-OpenMPPTs, controladores solares de software/hardware abierto con seguimiento del punto de máxima potencia. Es autora de “Mesh” y una de las autoras de “Wireless Networking in the Developing World”.

Khushalsingh Kanheyasingh Rajput trabaja como autónomo bajo el nombre de Korelgraphics. Lleva más de 20 años trabajando en el campo de los gráficos creativos, la animación, la ilustración, la publicación y el desarrollo web. Khushalsingh trabaja actualmente en el IIT de Bombay, donde promueve el uso de software de código abierto.



1.

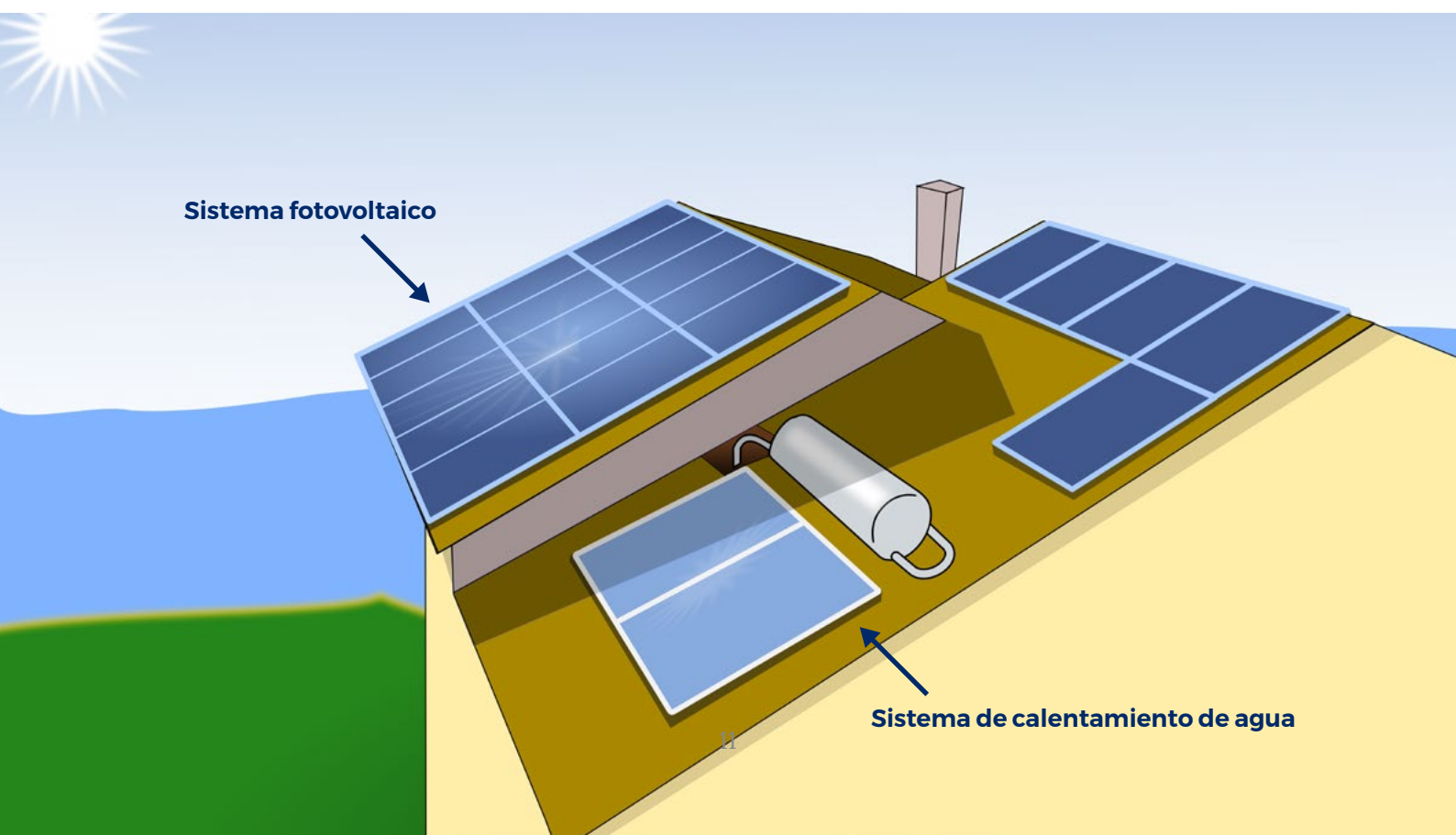
**INTRODUCCIÓN A LA
ELECTRICIDAD Y LOS
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

1. INTRODUCCIÓN A LA ELECTRICIDAD Y LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ELECTRICIDAD

En esta primera sección presentaremos algunos conceptos básicos sobre la electricidad que son necesarios para comprender mejor el funcionamiento de los paneles solares a partir de los cuales podemos generarla. Es posible que quienes lean estas líneas conozcan ya algunos de estos conceptos, pero es importante lograr una visión de conjunto que pueda compartirse con aquellas personas del grupo o colectivo interesado en iniciar o mantener un proceso de aprovechamiento de esta tecnología

En primer lugar, debemos distinguir los sistemas que aprovechan la luz del sol para producir electricidad, de aquellos que se emplean para calentar el agua. Los primeros, los que proporcionan energía eléctrica, son denominados **fotovoltaicos**. Aunque existen semejanzas entre ambos, su funcionamiento es distinto. En la siguiente ilustración se muestran ambos tipos de sistemas de aprovechamiento de la energía solar.



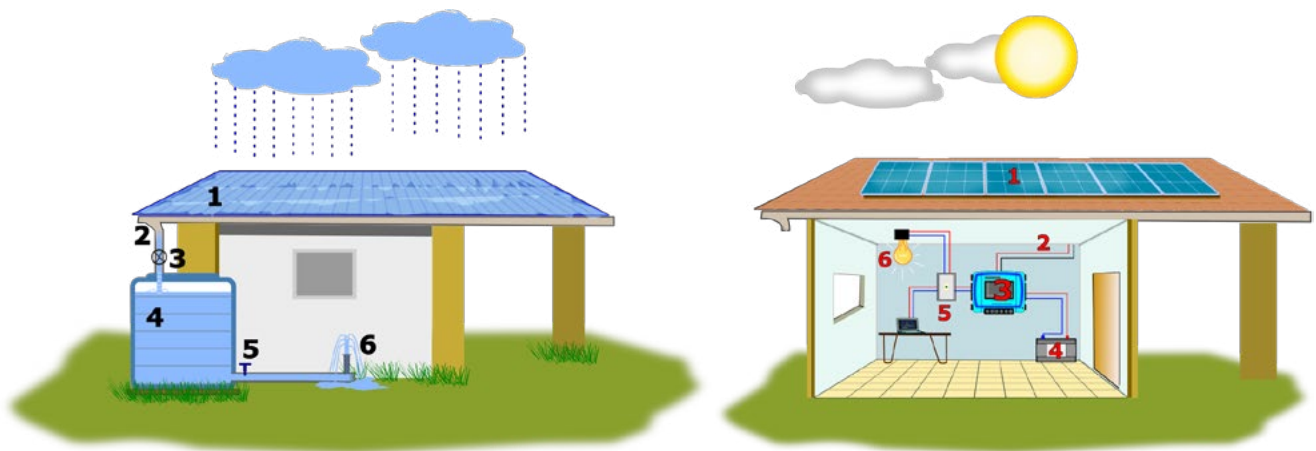
Los sistemas fotovoltaicos son aquellos capaces de convertir la luz solar en electricidad. El término *fotovoltaico* deriva de dos palabras: foto (o luz) y voltaico. Esta última palabra proviene del nombre del científico italiano Volta, que en el siglo XVIII fue pionero en los estudios sobre electricidad. Por eso, la palabra voltaje se asocia a los fenómenos eléctricos.

El término *fotovoltaico*, describe la característica básica de estos sistemas: la generación de electricidad a partir de la luz del sol.

Antes de adentrarnos en los conceptos relacionados con la electricidad y sus propiedades básicas, conviene que tengamos una visión general de los sistemas fotovoltaicos y sus componentes principales.

Recurrimos a una analogía fácil de comprender: los sistemas de recolección de agua de lluvia. Así como éstos captan el agua de las lluvias para su consumo en el hogar o en los cultivos, los sistemas fotovoltaicos “recolectan” la luz solar para convertirla en energía eléctrica. Esta analogía no debe tomarse al pie de la letra, pues se trata lógicamente de cuestiones distintas. Sin embargo, las “partes” o componentes de ambos sistemas son similares y la analogía es útil para comprender el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

Veamos la siguiente ilustración:



Sistema de recolección de agua

Sistema fotovoltaico

En la figura anterior observamos seis componentes en ambos sistemas. A continuación, se describe la función general que desempeñan:

	Sistema de recolección de agua	Sistema Fotovoltaico
1	El techo recolecta el agua de la lluvia	Los paneles fotovoltaicos reciben la luz del sol
2	La tubería conduce el agua recolectada	Los cables conducen la energía producida por los paneles
3	Una válvula regula la cantidad de agua que almacenaremos en un:	Un controlador de carga regula la energía que almacenaremos en una:
4	Tanque	Batería
5	Una válvula regula la salida de agua del tanque	Una resistencia variable que controla el flujo de electricidad
6	Un aspersor nos permite regar nuestro huerto con el agua recolectada	Tenemos carga eléctrica para encender la luz

Debemos insistir en que se trata solamente de una analogía que nos permite comprender sencillamente las partes esenciales de un sistema fotovoltaico y la función que desempeñan.

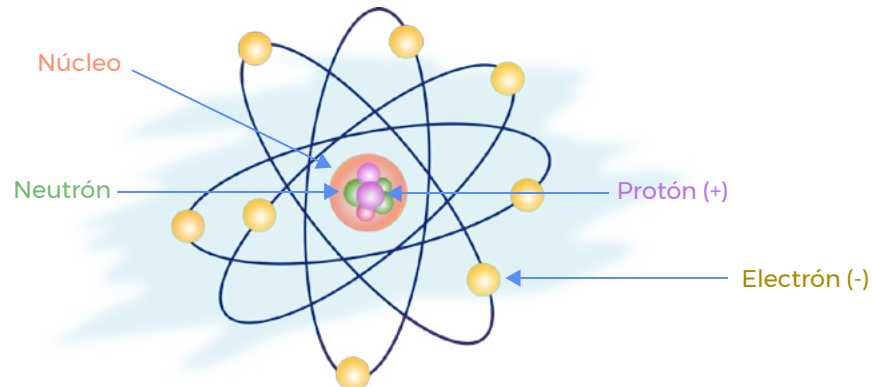
Continuando con esta analogía, es claro que lo que circula por el sistema de recolección de agua es, precisamente, agua. Pero cuando se trata del sistema fotovoltaico ¿qué es lo que circula por el sistema? ... Si respondemos que lo que circula es “electricidad”, estaremos en lo cierto.

Pero ¿qué es la electricidad? Seguramente podemos decir para qué nos sirve la electricidad, que gracias a ella funcionan las bombillas de luz y los aparatos en el hogar, o que ciertamente es peligrosa si cometemos un error y recibimos una descarga. O pensamos en los rayos y relámpagos de una tormenta como forma de electricidad. Pero ¿qué es la electricidad? ¿De dónde viene o por qué existe?

LA ELECTRICIDAD

La electricidad no es propiamente algo inventado por los seres humanos. Es algo que se encuentra en todo lo que existe y la ciencia no ha hecho otra cosa que estudiarla y aprovechar sus propiedades. Empezaremos por decir que toda la materia que nos rodea, sólidos, líquidos, gases, está compuesta por pequeñísimas moléculas que, a su vez, son combinaciones de átomos. Los átomos son partículas extraordinariamente pequeñas, formados por protones y neutrones (que se encuentran en el núcleo del átomo), y electrones, alrededor del núcleo.

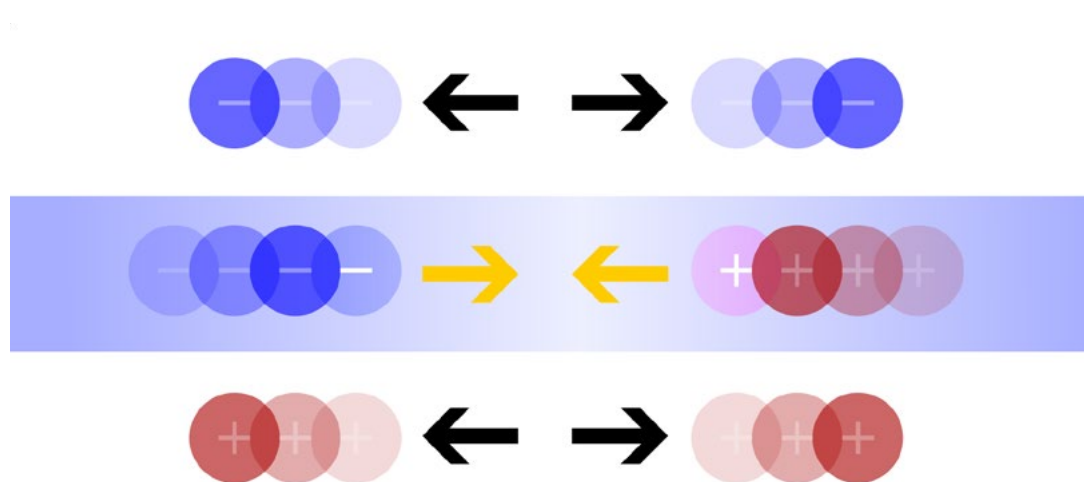
La representación gráfica que se ha utilizado para el átomo es la siguiente:



- En el núcleo del átomo se encuentran:
 - ▶ los protones, que tienen una carga positiva (+);
 - ▶ los neutrones, que no poseen carga.
- Los electrones se mueven alrededor del núcleo y tienen una carga negativa (-)

Los científicos aseguran que ésta es solamente una representación para entender al átomo. En realidad, el núcleo es muchísimo más pequeño y los electrones no siguen necesariamente un desplazamiento orbital. Pero esta representación es suficiente para describir la composición del átomo.

