

Energía Solar Un Curso Corto Sobre Sistemas Fotovoltaicos, Cortesia de MULTIWEB, Miami

Energía Solar 101 es un curso diseñado para el web. El objetivo de este curso es que el ciudadano que no tiene conocimientos técnicos de cómo funciona un sistema fotovoltaico (paneles solares) aprenda los conceptos básicos de cómo trabajan estos sistemas.

Si usted está pensando en un futuro cercano o un poco más lejano invertir en un sistema fotovoltaico, para su hogar o negocio, conocer en un poco más detalle todos los pormenores de estos sistemas le ayudara a tomar una mejor decisión al momento de invertir su dinero. De esta forma no tiene que depender de lo que un vendedor le quiera convencer a comprar.

Tabla de Contenido

Primera Parte - Conceptos Básicos de Electricidad y Energía

Segunda Parte - El Efecto Fotovoltaico

Tercera Parte - La Radiación Solar

Cuarta Parte - Componentes Principales de los Sistemas Fotovoltaicos

Quinta Parte - Configuraciones Básicas de los Sistemas Fotovoltaicos

Primera Parte - Conceptos Básicos de Electricidad y Energía

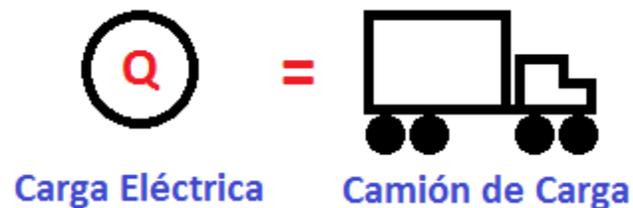
El objetivo de esta parte es definir las variables más básicas de la electricidad y saber diferenciar unas de otras:

1. Carga eléctrica ("*electric charge*")
2. Corriente ("*current*")
3. Voltaje ("*voltage*")
4. Potencia ("*power*")
5. Energía ("*energy*")

Al finalizar esta parte usted va a ser capaz de distinguir cada una de estas variables y no confundir unas con otras.

Comencemos con lo que es **carga eléctrica**. Las cargas eléctricas son las unidades más pequeñas y básicas en el estudio de la electricidad. Las cargas vienen en dos sabores: cargas positivas y cargas negativas. Nos vamos a enfocar en las cargas negativas, los electrones, que son los que componen lo que vamos a conocer como corriente eléctrica.

La carga eléctrica la podemos visualizar como un pequeño camión de carga, valga la redundancia. En su estado natural este camión no se mueve, esto es lo que se conoce como carga estática. Pero si se le aplica (hecha) energía a este camión, el camión va a comenzar a moverse siempre y cuando exista un camino para el poder hacerlo. A este camino o paso es lo que se le conoce como un circuito cerrado. Cuando este camión (carga eléctrica) se mueve a esto se le conoce como **corriente eléctrica**.