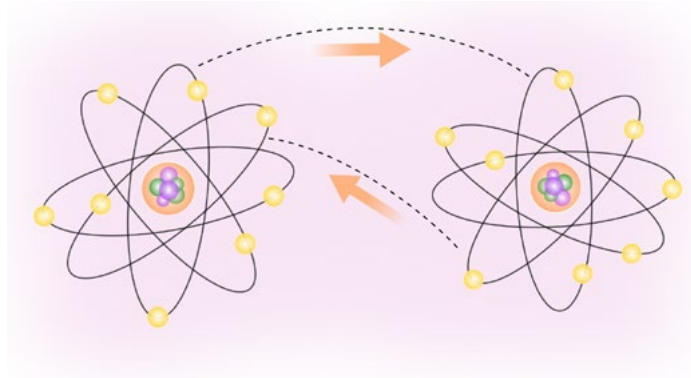
Ahora bien, los electrones son negativos y se ven atraídos por los protones con cargas positivas. Siempre habrá atracción desde una fuente en la que haya exceso de electrones hacia una fuente que tenga deficiencia de electrones, que tiene una carga positiva.



Las cargas opuestas se atraen, mientras que las cargas iguales se repelen.

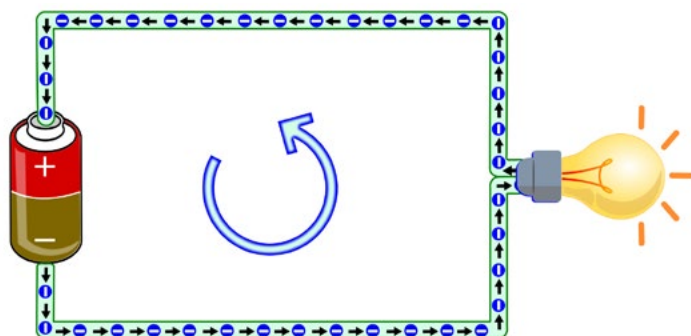
Los electrones giran alrededor del núcleo debido al equilibrio de dos fuerzas: la fuerza propia del electrón que lo mantiene siempre en movimiento y la fuerza de atracción que ejerce el núcleo sobre el electrón. Los electrones que se encuentran en los puntos más lejanos del núcleo pueden salirse del átomo- si se les aplica alguna fuerza externa como fricción, una reacción química, calor, presión, un campo magnético o luz. A este tipo de electrones se les conoce como electrones libres. El movimiento de electrones libres de un átomo a otro origina lo que se conoce como corriente de electrones. Cuando los electrones fluyen por un cuerpo desde un extremo hacia el otro, se genera la corriente eléctrica. Ésta es la base de la electricidad.

Flujo de electrones libres



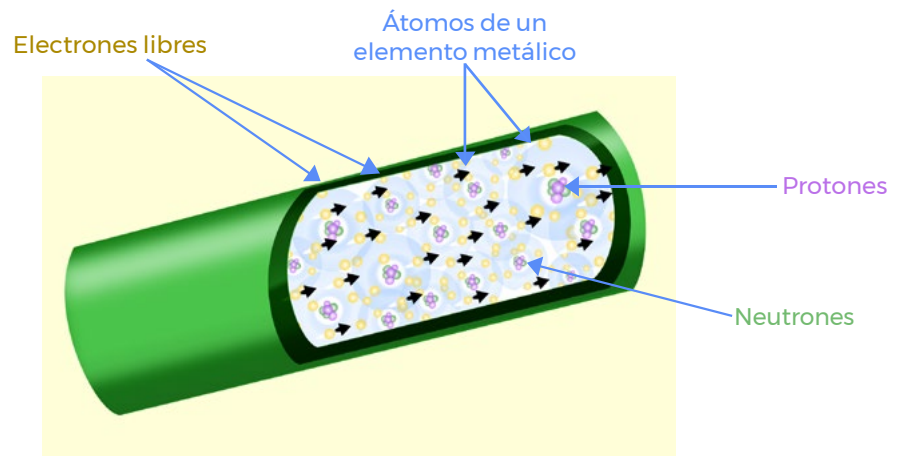
Vamos ahora a un ejemplo muy simple:

Circuito eléctrico

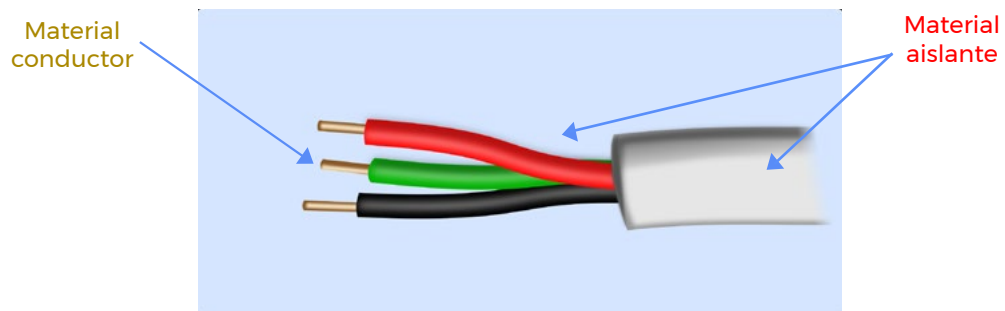


Tenemos un circuito eléctrico muy sencillo, formado por un batería, un cable y una bombilla de luz. Como vemos en la ilustración, hay un flujo de electrones que son atraídos por la carga positiva en la pila. Al pasar por la bombilla, un filamento muy delgado entra en incandescencia y se produce la luz.

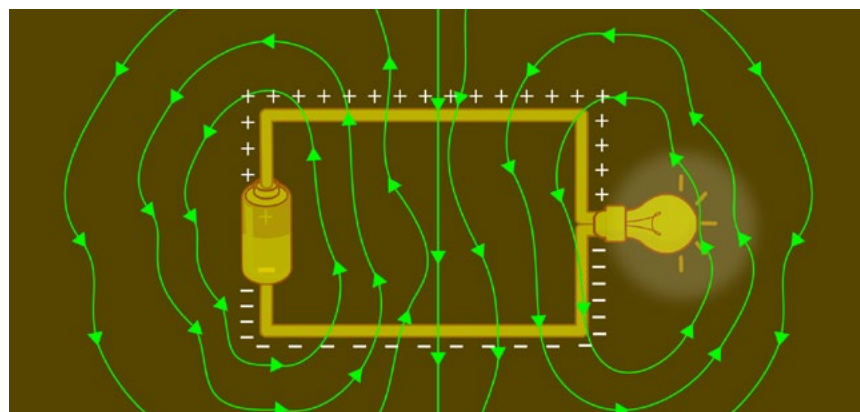
Como hemos explicado, por el cable fluyen los electrones libres. Así podríamos imaginar el interior de ese cable, si lográramos aumentar la imagen miles y miles de veces.



Existen materiales que permiten que el flujo de los electrones sea más fácil. Estos elementos son llamados conductores. El cobre, por ejemplo, es un material capaz de favorecer ese flujo. Los cables eléctricos que conocemos están hechos con un material conductor rodeado por un material aislante que no favorece el flujo.

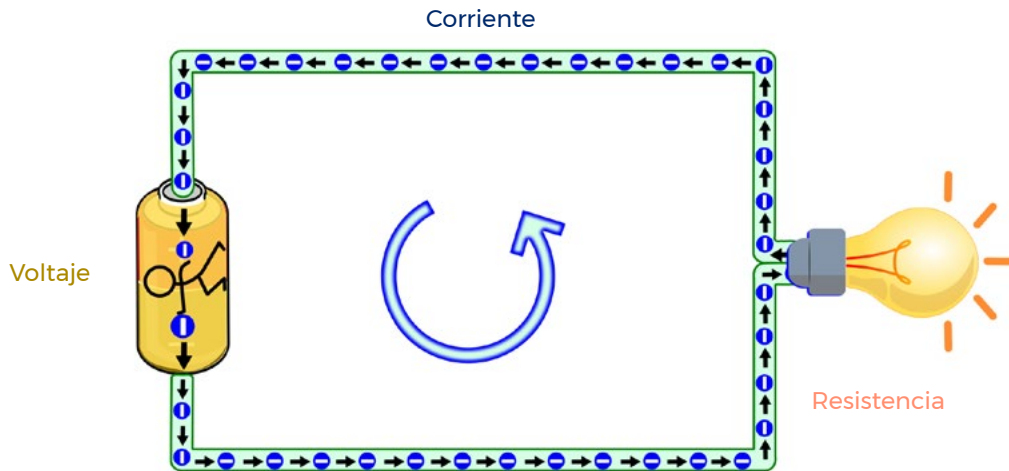


El fenómeno que ocurre es en realidad bastante más complejo que electrones fluyendo por un cable. Se genera, más bien, lo que se conoce como un "campo eléctrico" que podría representarse de la siguiente manera:



El estudio de este campo eléctrico resulta muy complejo y ciertamente requiere conocimientos profundos de física y matemática. Por ahora, tengamos en cuenta que existe este campo y en él interviene, además, la fuerza del magnetismo, por lo que también se llama **campo electromagnético**.

Veamos ahora el mismo circuito simple, distinguiendo tres elementos: el voltaje, la corriente y la resistencia:

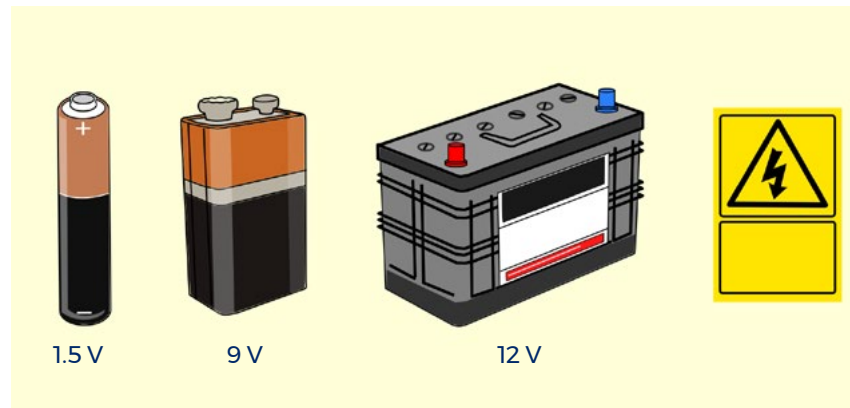


Como vemos en esta ilustración, el voltaje sería la fuerza que “empuja” y “jala” los electrones. La corriente es la cantidad de electrones que efectivamente fluyen en el circuito y el filamento que se enciende ofrece cierta resistencia a ese flujo.

Veamos con un poco más de detalle cada uno de estos conceptos. Debemos decir que se trata también de aspectos bastante complejos, cuya comprensión profunda escapa a los alcances de esta lección. Sin embargo, presentamos a continuación algunas ideas generales, aunque fundamentales acerca de los mismos.

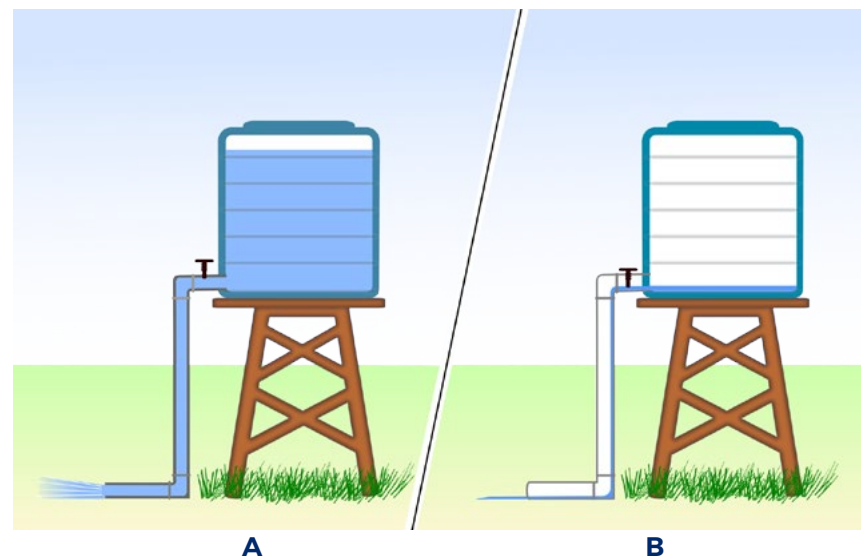
VOLTAJE

Como hemos dicho, el voltaje es la fuerza o presión con la que los electrones se movilizan en un campo eléctrico. Seguramente estamos familiarizados con el término “voltaje” y sabemos, por ejemplo, que es una característica importante de las baterías de uso doméstico. Conocemos también la expresión “alto voltaje”, que nos avisa que hay peligro de sufrir alguna descarga fuerte.



Pero ¿qué es el voltaje?

Emplearemos nuevamente la analogía con un sistema de almacenamiento de agua. Si tenemos un tanque de almacenamiento, por ejemplo, al contar con diferentes cantidades de agua podríamos observar lo siguiente:



Veríamos que en el caso del tanque A, el agua que corre por el tanque sale con más presión que en el caso del tanque B, que está casi por vaciarse.

Algo semejante ocurre cuando existe mayor o menor fuerza que moviliza el flujo de electrones. Esta movilización, recordemos, proviene de la fuerza de atracción entre cargas opuestas y de la fuerza con que las cargas de igual signo se repelen.

El voltaje, que también es conocido como tensión o diferencia de potencial, es la presión que una fuente de suministro de energía eléctrica ejerce sobre los electrones en un circuito eléctrico cerrado. La unidad de medida que se emplea para el voltaje es, precisamente, el Volt (V) y en su definición intervienen dos conceptos que conviene conocer, aunque sea de un modo superficial.

El movimiento que se produce implica un *gasto de energía o trabajo* y el movimiento de una *cantidad* dada de partículas. Los científicos han establecido una forma de medir ambas cosas, que se encuentran relacionadas.

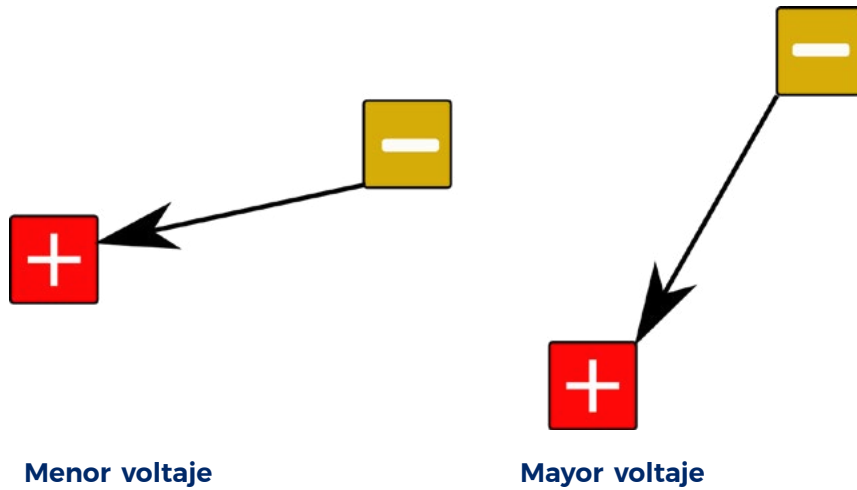
Así, la medida conocida como *joule*, es definida como la cantidad de trabajo necesario para mover una carga de un *coulomb* o *colombio* (que mide la cantidad de carga que puede transportar un circuito en un periodo de tiempo). Un coulomb equivale a la carga de una cantidad enorme de electrones (6.4×10^{18}).

Para simplificar estas complejas mediciones, existe la unidad conocida como **volt** (V). Un volt equivale a la diferencia de potencial que se registra entre dos puntos de un determinado conductor cuando, para llevar de un punto al otro una carga de un coulomb, es necesario llevar a cabo el trabajo de un joule.

Otra forma de definir al volt es como la diferencia de potencial existente entre dos puntos tales que hay que realizar un trabajo de 1 joule para trasladar del uno al otro la carga de 1 coulomb.

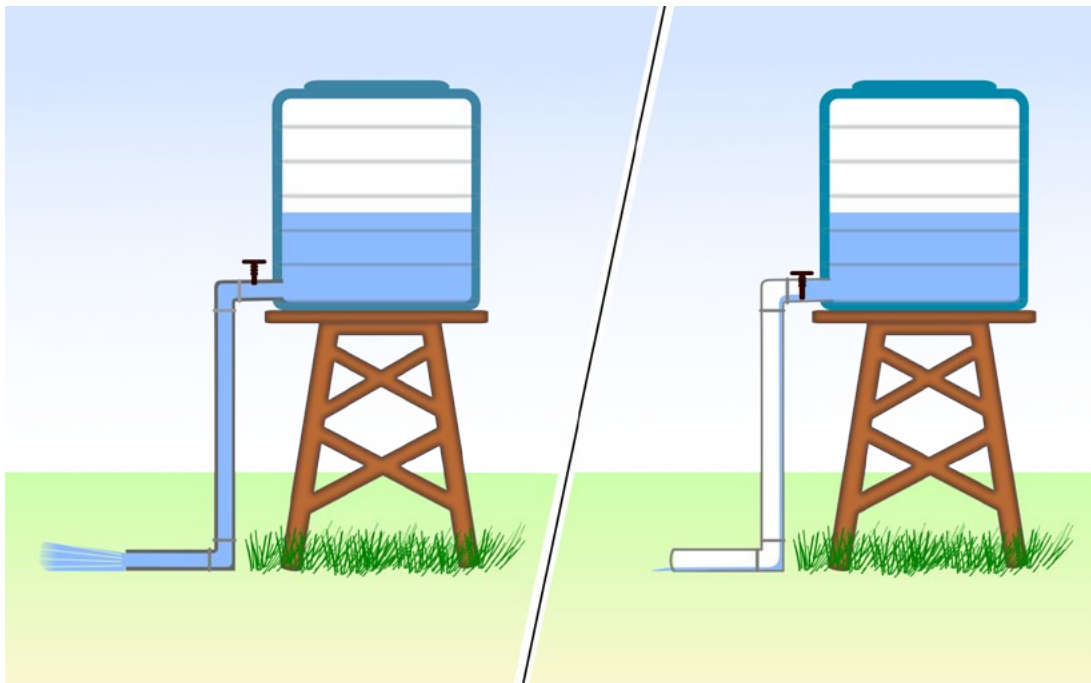
En este momento, basta con que tengamos claro que:

El voltaje mide la fuerza o presión con la que los electrones se conducen en un campo eléctrico y esta fuerza proviene de la diferencia de potencial entre dos fuentes. Mientras mayor sea la diferencia, mayor será el voltaje.



CORRIENTE ELÉCTRICA

La cantidad de electrones que fluye por el campo en un tiempo determinado es lo que denominamos *corriente eléctrica*. Si volvemos a nuestra analogía con un tanque de almacenamiento de agua, podemos imaginar que existe una válvula que deja pasar más o menos agua, es decir, la cantidad de agua que pasa puede ser mayor o menor.

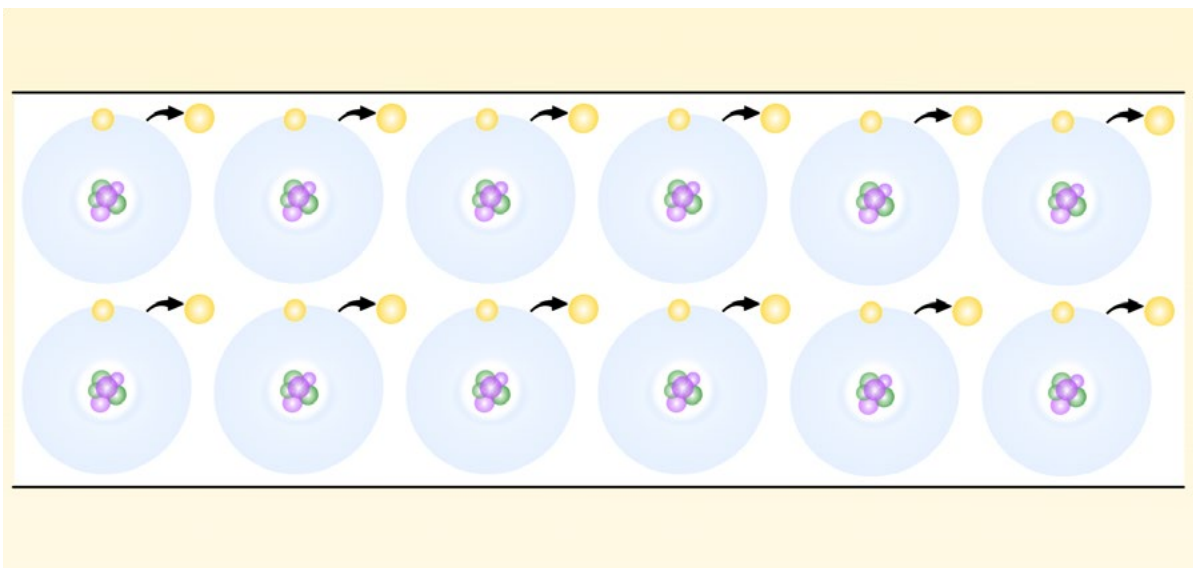


Lo mismo ocurre en un circuito eléctrico, la corriente puede ser mayor o menor según el número de electrones que esté fluyendo.

La unidad de medida de esta corriente es el ampere (Amp), que se define así:

1 ampere = 6.24×10^{18} electrones fluyendo por segundo en un punto determinado.

Podríamos imaginar lo que está ocurriendo en el cable a partir de la siguiente ilustración:



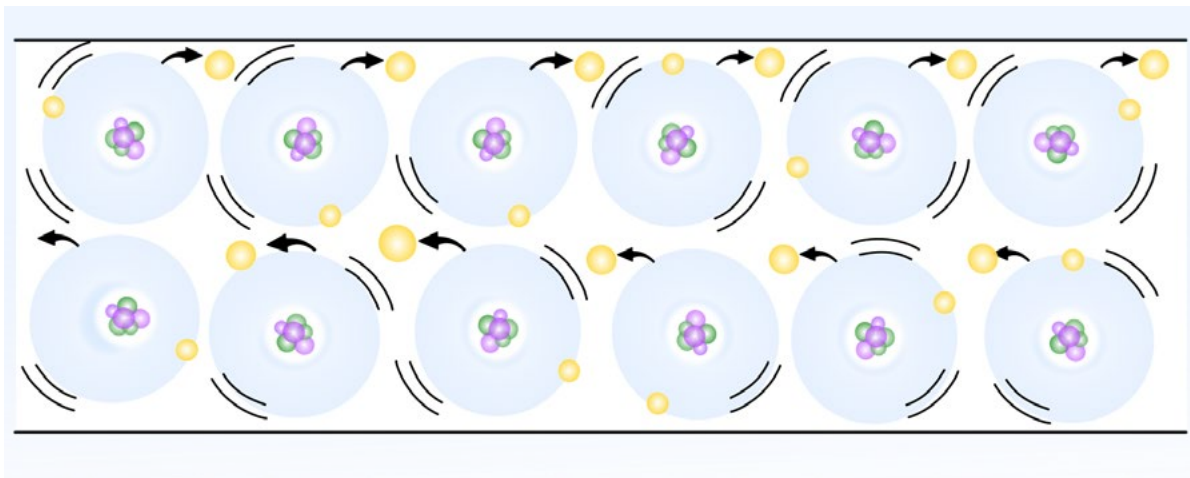
Si pensamos en los círculos como los átomos y los pequeños puntos azules como electrones, vemos que uno de estos electrones se libera y afecta al átomo que se encuentra junto a él. Éste, a su vez, libera electrones hacia el átomo vecino, y así sucesivamente.

RESISTENCIA

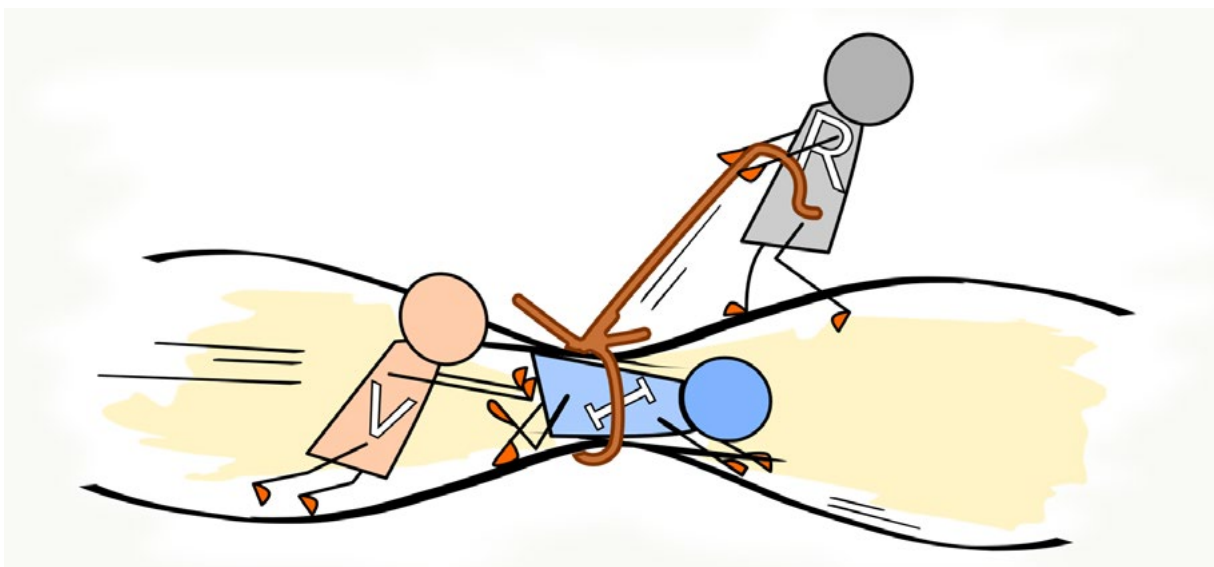
El tercer elemento que vemos en nuestro diagrama del sencillo circuito eléctrico es la resistencia, que en este caso es un filamento que se enciende para que se produzca luz. La resistencia es la fuerza que en mayor o menor medida se opone o dificulta el paso de los electrones. Si regresamos a nuestro tanque de almacenamiento de agua, la válvula que deja pasar más o menos agua sería la resistencia que está limitando el paso de la corriente.

La resistencia se define como la capacidad de un material para alentar o frenar el flujo de la corriente eléctrica. Se mide en ohms y el símbolo que se utiliza para representarlo es la letra griega omega: Ω .

Regresando a nuestra ilustración anterior, veríamos algunos átomos que dificultan el paso de los electrones y el flujo interrumpido. De esta manera se presenta la resistencia.



El siguiente dibujo ilustra de manera muy sencilla los conceptos de voltaje, amperaje y resistencia:



En síntesis:

Propiedad de la electricidad	Medida por:	Simplificada por:	Tarea en un circuito:
Voltaje	Joule / Coulomb	Volt (V)	Presión que genera el flujo de electrones
Corriente	Coulomb / seg	Ampere (A)	Cantidad de electrones fluyendo
Resistencia		Ohm (Ω)	Inhibe el flujo de electrones

PODER ELÉCTRICO

El poder o potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, con la cual la energía eléctrica se transfiere por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. Su medición es importante para estimar la cantidad de energía que puede proporcionar un sistema fotovoltaico, así como la energía que consumen distintos aparatos.

La unidad de medida de esta potencia es el **watt**, que equivale a un joule por segundo. Podemos calcular el poder de un circuito empleando las medidas de voltaje y corriente que ya conocemos:

$$\text{Poder (en watts)} = \text{Voltaje (en volts)} \times \text{Corriente (en amperes)}$$



Pongamos un ejemplo:

Supongamos que un teléfono celular se está cargando conectado a una batería de 12.5 V. El amperaje es de 0.5 A.

¿Cuánto poder se consume?

Según nuestra fórmula, multiplicamos el voltaje (12V) por el amperaje (0.5A), y tenemos como resultado: 6 W.

Decimos que el poder que requiere ese teléfono celular es de 6 W.