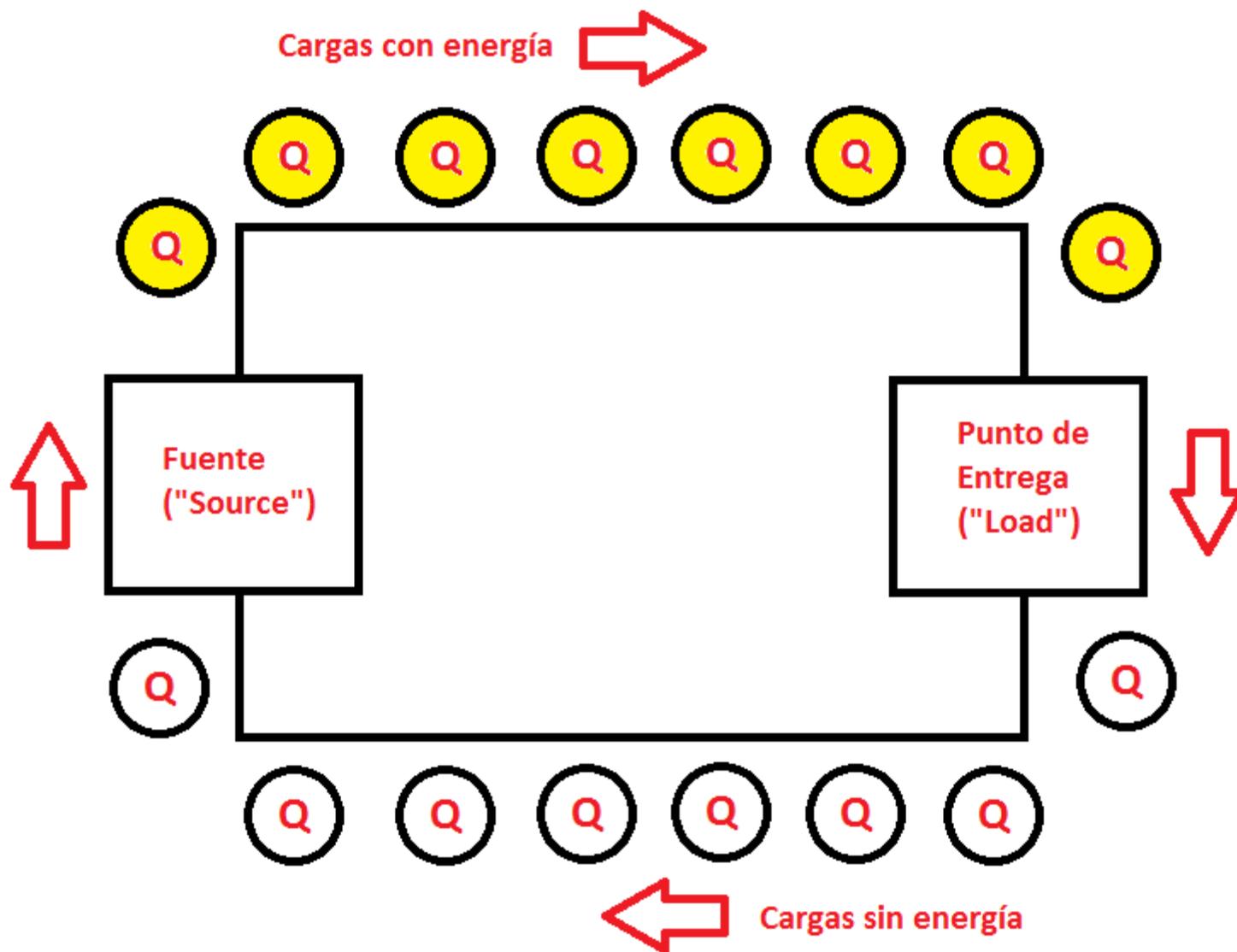


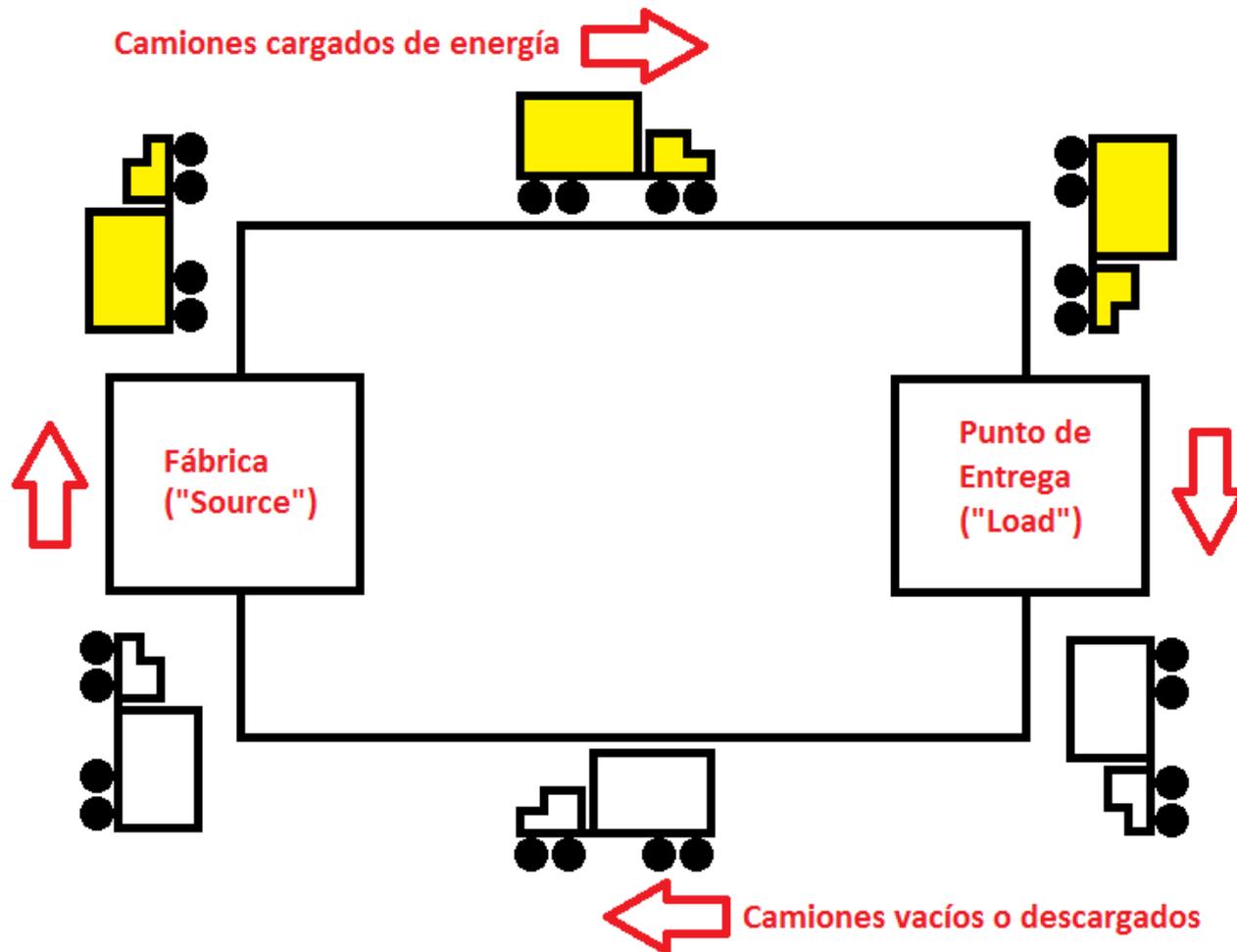
En otras palabras la corriente eléctrica no es otra cosa que cargas eléctricas en movimiento. La corriente se mide en unidades de *Amperios* ("*Amperes*").

Para que las cargas eléctricas se muevan tiene que existir un paso cerrado que las lleve desde el punto donde reciben energía (fuente) hasta el punto donde entregan esa energía y luego de regreso al punto donde reciben energía (fuente). En otras palabras utilizando la analogía del camión, el camión no se va a mover a menos que está garantizada una ruta desde la fábrica hasta el punto de entrega y de regreso a la fábrica. Si el viaje de ida y vuelta no está garantizado, no va a haber movimiento de carga.

La función de la corriente eléctrica en un circuito es llevar energía. La corriente en un circuito se compone de billones y billones de cargas eléctricas en movimiento. O sea que vamos a tener una flota inmensa de camiones llevando energía de la fábrica al punto de entrega. Es como un carrusel o machina de camiones.







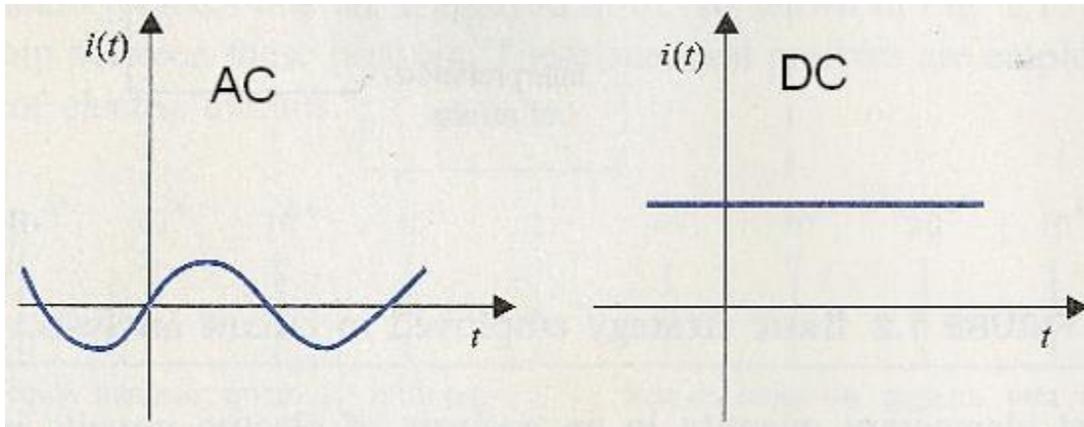
Cuan alta o baja es la corriente va a depender de la energía que las cargas eléctricas tienen que llevar y de cuan cómodo es el camino o paso cerrado. Mientras más energía tenga que llevar las cargas y mientras más fácil sea el camino a recorrer, más corriente va a existir en el circuito. Esto es así porque las cargas eléctricas se van a poder mover más rápido.

Utilizando la analogía del camión. Si el camión tiene el tanque de combustible lleno y el camino para moverse es bajando una cuesta el camión se va a mover más rápido. De ocurrir lo contrario el camión se va a mover más lento.

La propiedad eléctrica que describe cuan fácil o difícil es para las cargas moverse por un paso cerrado se conoce como resistencia. En electricidad los metales son los que tienen menos resistencia y uno de los que menos resistencia tiene es el cobre. Por esta razón la mayor parte de los conductores que componen un circuito eléctrico son de cobre.