CONSUMO DE PODER

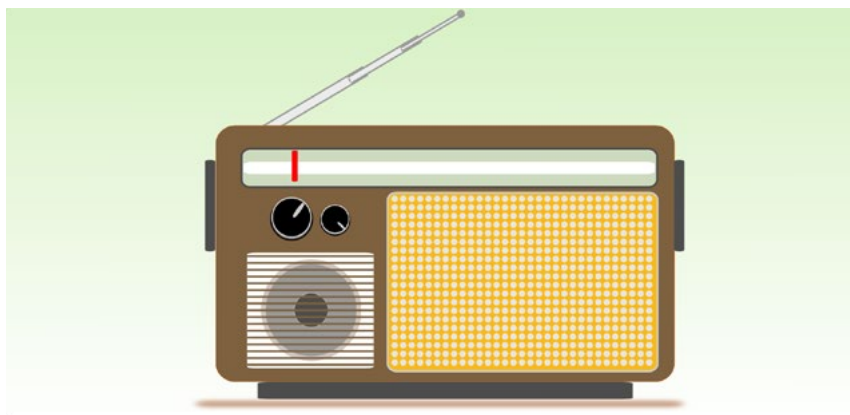
¿Cuánto poder o energía se consume efectivamente? Como es lógico responder, la energía que consumimos depende del tiempo que transcurra durante el flujo de la corriente.

Es decir, sabemos el poder que requiere un aparato dado (6 W en el ejemplo anterior), pero necesitamos saber cuál es el consumo de energía de ese aparato. Esto dependerá del tiempo que el aparato permanezca conectado. El consumo de energía se calcula como gasto de watts por hora.

La unidad de medide del consumo de energía es *watts por hora (Wh)*. Algunas veces, para manejar de manera sencilla cantidades largas, se emplea el término *kilowatt por hora (Kwh)*, es decir, mil watts por hora.

Regresando a nuestro ejemplo, si el teléfono celular se carga durante 3 horas, tendríamos que el consumo sería el resultado de multiplicar el poder (6W) por las 3 horas que estuvo conectado. Decimos que, en esa ocasión, tuvimos un consumo de 18 Wh.

Veamos otro ejemplo:



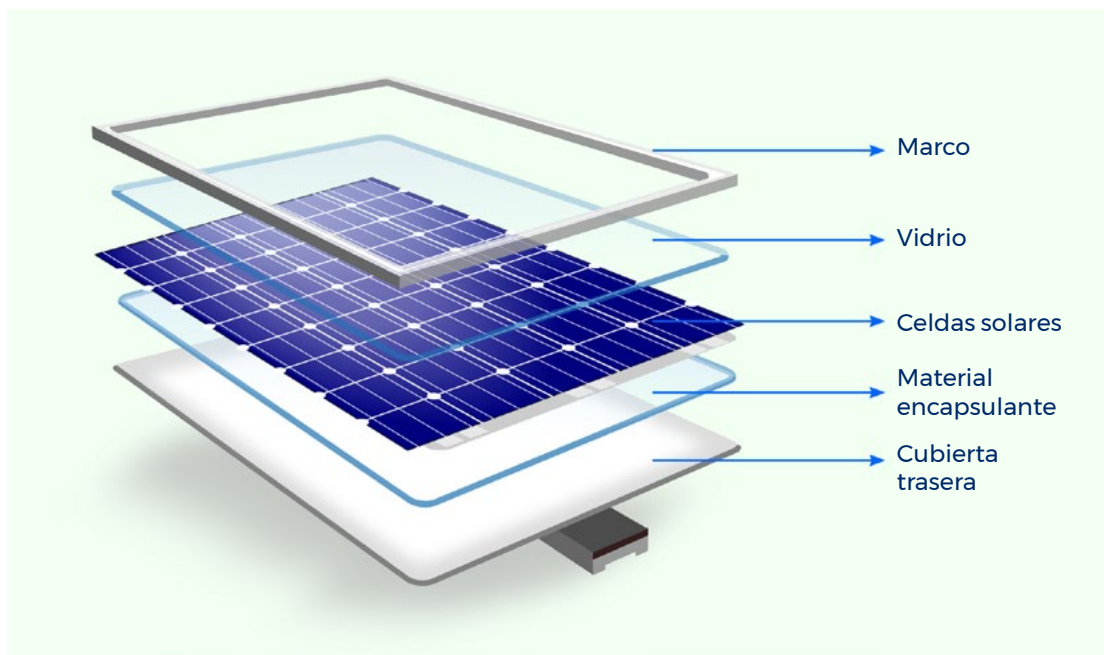
Un radio está encendido durante 3 horas. Casi siempre podemos encontrar en la parte trasera de los aparatos, una etiqueta que dice su poder (P). En este caso, dice que el radio consume un poder de 7W.

Multiplicamos el poder por el número de horas y tenemos que ese aparato de radio, en 3 horas, consume 21 Wh (7W x 3hrs).

1.2. LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Ahora que tenemos una noción más clara de la electricidad y la corriente eléctrica, veremos cómo es que los paneles fotovoltaicos producen electricidad a partir de la luz del sol.

Los paneles fotovoltaicos son, en realidad, un conjunto de celdas solares cuyo funcionamiento veremos más adelante. La siguiente ilustración muestra cómo están contruidos estos paneles.



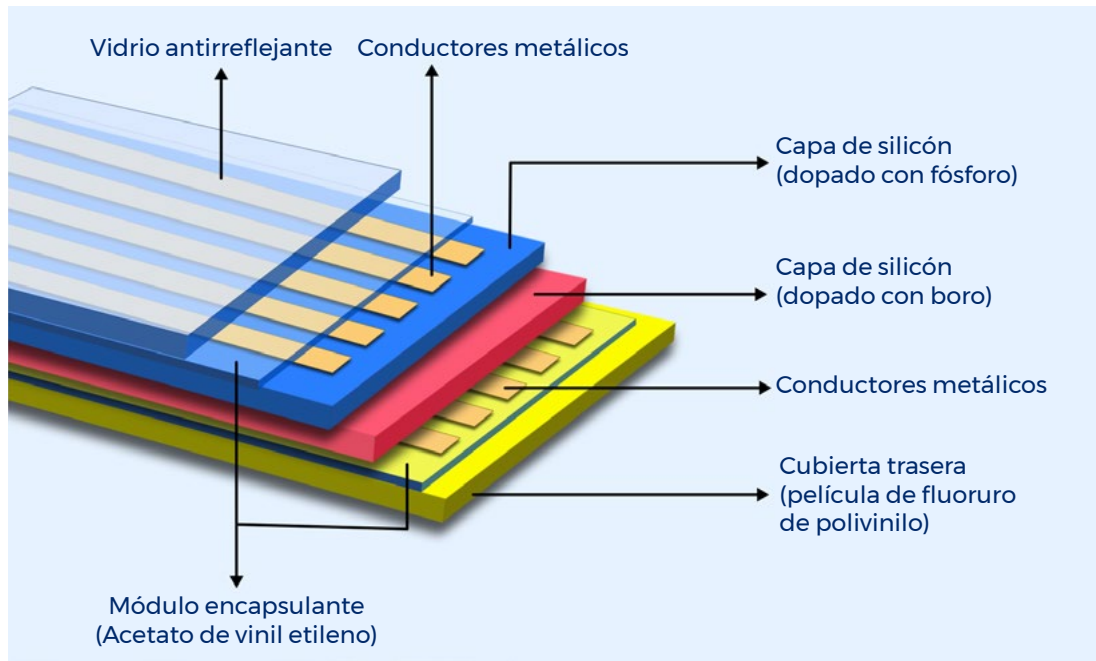
Como vemos en la ilustración, las celdas solares que forman el panel están recubiertas por una capa de vidrio, lo que las protege de la lluvia y del polvo. Pero, como hemos dicho, la luz del sol captada se transforma en energía eléctrica en las celdas solares. ¿Cómo es posible semejante cosa?

Las celdas solares están hechas de un elemento químico que tiene la propiedad de liberar electrones cuando recibe los *fotones*, o partículas contenidas en la luz del sol. Este elemento es el silicio, base del material que conocemos como silicón. Ahora bien, las celdas están formadas por dos capas o secciones de silicón, cada una de las cuáles se ha modificado de manera distinta en su estructura atómica con la adición de fósforo (“dopado”, es el término utilizado por los científicos), en un caso, y de boro, en el otro.

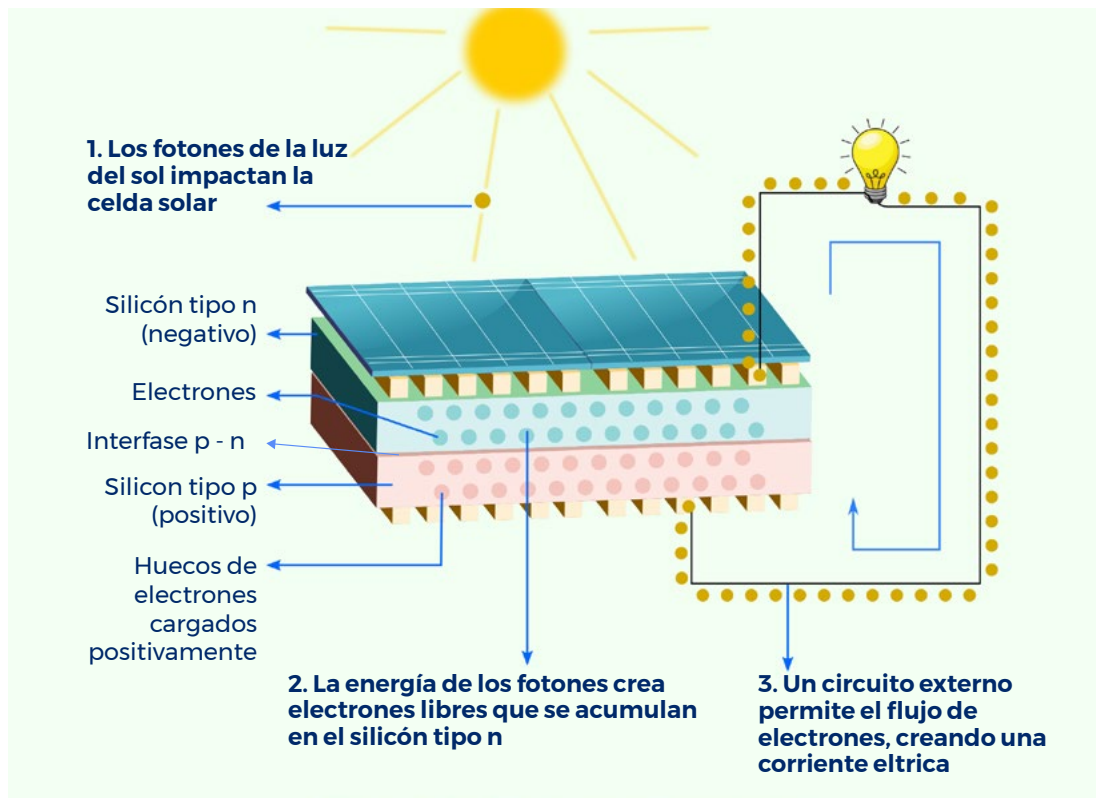
La capa en la cual chocan los fotones (capa n) tiene electrones libres de más y debajo de esa capa se encuentra la capa p, que tiene carga

positiva y en la cual hay exceso de huecos, o espacios vacíos dejados por algunos electrones. Al combinar ambas capas se genera un campo eléctrico que no permite a los electrones moverse más que de una sola manera, generando así una corriente eléctrica.

Veamos cómo están construidas las celdas solares:



En esta otra ilustración podemos apreciar el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos:





2.

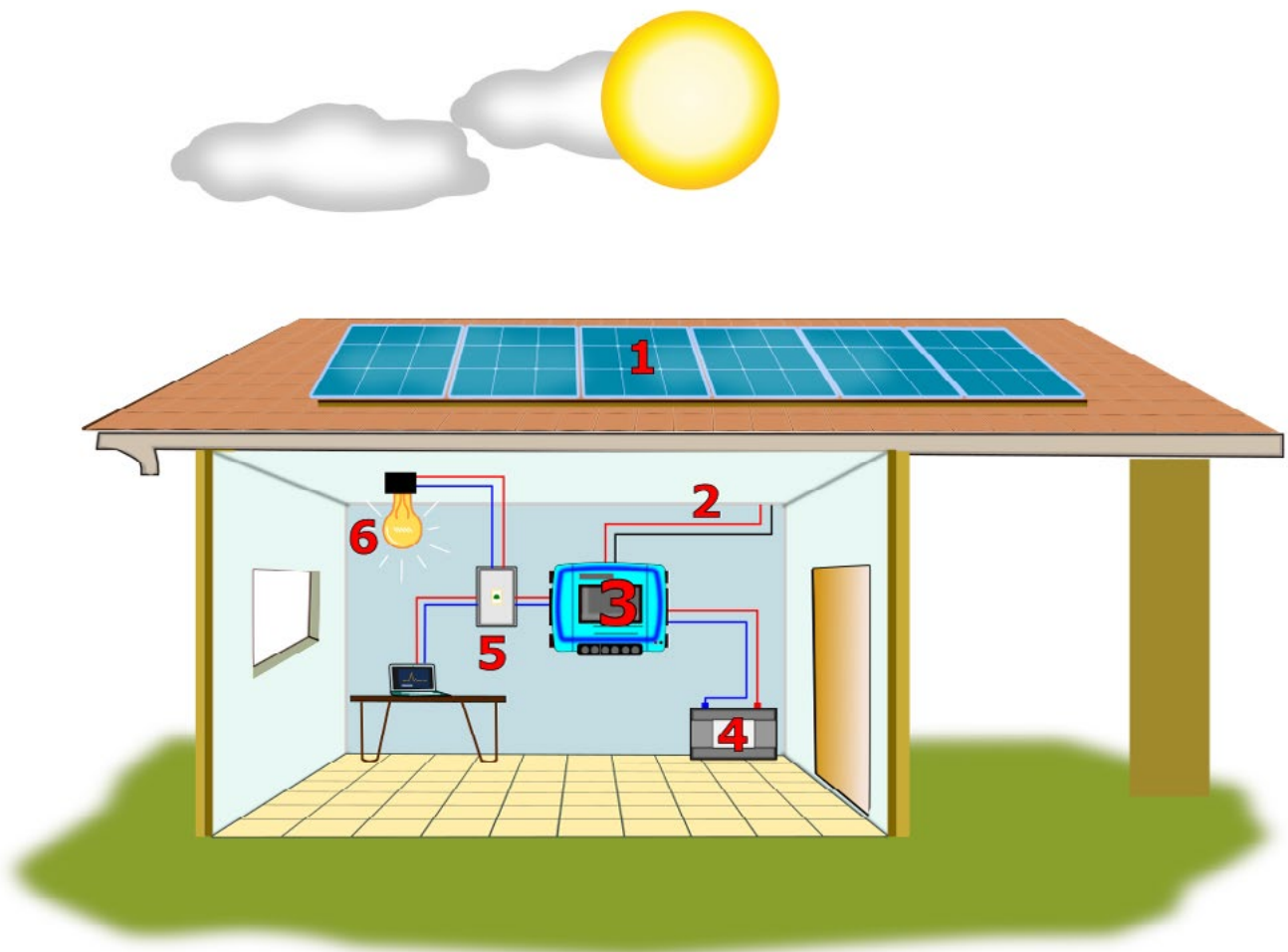
**BUENAS PRÁCTICAS CON
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

2.