La corriente viene en dos tipos:

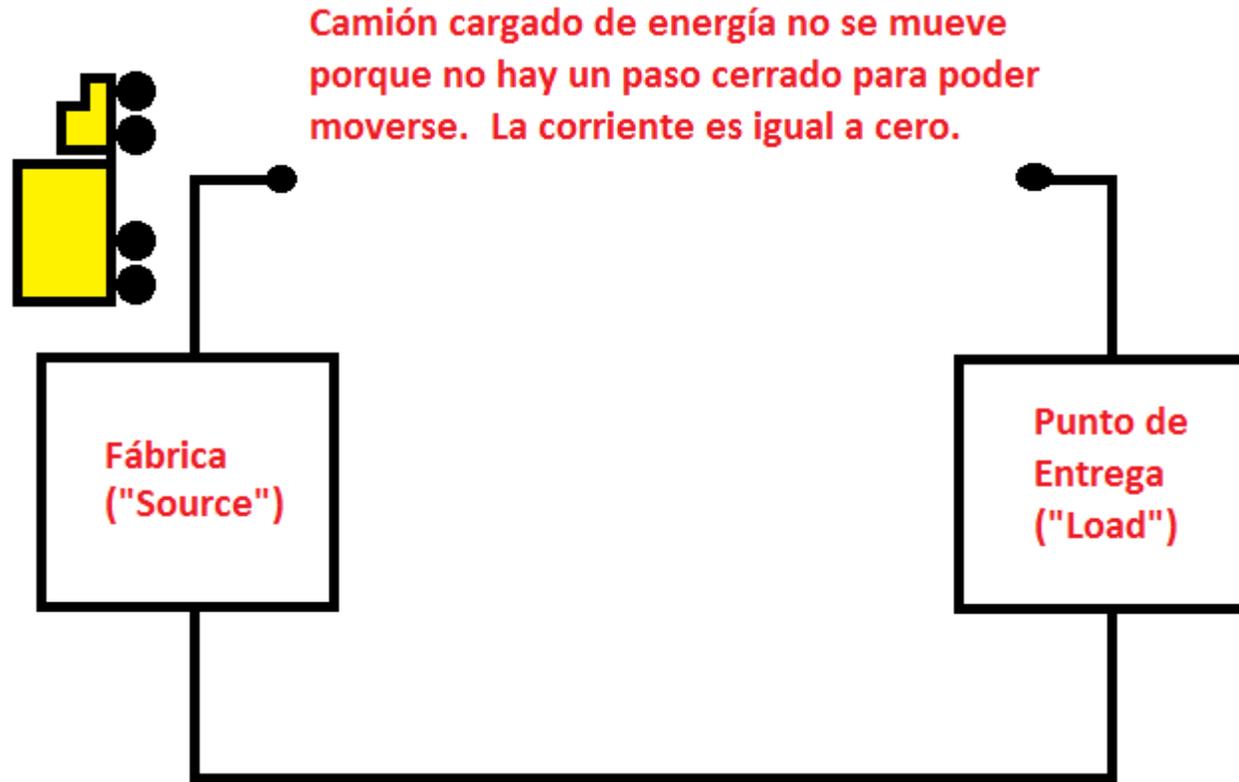
1. Corriente Alterna (AC) - es una corriente que varía con el tiempo.
 - a. Corrientes que encuentras en los receptáculos de tu hogar.
 - b. La provee la Autoridad de Energía Eléctrica.
2. Corriente Directa (DC) - es una corriente que no varía con el tiempo.
 - a. La proveen baterías, paneles solares o "power supplies".



La corriente que genera un panel solar es corriente DC y para poder utilizarla en nuestros hogares esta corriente tiene que ser convertida a AC utilizando lo que se conoce como un inversor.

¿Qué es el **voltaje**? El voltaje es la energía que llevan las cargas eléctricas. Mientras más alto el voltaje, más energía las cargas eléctricas pueden transportar. Siguiendo nuestro ejemplo de los camiones. Los camiones pueden transportar poca energía (estar medio vacíos) como también pueden transportar mucha energía (estar medio llenos o llenos completamente). El voltaje es una medida de la cantidad de energía disponible para que las cargas eléctricas transporten. El voltaje se mide en unidades de *Voltios* ("Volts").

Una propiedad interesante del voltaje es que este puede existir a pesar de que no allá corriente. Una carga eléctrica (camión) puede estar llena de energía y no poder moverse debido a que no exista un paso cerrado que la lleve de la fuente (fabrica) hasta el punto de entrega y de regreso.



El significado de **potencia** se confunde mucho con la definición de energía. La potencia es la energía que se supe o consume en un periodo de tiempo. En electricidad la energía se mide en *Julios ("Joules")* y la definición de potencia es la cantidad de Julios suplidos o consumidos en un segundo. Para nuestro propósito de estudiar sistemas fotovoltaicos nosotros no vamos a medir la energía en Julios, la vamos a medir en una unidad conocida como *kilo-vatio-hora ("kilo-Watt-hour")*, la cual vamos a explicar más adelante.