BUENAS PRÁCTICAS CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En esta sección presentaremos algunas ideas y conceptos importantes acerca de los distintos componentes de un sistema fotovoltaico. Estas ideas serán muy útiles para planificar y dimensionar nuestro sistema en términos de su capacidad de generar la energía que satisfaga nuestras necesidades de consumo. Estos aspectos son también importantes para orientar nuestras decisiones acerca del equipo que más nos conviene emplear y su mantenimiento para lograr la máxima eficiencia.

Volvamos a la ilustración que muestra los principales componentes de un sistema fotovoltaico.



Procuraremos ofrecer algunas respuestas a las siguientes preguntas para cada uno de los componentes del sistema.

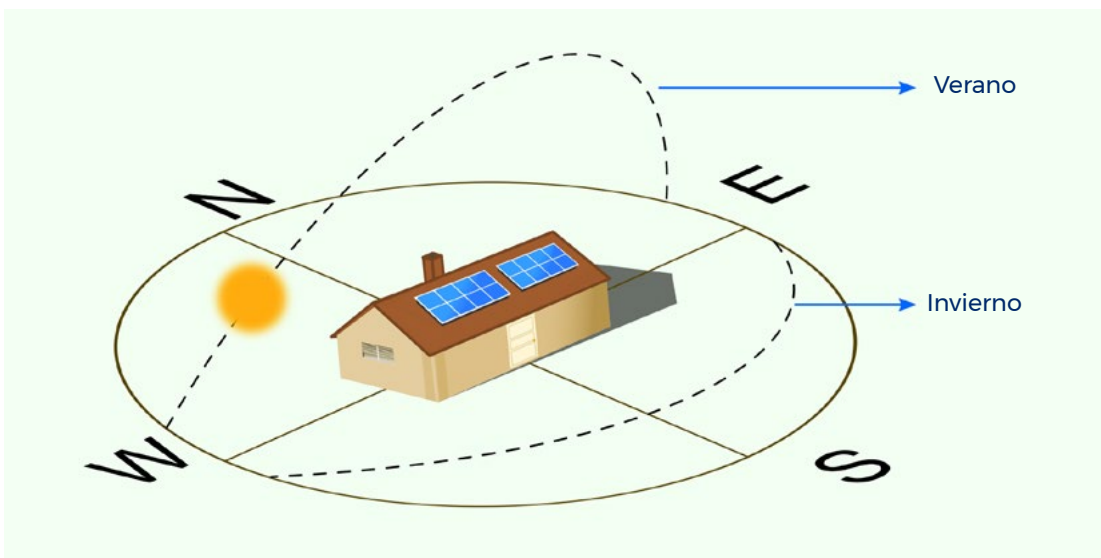
- 1. Paneles solares:** ¿Cómo podemos aprovechar mejor la luz que proviene del sol? ¿qué precauciones debemos tomar para el cuidado de los paneles?
- 2. Cables:** ¿Cómo elegir el grosor de los cables para tener la menor pérdida de energía?
- 3. Controlador de carga:** ¿Qué tipo de controlador es el que más conviene?
- 4. Baterías:** ¿Qué tipos de baterías existen? ¿Cuál es más conveniente?
- 5. Carga eléctrica:** Conversores DC-DC y AC-DC, Inversores DC-AC. ¿Qué es más conveniente?

Las respuestas a estas preguntas pueden contribuir a que nuestro sistema sea lo más eficiente posible, y a que las pérdidas de energía relacionadas con cada uno de estos componentes sean mínimas.

2.1 PANELES SOLARES

POSICIONAMIENTO

La colocación de nuestros paneles solares es el primer aspecto por considerar, pues de ello dependerá la cantidad de luz del sol que reciba. Como sabemos, debido a la inclinación de la tierra y su rotación en torno al sol, a lo largo del año éste va cambiando su trayectoria en el horizonte.



De esta manera, la cantidad de luz que puede llegar al panel varía no solamente a lo largo del día, sino también a lo largo del año. Y esta trayectoria del sol es variable, según sea nuestra ubicación en la tierra.

Dos factores básicos intervienen en el posicionamiento de nuestros paneles:

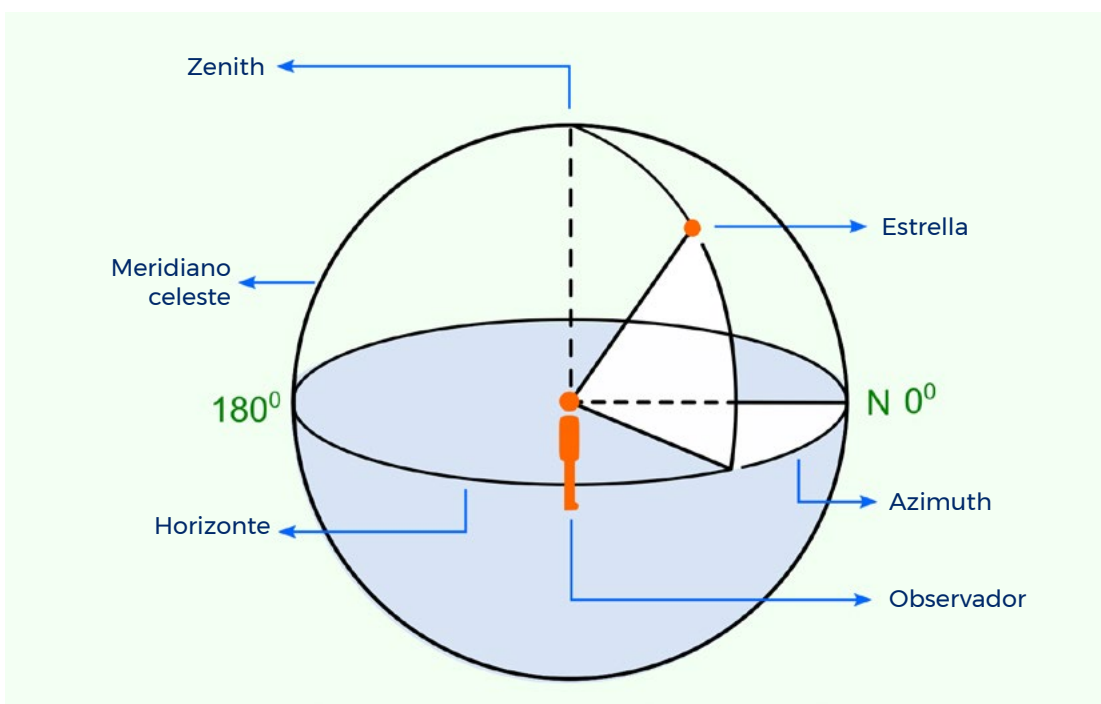
la orientación y la inclinación

ORIENTACIÓN

Por lo que toca a la orientación o dirección, ésta depende de si nos encontramos en el hemisferio norte o en el hemisferio sur del planeta.

Para maximizar la producción de energía, si nos encontramos en el hemisferio norte, los paneles deben estar instalados con orientación hacia el sur, es decir, con el ángulo llamado Azimuth en 180° . Por el contrario, si nos encontramos en el hemisferio sur, la orientación ideal es al norte, con 0° de Azimuth.

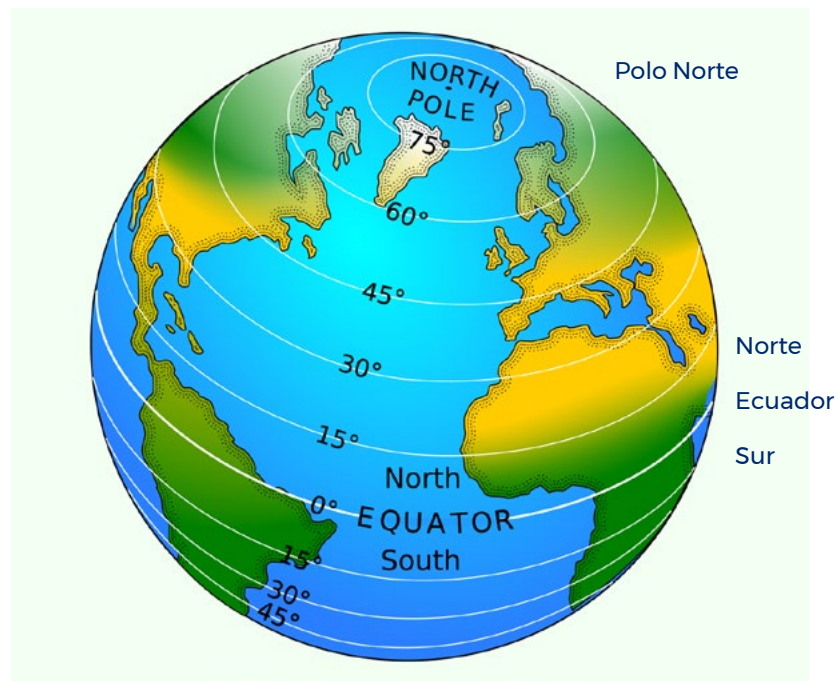
Como vemos en la siguiente ilustración, el Azimuth es el ángulo que forma el Norte geográfico y un cuerpo celeste, medido en el sentido de rotación de las agujas de un reloj alrededor del horizonte del/a observador/a.



Hemisferio norte: Orientación al Sur
Hemisferio sur: Orientación al Norte

INCLINACIÓN

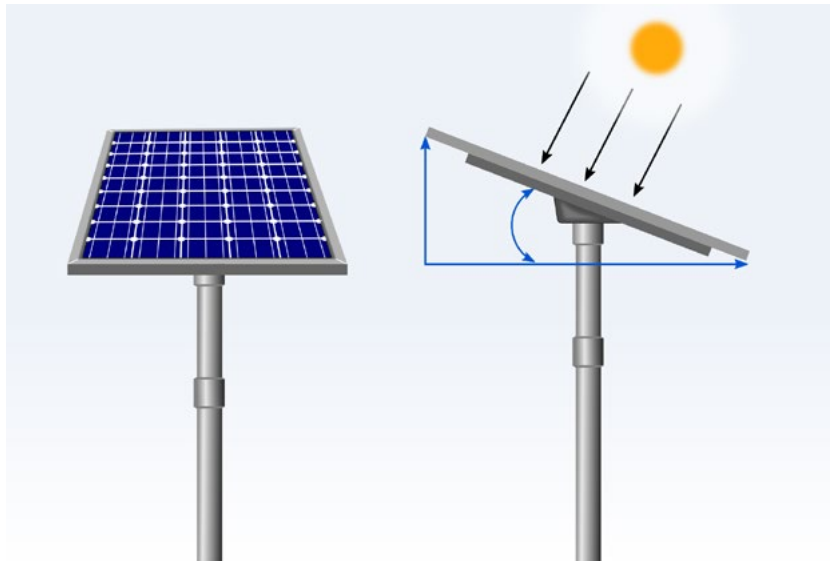
La **inclinación** ideal del panel es variable en cada localización específica y depende de la latitud geográfica en la que nos encontramos en un punto determinado de la Tierra. La latitud es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto. Según el hemisferio en el que se sitúe el punto, puede ser latitud norte o sur.



La forma e inclinación de la tierra, hacen que la luz del sol llegue de forma diferente a los distintos puntos del globo. Además, en su movimiento alrededor del sol en el año, los días son más largos durante el verano y más cortos en invierno.

Tengamos en cuenta una regla básica para determinar la inclinación de los paneles:

Cuanto más perpendicular esté el sol respecto a nuestro panel solar, mayor energía recibirá y más potencia generará la placa.



De acuerdo con la latitud en la que nos encontremos, variará el ángulo de inclinación que debemos usar para lograr que, estando en el punto más alto del horizonte, el sol impacte a los paneles de manera perpendicular.

Existen múltiples recursos en internet con tablas de inclinación para distintas regiones y ciudades. Para calcular la inclinación idónea para nuestros paneles, existe la siguiente fórmula:

a) Para la época de invierno

En los meses de invierno, cuando hay menos sol, tome su latitud, multiplíquelo por 0.9 y luego agregue 29 grados.

Por ejemplo: si su latitud es de 40 grados, el ángulo que desea inclinar sus paneles en el invierno es: $(40 * 0.9) + 29 = 65$ grados.

b) Para la época de verano

Tome su latitud, multiplíquela por 0.9 y reste 23.5 grados.

Por ejemplo: si su latitud es de 40 grados, sus paneles deben estar inclinados a: $(40 * 0.9) - 23.5 = 12.5$ grados.

c) Para primavera y otoño

Tome tu latitud y reste 2.5 grados.

Por ejemplo: si su latitud es de 40 grados, la mejor inclinación para sus paneles en primavera y otoño es: $40 - 2.5 = 37.5$ grados.

Como en muchas ocasiones los paneles son fijos y no podemos variar su inclinación a lo largo del año, es conveniente que consideremos que la generación de energía eléctrica variará según las épocas del año. En estas ocasiones, puede resultar conveniente promediar los valores de cada estación.

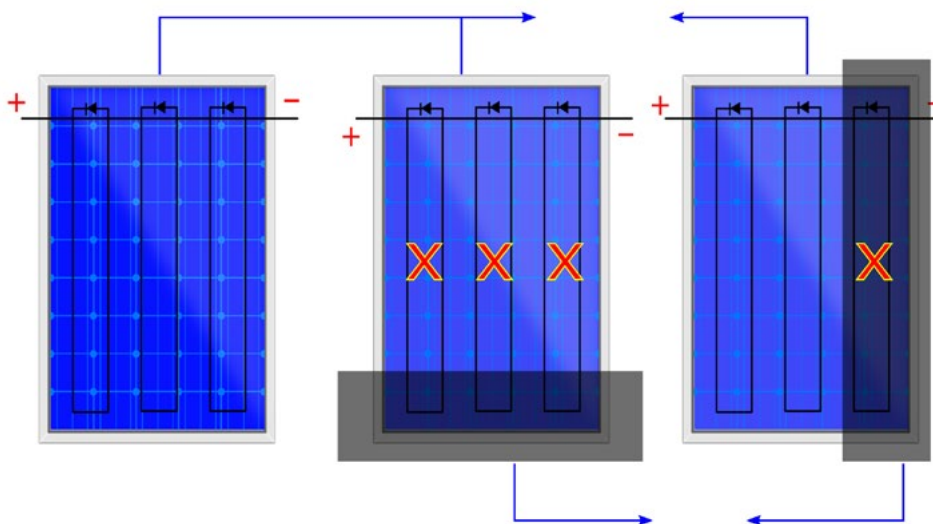
EVITAR LAS SOMBRAS

Otro aspecto importante a considerar es que, idealmente, los paneles solares no deben recibir ninguna sombra. Tengamos en cuenta que la existencia de sombras sobre las placas solares repercute negativamente en el rendimiento del sistema fotovoltaico. Recordemos que los paneles están formados por celdas y cuando una, o varias celdas se ven afectadas por alguna sombra, el flujo de electrones altera su rumbo y puede tomar la dirección contraria, lo que resulta en una pérdida de energía y en el deterioro de los componentes del sistema.

En ocasiones resulta imposible evitar completamente las sombras en alguna zona de uno o más paneles. Por ese motivo, los paneles cuentan con un dispositivo llamado **diodo** cuya función es impedir el paso de corriente contraria, "saltando" las celdas afectadas por la sombra y reconduciendo la corriente eléctrica. Estos diodos se activan cuando una celda solar no puede generar tensión positiva a causa del sombreado.

En la siguiente ilustración podemos ver tres situaciones de nuestros paneles con respecto a las sombras. Los diodos están representados por las pequeñas flechas en la parte superior del panel.

- En el extremo izquierdo, vemos un panel que no se ve afectado por la sombra.
- En el medio, vemos un panel en el que la sombra cae de manera horizontal en algunas celdas, pero el rendimiento de todo el panel se ve afectado.
- En la derecha, vemos la sombra en sentido vertical, que afecta solamente una sección del panel.



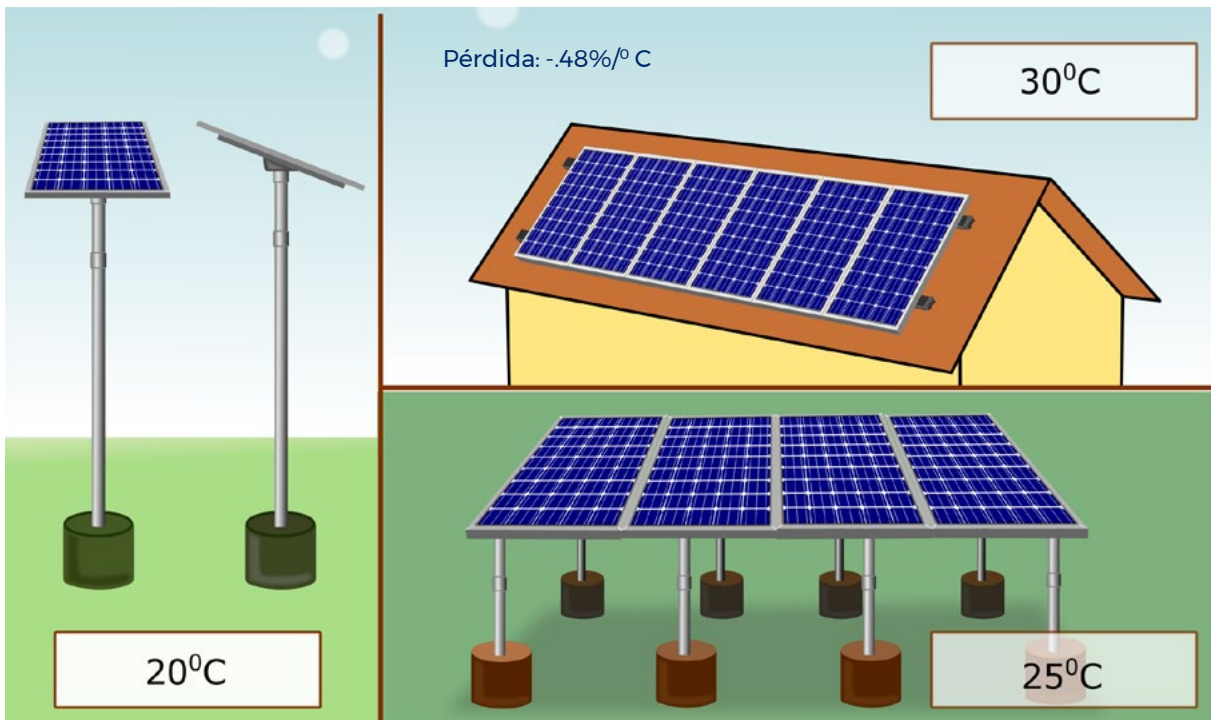
Sombras y paneles solares

MONTAJE DE LOS PANELES Y TEMPERATURA

Otro aspecto a considerar es la temperatura que se deriva del tipo de montaje que empleamos para nuestros paneles, pues a mayor temperatura, mayor resistencia. Es decir, hay mayores pérdidas cuando la temperatura es mayor y viceversa.

En la siguiente ilustración observamos tres tipos de montaje:

- En el primer caso a la izquierda, con paneles en postes la temperatura que se genera es de 20°C.
- Abajo a la derecha tenemos paneles en unas bases a nivel del suelo. Aquí la temperatura es de 25°C.
- Arriba a la derecha vemos paneles colocados directamente sobre el techo y la temperatura asciende a 30°C.



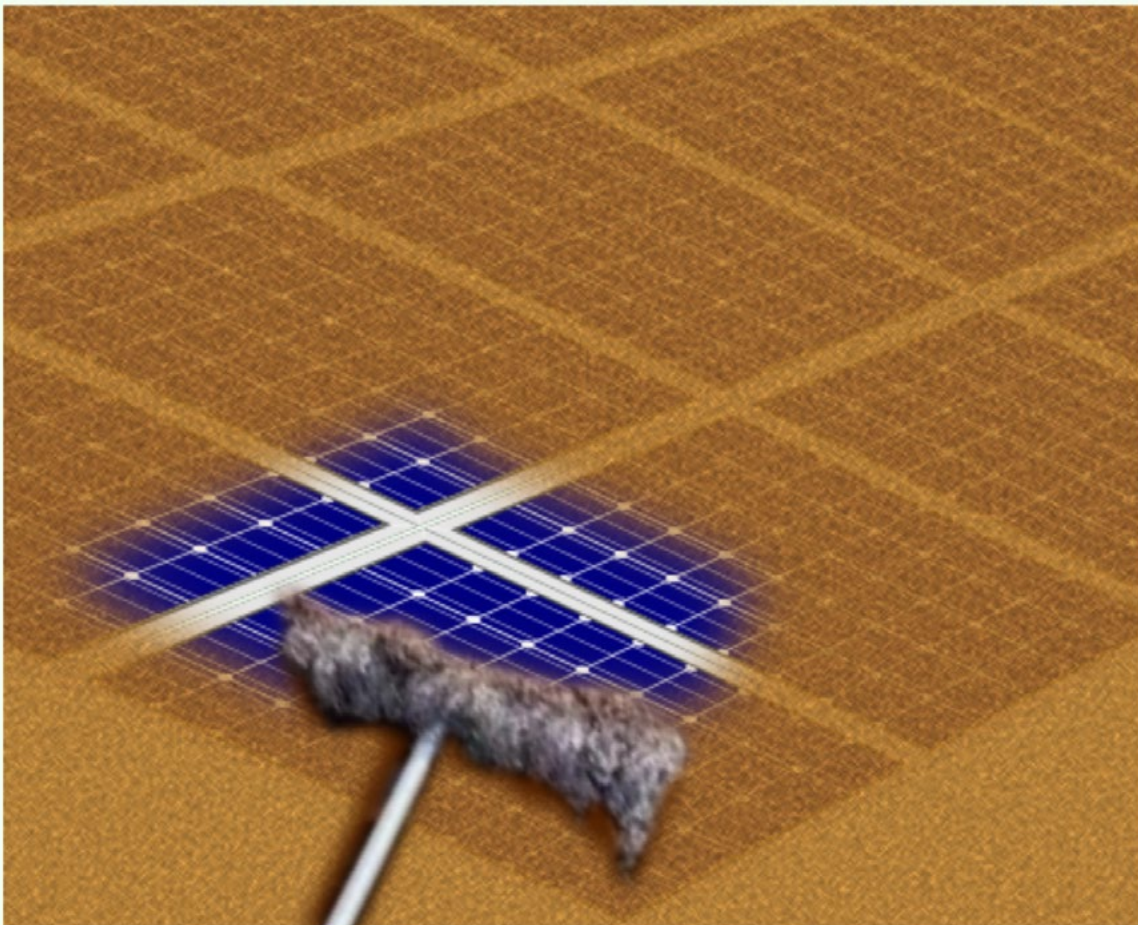
Aumento de temperatura según el sistema de montaje

Se calcula que la temperatura puede ocasionar una pérdida de casi medio punto porcentual (.48%) por cada grado centígrado de temperatura.

POLVO ACUMULADO EN EL PANEL

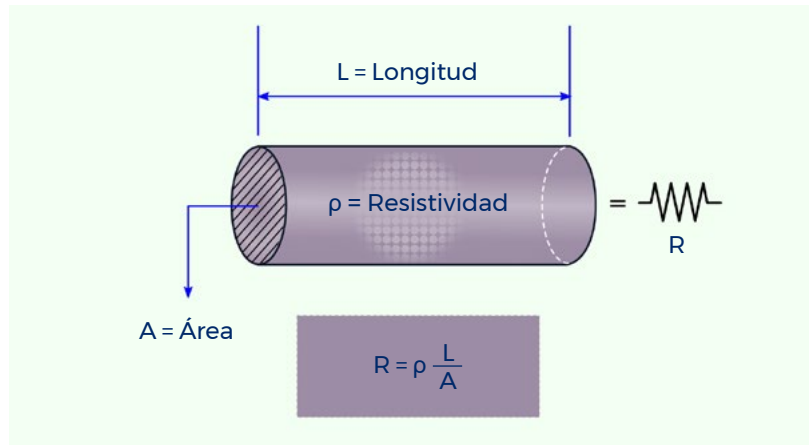
Otro factor de posibles pérdidas de energía está dado por el polvo que se acumula en la superficie del panel. Por esta razón, de acuerdo con las condiciones específicas del territorio en donde nos encontramos, es conveniente limpiar con cierta frecuencia la superficie de los paneles. Esta limpieza puede ser con agua, o tal vez con un poco de jabón. Si llegara a ser necesario, se puede utilizar un poco de alcohol.

Se estima que los paneles que reciben una limpieza semanal pierden solamente 1% de energía por el polvo que llega a acumularse. En cambio, si los paneles no se limpian, la pérdida puede llegar a 50 %. Dependiendo de las condiciones del viento y polvo que reciben los paneles en el sitio donde se encuentran, con un mantenimiento bimestral las pérdidas podrían ser de entre 3 % y 7 %.



2.2 EL CABLEADO

Otro factor importante a considerar es el del tamaño adecuado de los cables que empleamos, ya que hay una relación entre la resistencia propia del material, la distancia o longitud del cable que empleamos y la superficie (grosor) del cable. Todo ello, en función del amperaje de la corriente que será transportada.



El material del que están hechos los cables presenta cierta resistencia (resistividad en la ilustración). Normalmente se emplea el cobre, cuya resistividad es baja. Ahora bien, en la medida en que el cable es más largo, se genera mayor resistencia y, por tanto, mayor pérdida de energía. Esta pérdida puede compensarse aumentando el área o superficie del cable.

La siguiente tabla muestra el cable que conviene utilizar, según su superficie, para distintos amperajes y longitudes.

Corriente máx.	1 metro	1-2 metros	2-3 metros	3-5 metros	5-7 metros	7-10 metros
1-20A	4mm ²	4mm ²	4mm ²	4mm ²	6mm ²	6mm ²
20-30A	4mm ²	4mm ²	6mm ²	6mm ²	10mm ²	16mm ²
30-40A	4mm ²	4mm ²	6mm ²	10mm ²	16mm ²	16mm ²
40-60A	6mm ²	6mm ²	10mm ²	16mm ²	16mm ²	21mm ²
60-100A	10mm ²	16mm ²	16mm ²	21mm ²	21mm ²	35mm ²

Se calcula que en el cableado de nuestro sistema, tendremos una pérdida de alrededor de 4%.

2.3 CONTROLADORES DE CARGA

El controlador de carga es un dispositivo esencial para el funcionamiento de una instalación fotovoltaica. Su función es regular el flujo de energía que va de los paneles a las baterías para evitar una sobrecarga. Controla tanto la intensidad como el voltaje que reciben dichas baterías, con el objetivo de que la recarga sea en condiciones óptimas y no las dañe.