La potencia se mide en unidades de *Vatios ("Watts")*. Un vatio equivale a un Julio por segundo. O sea que una bombilla de 100 vatios ("Watts") consume 100 Julios por cada segundo que esta encendida. Esa misma bombilla encendida por una hora consume 100 Julios multiplicados por 60 segundos multiplicados por 60 minutos. Esto equivale a 360,000 Julios en una hora. Para nuestro

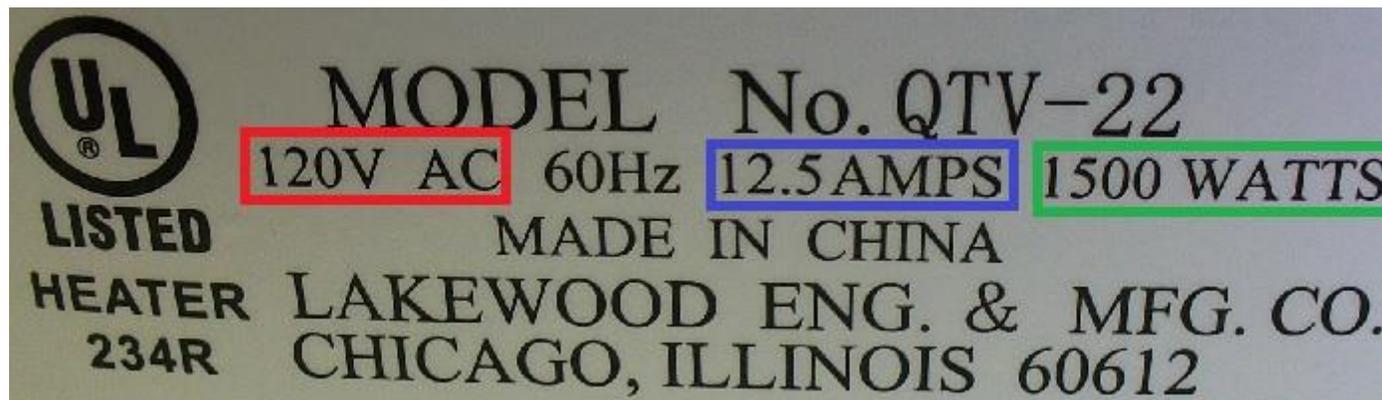
propósito este cómputo es impráctico porque como ya les mencione anteriormente en el estudio de sistemas fotovoltaicos la energía no se mide en Julios se mide en kilo-vatios-hora (kWh).

Matemáticamente la potencia está definida como: $Potencia = Voltaje \times Corriente \times Factor\ de\ Potencia$. El significado de factor de potencia esta fuera del enfoque de este curso corto, pero para el análisis que vamos hacer vamos asumirlo igual a 1. Esto reduce la formula a $Potencia = Voltaje \times Corriente$. Observa que la potencia es proporcional al voltaje y a la corriente. Esto significa que si el voltaje aumenta, o si la corriente aumenta, o si ambos aumentan la potencia también va a aumentar.

Para poder determinar la energía que consume un equipo es importante conocer la potencia que este consume. Ya que para obtener la energía que el equipo consume en una cantidad de tiempo definida solo tenemos que multiplicar la potencia del equipo por el tiempo de uso de este.

Todo equipo que funciona con energía eléctrica debe tener una placa o calcomanía que indique el voltaje y corriente de operación. Algunos fabricantes incluyen la potencia que consume el equipo, pero eso no siempre es así.

Hagamos un ejemplo para un calentador y estudiemos la siguiente placa:



El cuadro rojo indica el *voltaje* de operación del equipo (*120 voltios*) y el cuadro azul la *corriente* (*12.5 amperios*). El fabricante también nos incluyó la información de *potencia* que la podemos ver en el cuadro verde (*1,500 vatios*). Si el fabricante no hubiese incluido la información de *potencia*, entonces utilizaríamos la formula $Potencia = Voltaje \times Corriente$ para determinar la *potencia* que consume el equipo. Para el ejemplo sería:

$$Potencia = 120\ V \times 12.5\ A = 1,500\ \text{Vatios ("Watts")}$$

Finalmente nos falta definir lo que es **energía**. La energía es una fuerza o entidad no tangible con la cual se puede generar trabajo, movimiento y calor. Existen distintos tipos de energía, pero la que nos interesa es la energía de la luz del sol. Utilizando paneles fotovoltaicos (solares) la energía de la luz del sol es convertida en energía eléctrica.

¿Qué es la **energía solar**? Es la que proviene del sol y se transfiere a la superficie terrestre pudiendo ser aprovechada en aplicaciones térmicas (para producir calor) y fotovoltaicas (para generar electricidad).

- Conversión Térmica: Convierte la radiación solar en calor para calentamiento de agua y secado de granos.
- Conversión Fotovoltaica: Generación directa de electricidad a partir de la luz del Sol.