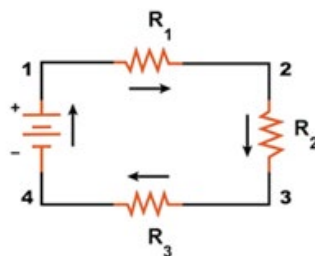
Existen diversos tipos de controladores. Es importante conocer los dos tipos más usuales y compararlos entre sí. La siguiente tabla presenta comparativamente las principales características de estos tipos.

Tipos de controladores de carga

Modulación de ancho de pulso (Pulse width modulation PWM)	Seguidor de punto de máxima potencia (Maximum power point tracking MPPT)
Mide el voltaje y la temperatura del banco de baterías	Mide el voltaje y la temperatura del banco de baterías
No puede variar el voltaje de la fuente fotovoltaica (paneles)	Puede controlarse el voltaje de la fuente fotovoltaica (paneles)
El tipo y disposición de los módulos debe diseñarse de acuerdo con el voltaje de la batería	Acepta una diversidad de tipos de módulos y configuraciones en serie y en paralelo. (Ver más abajo)
Más barato	Puede costar de 1.5 a 2 veces lo que cuesta el PWM
Depende de la disponibilidad de paneles solares con el voltaje adecuado	Debe haber disponibilidad del dispositivo
Un sistema pequeño tiene más ventajas con este tipo de controlador.	Si el sistema es más grande, los beneficios de este tipo de controlador son mayores.

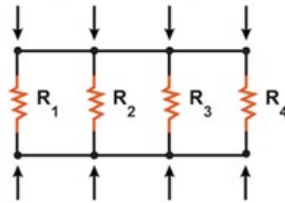
CONFIGURACIONES EN SERIE Y EN PARALELO

En un **circuito en serie**, todos los componentes están conectados de extremo a extremo para formar un único camino para el flujo de corriente. Cuando los elementos del circuito se conectan en serie, las tensiones o resistencias se suman. Por ejemplo, dos baterías de doce voltios conectadas en serie proporcionan 24 voltios.



En un **circuito en paralelo**, todos los componentes están conectados entre sí con al menos dos nodos eléctricamente comunes con la misma tensión en cada componente. En los circuitos conectados en paralelo, la resistencia o tensión siguen siendo las mismas.

Estos puntos son eléctricamente comunes



Estos puntos son eléctricamente comunes

2.4 BATERÍAS

Las baterías son el componente más costoso de un sistema fotovoltaico y están hechas de materiales altamente contaminantes. Por ello, es necesario poner cuidados extremos en su manejo adecuado de tal manera que su tiempo de vida se extienda lo más posible.

Antes de conocer los distintos tipos de baterías, así como algunas de sus ventajas y desventajas, veamos algunas nociones básicas sobre los aspectos más críticos de las baterías, aquéllos que debemos tomar en cuenta tanto para la elección del equipo como para su protección. Una elección inadecuada puede provocar una reducción drástica del tiempo de vida de la batería.

Las baterías tienen un ciclo de vida, es decir, un número determinado de ciclos de carga y descarga. Un manejo adecuado de la batería prolonga ese ciclo de vida.

Algunos aspectos que hay que tener en cuenta para la protección de la batería son los siguientes:

- **Profundidad de descarga (Deep of Discharge, o DoD)**

Las baterías que utilizamos en los sistemas fotovoltaicos tienen un límite en cuanto a su capacidad de descarga. Es decir, requieren conservar cierta cantidad de energía y no descargarse totalmente, esto es lo que llamamos profundidad de descarga. Una descarga mayor a la tolerada puede dañar nuestro equipo y reducir su ciclo de vida. Debemos estar atentos para respetar las especificaciones de cada batería en cuanto a su profundidad de descarga. Normalmente, los manuales que incluyen estos equipos

presentan de manera muy clara esta información. Al momento de dimensionar nuestro sistema fotovoltaico tenemos que considerar que no podremos emplear toda la energía almacenada.

- **Carga apropiada**

Cada batería presenta un máximo de corriente y un máximo de voltaje que puede aceptar para cargarse, pues el voltaje incide en la temperatura de la batería. Como veremos, algunas baterías pueden soportar cantidades mayores de corriente y voltaje y se ven menos afectadas por la temperatura. Normalmente, los controladores de carga reconocen el tipo de batería que está conectada, aunque debemos cerciorarnos de ello, pues es posible que una batería de tecnología muy reciente no sea reconocida por el controlador.

- **Descarga apropiada**

Como en el caso de la carga, cada batería presenta también un máximo de corriente de descarga, límite que debe respetarse para no dañarla.

- **Temperatura**

Este aspecto es extremadamente importante. Las temperaturas altas afectan el ciclo de vida y el desempeño de la batería. Se calcula que un incremento de 10° en la temperatura tolerada puede reducir la vida de la batería a la mitad. Por eso, el sitio donde se colocan las baterías debe ser suficientemente fresco y hay que evitar sitios donde la temperatura se eleva.

- **Mantenimiento**

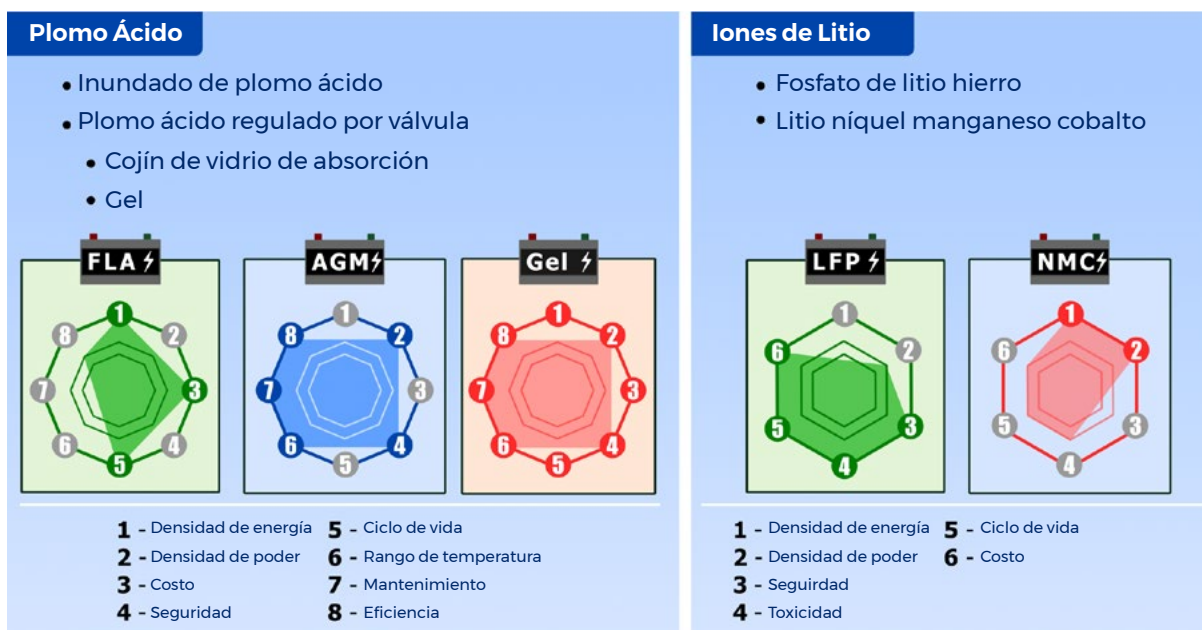
Cada tipo de batería presenta distintos requerimientos de mantenimiento, lo que se debe tener en cuenta para seleccionar el equipo más adecuado a nuestras necesidades. Un mantenimiento inapropiado puede dañar rápidamente la batería.

No es recomendable la conexión de baterías en paralelo.

TIPOS DE BATERÍAS

Existen muchos tipos de baterías, pero hay dos grupos principales: las llamadas “Lead Acid” (plomo-ácido) y las “Lithium Ion” (iones de litio). Las primeras son las que todavía se usan con más frecuencia. Las de iones de litio son de reciente aparición y su uso comienza a extenderse. Estos dos grupos se subdividen en distintos tipos, lo que da lugar a una diversidad de posibilidades para elegir las baterías que mejor convengan a nuestras necesidades específicas.

El siguiente diagrama compara algunas características generales de estos tipos y subtipos de baterías.



Las baterías del tipo FLA son las más simples, baratas y de gran durabilidad, por lo que son las más comúnmente utilizadas. Tienen la ventaja también de que toleran una buena profundidad de descarga. Este tipo de baterías es todavía el equipo estándar para los sistemas fotovoltaicos.

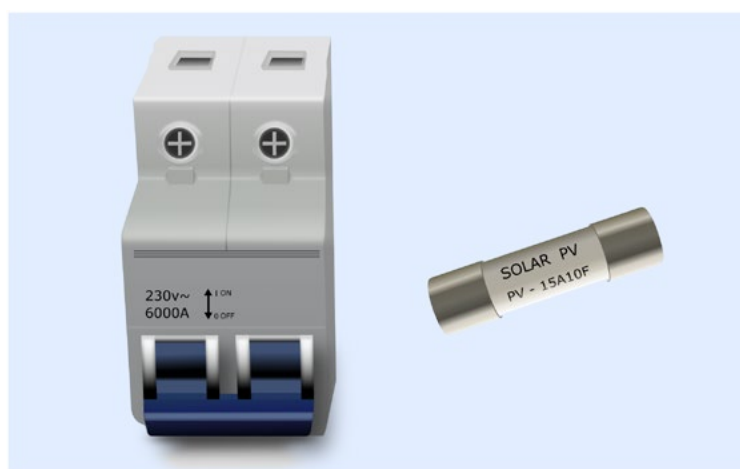
Las baterías del tipo VRLA, a diferencia de las FLA, no requieren mantenimiento, es decir, al estar construidas con un material sólido que no sufre evaporación, no es necesario reponer los materiales perdidos.

El grupo de baterías VRLA, se subdivide a su vez en AGM y GEL. Las baterías AGM tienen la ventaja de soportar mayores tasas de carga y descarga que el resto. Son convenientes cuando se requiere manejar grandes cantidades de energía sin afectar su durabilidad. Además, su tamaño es reducido. La del tipo GEL, al no contener ningún líquido, no requieren un posicionamiento específico.

Las baterías hechas a base litio (iones de litio) han aparecido recientemente y presentan algunas ventajas con respecto a las de plomo-ácido. Existen muchos tipos de estas nuevas baterías, pero en el gráfico señalamos dos que se perfilan como los de mayores ventajas para el caso de los sistemas fotovoltaicos autónomos. Uno de ellos es el LFP, que tiene la característica de tener un ciclo de vida más extenso que el de otros tipos y el costo por Kwh es reducido. Contiene menos sustancias tóxicas para el medio ambiente y presenta menores probabilidades de sobrecalentamiento. Otra ventaja de las baterías LFP es que sus componentes pueden sustituirse, es decir, pueden repararse reponiendo algún componente, a diferencia de las baterías de plomo-ácido. Por su parte, las baterías del tipo NMC pueden manejar grandes cantidades de energía en un tiempo reducido. Este tipo de baterías se está usando en tecnologías de alta sofisticación, como los automóviles Tesla, por ejemplo.

2.5 DISPOSITIVOS PROTECTORES DE SOBRECORRIENTE (OCPD)

Para la protección de las baterías y del sistema en general existen estos dispositivos que interrumpen el circuito en caso de una sobrecarga (un corto circuito). Tenemos los breakers y los fusibles, cuya función es semejante. En el caso de los fusibles, cuando se presenta una descarga en necesario reemplazarlo pues ha quedado inservible. Los breakers tienen la capacidad de apagar el circuito cuando hay una descarga, pero no es necesario sustituirlos y solamente vuelven a conectarse. Se trata de dispositivos muy sencillos pero que brindan una gran protección a los equipos.



Breaker

Fusible

2.6 TIPOS DE CARGA Y CONVERTIDORES

La carga que produce el sistema fotovoltaico es de corriente directa. Normalmente, los equipos como routers, antenas, teléfonos celulares u ordenadores personales funcionan con corriente directa. Prácticamente todos los dispositivos electrónicos necesitan un convertidor de corriente alterna (AC) a corriente directa (DC) para alimentar los circuitos integrados y otros componentes que suelen funcionar con corriente continua.

En el caso del sistema fotovoltaico, esta conversión resulta innecesaria. Por ejemplo, si nuestra batería es de 12V y el router trabaja también a 12 volts, es posible conectarlo directamente a la batería (cuidando la polaridad, aspecto muy importante en los circuitos de DC).

Sin embargo, es posible que distintos equipos funcionen con distintos voltajes en DC, lo que hace necesario un convertidor DC-DC, con el que podemos ajustar el voltaje al requerido por los distintos dispositivos. Estos convertidores DC-DC pueden ser de dos tipos:

- **Step down converter:** cuando la entrada es de mayor voltaje que la salida.
- **Step up converter:** cuando la entrada es de menor voltaje que la salida.

Los inversores tienen una función distinta: convierten la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC). Estos dispositivos son costosos pero a veces resultan necesarios cuando los equipos que requerimos conectar solamente funcionan con AC.

Si los equipos trabajan con DC, resultará más económico recurrir a un convertidor DC-DC para disponer de distintos voltajes, que invertir la corriente de DC a AC, para reconvertirla después a DC.



3.

APLICACIÓN PRÁCTICA PARA DIMENSIONAR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.

APLICACIÓN PRÁCTICA PARA DIMENSIONAR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

PASO 1: EVALUAR LA DEMANDA DE ENERGÍA

a) Identificar los dispositivos que se van a alimentar:

Tres luces LED de 3 watts. Cada una se utiliza durante 4 horas al día.
Un ordenador portátil que se utiliza durante 8 horas al día con un promedio de consumo instantáneo de energía de 15 watts.

Atención:

El uso de una fuente de alimentación de DC para el portátil supone una gran mejora de la eficiencia, en comparación con un inversor de DC a AC que produce 230 V de AC (80 % de eficiencia), seguido de una fuente de alimentación estándar de AC a DC (80 % de eficiencia). Tendríamos una pérdida de 36%.