La energía se mide en Julios, pero en el estudio de sistemas fotovoltaicos la vamos a medir en kilo-vatios-hora (kWh). ¿Qué es un kilo-vatio-hora? El prefijo kilo que significa es mil. Vatios es lo mismo que Julios divididos entre segundos (*se lee como Julios por segundo, J/s*). Hora es el equivalente a una hora de tiempo. ¿Cómo se trabaja esta unidad? Sencillo. Vamos a utilizar el ejemplo de la bombilla de 100 vatios ("Watts"):

¿Cuánta energía consume una bombilla de 100 vatios encendida por una hora?
 $100 \text{ vatios} \times 1 \text{ hora} = 100 \text{ Wh}$
 Si queremos el resultado en kWh tenemos que dividir los 100 Wh entre mil.
 $100 \text{ Wh} / 1,000 = 0.1 \text{ kWh}$

¿Cuánta energía consume 10 bombillas de 100 vatios encendidas por 8 horas?
 $10 \text{ bombillas} \times 100 \text{ vatios} \times 8 \text{ horas} = 8,000 \text{ Wh}$
 $8,000 \text{ Wh} / 1,000 = 8 \text{ kWh}$

Si el costo de la electricidad es \$0.27/kWh (27 centavos el kWh), ¿Cuánto cuesta tener prendidas las 10 bombillas de 100 vatios esas 8 horas?
 $8 \text{ kWh} \times \$0.27/\text{kWh} = \2.16

Este cómputo anterior nos demuestra dos cosas:

1. Es mejor cambiar las bombillas incandescentes de 100 vatios por bombillas fluorescentes compactas en espiral o LED de 15 vatios. Este cambio te ahorra un 85% de energía.
2. Con los costos actuales de la electricidad tenemos que tener mucho cuidado y no olvidar dejar bombillas prendidas.

En resumen al concluir esta primera parte aprendimos los siguientes conceptos:

1. Carga eléctrica - son las unidades básicas de electricidad que transportan energía.
2. Corriente eléctrica - son las cargas cuando están en movimiento. Se mide en Amperios.
3. Voltaje - es la energía que llevan las cargas. Se mide en Voltios.
4. Potencia - es la energía se supe o consume en un periodo de un segundo. Se mide en vatios ("*Watts*").
5. Energía - es una fuerza física no tangible que la cual genera trabajo, movimiento o calor. Se mide en Julios, pero en el estudio de sistemas fotovoltaicos la vamos a medir en kilo-vatio-hora (*kWh*).

Segunda Parte - El Efecto Fotovoltaico

En esta parte explicaremos cuales son los componentes básicos de un módulo fotovoltaico, mejor conocido como "*panel solar*". También explicaremos brevemente el principio físico por el cual la energía solar es transformada en energía eléctrica.

La unidad más básica de un sistema fotovoltaico es la **celda fotovoltaica**. La celda fotovoltaica convierte la energía de la luz del Sol en energía eléctrica. Una celda fotovoltaica tiene una duración o vida aproximada de *25 años*.





El ingrediente principal en la construcción de una celda solar es el **silicio**. Después del oxígeno el silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. El silicio es parte del grupo IV de la tabla periódica. Este grupo es famoso porque contiene a los semiconductores. Los semiconductores son unos de los materiales más importantes de la historia moderna si consideramos que los últimos avances tecnológicos están relacionados a avances en el campo de las computadoras y la electrónica. El silicio y otros semiconductores son el material principal en la manufactura de los microchips y microprocesadores que controlan prácticamente nuestro diario vivir.

A pesar de que el silicio es un material muy abundante, para construir celdas solares se necesita un ambiente muy limpio. Esto es la causa de que la fabricación de celdas solares sea un poco costosa. Dependiendo la pureza del silicio utilizado para manufacturarlas hay tres tipos de celdas solares: las amorfas, las policristalinas y las monocristalinas. La diferencia de una celda a otra es prácticamente la eficiencia de la celda y la rigidez de esta. La eficiencia de una celda es la capacidad que tiene una celda de transformar la energía que recibe del sol en energía eléctrica. Dependiendo el tipo de celda las eficiencias pueden variar de menos de un 5% hasta poco más de un 18%.

Tipos de Celdas Solares:

- Celdas Monocristalinas

Son las celdas construidas con el silicio más puro, son las más eficientes, pero también las más costosas. Son las celdas más rígidas. Se utilizan en la construcción de módulos fotovoltaicos ("paneles solares") de alta eficiencia. Tienen eficiencias de 14 a 18%.

- Celda Policristalinas

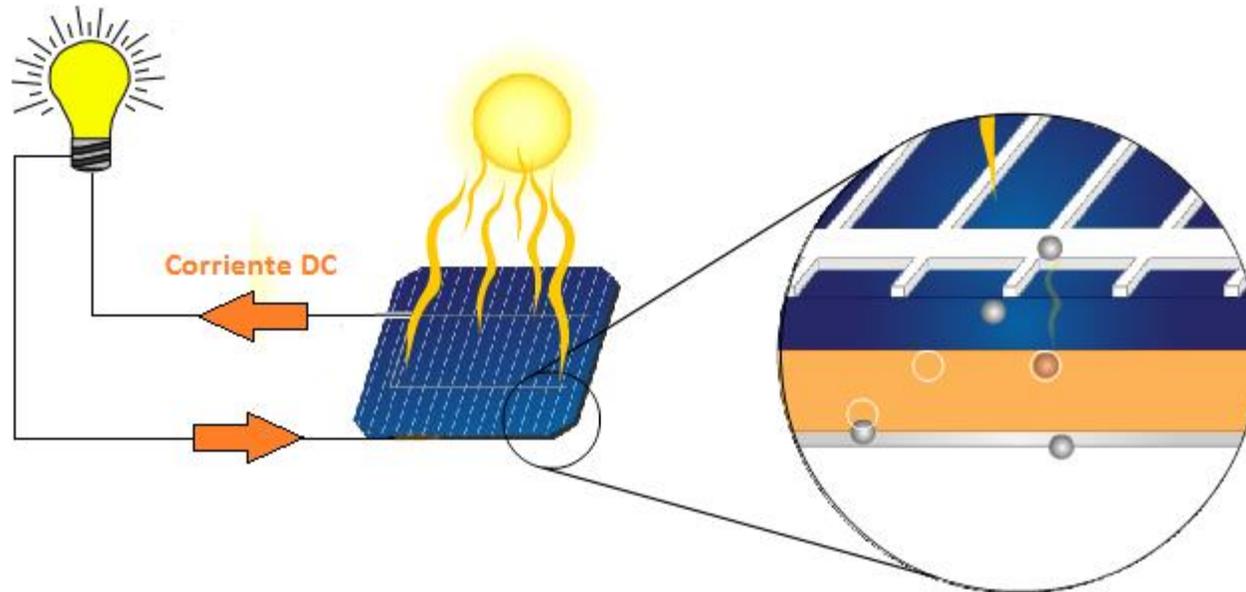
Son las celdas construidas con un silicio de menor pureza al utilizado en las monocristalinas. Su eficiencia es menor a una monocristalina y también es más económica que la monocristalina. Se utilizan en la construcción de la mayor parte de los módulos fotovoltaicos ("paneles solares"). Tienen eficiencias de 11 a 14%.

- Celdas Amorfas

Son las celdas construidas con un silicio de poca pureza conocido como silicio amorfo. Son las celdas menos eficientes y también son las más económicas. Son unas celdas flexibles. Se utilizan mucho en las calculadoras solares y equipos de bajo consumo eléctrico. Tienen eficiencias de 5 a 9%.

El proceso por el cual una celda solar convierte la energía de la luz de sol en energía eléctrica se conoce como el **efecto fotovoltaico**. Los **fotones** (nombre que se le da a las partículas de luz) golpean electrones (cargas eléctricas) sueltas en el silicio del que se componen los paneles solares. Esto causa una acumulación de cargas estáticas en un lado de la celda y a su vez produce un voltaje lo suficiente para que pueda existir una corriente DC. El voltaje de la celda no depende del tamaño de esta, pero la corriente va a depender del tamaño de la celda y la intensidad del Sol. Mientras más grande la celda, más corriente puede generar.





El voltaje que produce una sola celda de silicio es aproximadamente *0.5 voltios*. En otras palabras la producción de energía de una sola celda es muy baja. Por esta razón múltiples celdas (normalmente 36, 54, 60, 72 o 96 celdas) se combinan eléctricamente (combinaciones serie y paralelo) unas con otras para producir un voltaje y una corriente más alta lo que a su vez significa una mayor producción de energía. A este grupo de celdas combinadas y ensambladas juntas se le conoce como un **módulo fotovoltaico** o lo que comúnmente llaman en la calle como un "*panel solar*".



Por definición técnica lo que conocemos como un "*panel solar*" en realidad es un módulo fotovoltaico. Un **panel fotovoltaico (solar)** sería una combinación de dos o más módulos conectados en serie. Normalmente a esta combinación se le conoce como un "*string*".

A banner for Multiweb & Technologies Corp. featuring a colorful logo on the left, the company name in bold, and contact information including address, phone, fax, email, and website. The background is a dark, abstract design with light rays.

MULTIWEB & TECHNOLOGIES CORP.
465 WEST PARK Dr. # 10, Miami, FL. 33172 | PH: 305-640-3003 | FAX: 305-396-3818
info@multiwebcorp.com www.multiwebcorp.com