Carga instantánea total:

LEDs: $3 \times 3 = 9$ watts

Portátil: 15 watts

Total: 15 watts

b) Calcular la demanda total de consumo de energía (Wh).

LEDs: $9V \times 4 \text{ hrs.} = 36 \text{ Wh}$

Portátil: $15V \times 8 \text{ hrs.} = 120 \text{ Wh}$

Demanda Total: $36 \text{ Wh} + 120 \text{ Wh} = 156 \text{ Wh por día}$

PASO 2: DECIDIR EL NÚMERO DE DÍAS DE ALMACENAMIENTO DE LA BATERÍA DE RESERVA QUE SERÁN NECESARIOS DEBIDO AL TIEMPO NUBLADO

Debido a la probabilidad de que se produzcan días nublados en la mayoría de las situaciones, suponer un tiempo de reserva inferior a 2 ó 3 días es una falla de diseño que probablemente dará lugar a múltiples problemas y a un daño prematuro de la batería. Calcular un tiempo de reserva de 5 días también significa que el sistema descargará la batería menos del 10 % de promedio por la noche. Este bajo nivel de DoD permite que la batería funcione durante miles de ciclos de carga y descarga antes de desgastarse.

Por lo tanto, si calculamos una reserva para cinco días, las necesidades de almacenamiento son: 5 días x 156Wh = 780 Wh

Convirtiendo a Amperios hora, tenemos: $780 \text{ Wh} / 12\text{v} = 65\text{Ah}$

Atención:

Si 5 días consecutivos sin energía solar ocurren sólo una vez al año, está bien aceptar que la batería se descargue al 100% de la profundidad de descarga (DoD). Sin embargo, si es probable que esto ocurra más a menudo, es mejor incluir un margen de 30% para mejorar la vida de la batería.

De esta manera, en nuestro caso tendríamos: $780\text{Wh} \times 1.3 = 1014\text{Wh}$

PASO 3: DETERMINAR EL TAMAÑO NECESARIO (EN WATTS) DEL PANEL SOLAR PARA CUBRIR LAS NECESIDADES DE ENERGÍA CALCULADAS ANTERIORMENTE

Utilice <https://globalsolaratlas.info> para identificar la menor insolación solar diaria promedio basada en un panel de 1000 watts. Por ejemplo, en La Pampa, Argentina, junio es el mes con menor irradiación, cuando se tienen 3319 watts hora de promedio diario.

Nuestro ejemplo requiere 156 Wh por día, por lo tanto la potencia pico requerida para el panel solar es = $(156 \text{ Wh} / 3319 \text{ Wh}) \times 1000 = 47 \text{ Watts}$.

Atención:

Cuando el sistema se pone en marcha por la mañana con una batería totalmente descargada, debería producir un excedente de energía (para alimentar el equipo) mientras vuelve a cargarse al 100 %, por lo que hay que añadir un margen de seguridad de 40 % (y ello suponiendo que no hay objetos cercanos, o delante del panel, que puedan producir sombra.)

Potencia solar pico requerida = $47 \text{ watts} \times 1,4 =$ se necesita un panel solar de 66 watts como mínimo.

PASO 4: TENER EN CUENTA EL TAMAÑO DEL PANEL SOLAR PARA DIMENSIONAR LA CAPACIDAD DE LA BATERÍA, EN FUNCIÓN DE LAS NECESIDADES DE ALMACENAMIENTO EN AMPERIOS HORA

Hay que tener en cuenta que la capacidad de la batería y el tamaño del panel solar están estrechamente relacionados. Con un panel solar de 100 watts, se puede asumir una corriente de carga máxima de algo más de 6 A a 12,5 voltios, es decir, $6 \times 12,5 = 75$ watts. La razón por la que no se alcanzan los 100 watts es que los módulos solares calientes tienen una eficiencia de aproximadamente 80 % y hay pérdidas adicionales del regulador de carga (lo mejor sería utilizar el cargador FF-ESP32, que tiene una eficiencia de aproximadamente 95 %). Por lo tanto, la pérdida total (sin incluir las pérdidas en los cables) es de al menos 25 %.

Aunque 30 amperios hora (5 x 6 A) sería la capacidad mínima de la batería para un panel solar de 100 watts, es mejor utilizar un factor de diez para la corriente de carga máxima si es posible. Esto se debe a que una carga y descarga más lenta aumenta la vida útil de la batería. Además, cuanto menor sea la corriente de descarga, mayor será la capacidad efectiva (la capacidad nominal de la batería suele ser la indicada por el fabricante para una corriente que descarga la batería totalmente cargada en 20 horas), pero como se ha indicado anteriormente, la vida útil de la batería depende en gran medida de la profundidad de descarga y del número de ciclos de descarga/carga, así como del ritmo de carga y descarga.

Además, si se supera el límite de corriente de carga inicial, la batería se dañará prematuramente. Con el tiempo, la batería perderá inevitablemente capacidad debido al desgaste, pero si la batería se ajusta a la corriente de carga máxima cuando es nueva, el sistema tendrá problemas rápidamente.

Para la mayoría de las baterías de plomo-ácido AGM, la corriente de carga no debería superar normalmente 30% de la capacidad nominal en amperios-hora de la batería, aunque esto dependerá del tipo de batería (compruebe la hoja de especificaciones para conocer el factor AC). Así, el límite de corriente de carga inicial para una batería de 7,2 Ah es, por tanto, de $7,2 \text{ Ah} \times 0,3 = 2,16$ A. Es decir, el tamaño máximo del panel para esta capacidad de batería sería de $2,16 \times 12,5 =$ unos 25 watts).

Sin embargo, si la batería tiene un tamaño más generoso -al menos cinco veces la corriente de carga máxima-, una batería AGM estándar de una marca de calidad durará al menos cinco años. Por ejemplo,

una batería AGM estándar de Kung-Long o Panasonic tiene una vida útil de 1.300 ciclos a una profundidad de descarga de 30 % antes de que la capacidad de la batería haya descendido a 60 % de la nueva capacidad.

Utilizando nuestro ejemplo anterior de 66 watts de potencia máxima del panel, pero aumentado a 75 watts como tamaño de panel disponible más probable, la corriente de carga máxima esperada es de 4,75 amperios (pérdida de 25 % debido a la temperatura y a la pérdida de conversión DC/DC del circuito del cargador). Esto indicaría una capacidad de la batería de $4,75 \text{ A} \times 5$ de corriente de carga máxima = 23 Ah.

Sin embargo, necesitamos capacidad para 5 días sin sol, por lo que $5 \times 23\text{Ah} = 100\text{Ah}$.

Atención:

Compruebe que el ritmo de carga/descarga no va a reducir la vida útil de la batería.

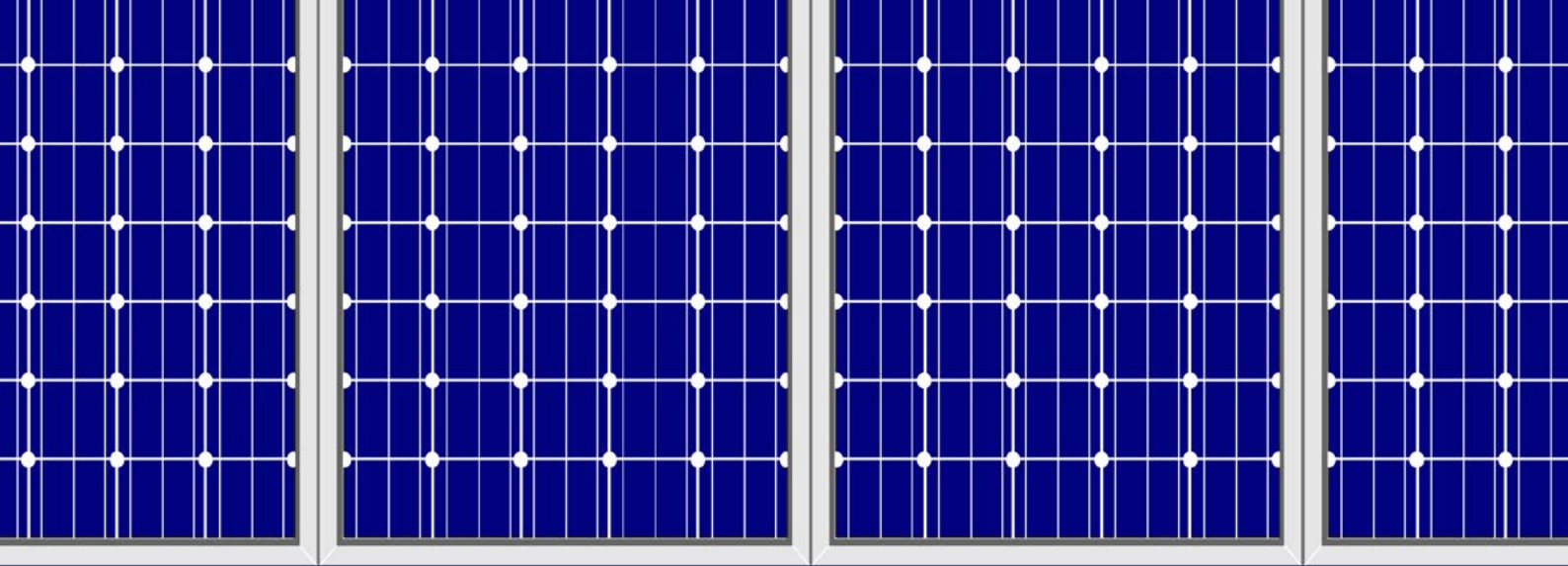
La carga máxima de 4,75 amperios - $4,75 \text{ A} / 100 \text{ Ah}$ da una relación de corriente de carga máxima de 0,0475 AC, que es excelente.

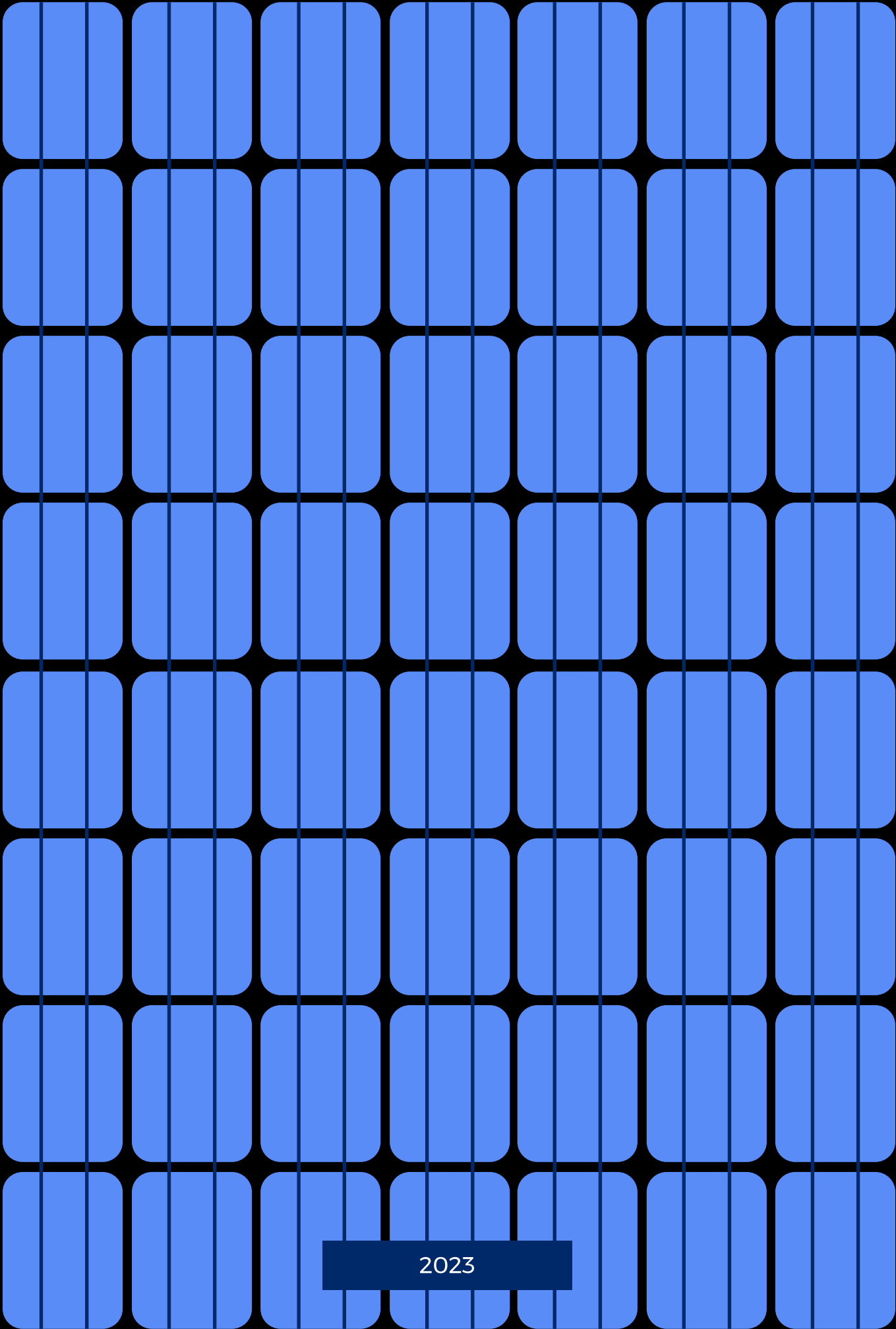
Corriente instantánea = $24 \text{ Watt} / 12 \text{ V} = 2 \text{ Amperios}$.

$\text{AC}_{\text{descarga}} = 2 \text{ A} / 100 \text{ Ah} = 0,02$ o 2% de descarga por hora, por lo que incluso para 8 horas de uso en condiciones de ausencia de sol sólo se descargaría la batería en un 16%, lo cual es un margen aceptable.

PASO 5: CALCULAR EL TAMAÑO/CAPACIDAD NECESARIA DEL REGULADOR DE CARGA SOLAR

Los reguladores de carga suelen especificarse en voltios y amperios. Suponiendo un sistema de 12V, el ejemplo requeriría una capacidad mínima del regulador de carga de $75 \text{ Watts} / 12\text{v} = 6\text{Amps}$.





2023