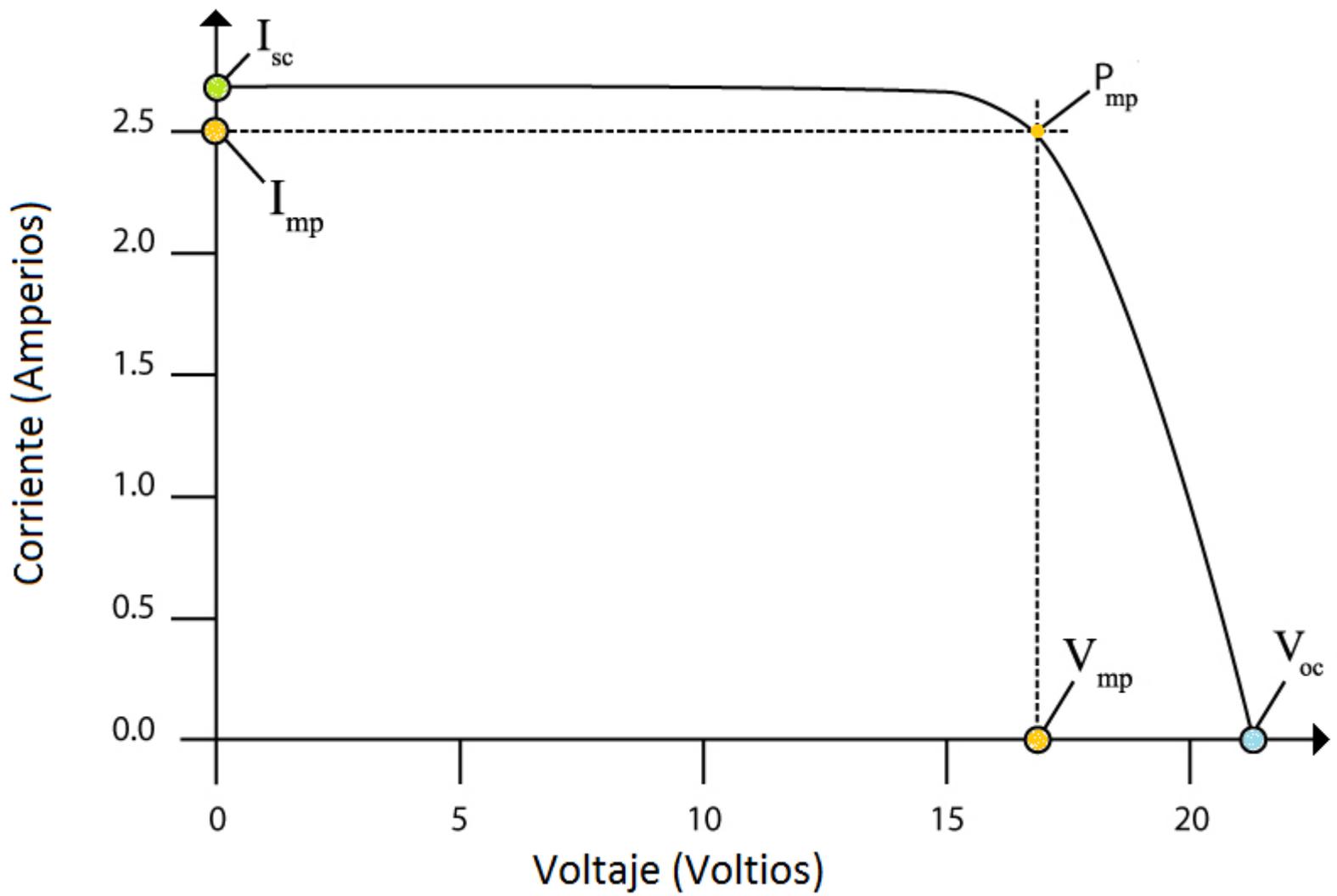
Un **arreglo fotovoltaico** es una combinación de dos o más "*strings*" combinados para producir un voltaje y corriente deseados.

The logo for Multiweb & Technologies Corp. features a colorful, multi-pointed starburst design. To the right of the logo, the company name "MULTIWEB & TECHNOLOGIES CORP." is written in a bold, white, sans-serif font. Below the name, the address "465 WEST PARK Dr. # 10, Miami, FL. 33172" and contact numbers "PH: 305-640-3003 | FAX: 305-396-3818" are listed in a smaller white font. At the bottom left, the email address "info@multiwebcorp.com" is provided, and at the bottom right, the website "www.multiwebcorp.com" is listed. The background of the banner is a dark, abstract image with glowing yellow and orange light trails.



Un módulo fotovoltaico ("*panel solar*") puede producir una corriente casi constante a distintos rangos de voltaje. Esta característica de un panel solar esta descrita en lo que se conoce como la **curva I-V (corriente - voltaje)**. Esta grafica describe la corriente que produce un panel solar para distintos valores de voltaje a **condiciones estándar de prueba (STC)**. Los fabricantes de módulos fotovoltaicos proveen esta curva en los "[data sheets](#)" de los paneles o pueden dar la data de forma [tabulada](#).





Los parámetros más importantes de una curva I-V son:

- El **punto de potencia máxima** ("*máximum power point*") V_{mp} e I_{mp} . Este punto nos indica el nivel óptimo de operación del módulo fotovoltaico. La multiplicación de la corriente I_{mp} por el voltaje V_{mp} nos da la potencia máxima de operación (P_{mp}) del módulo. Si el modulo opera a un voltaje menor o mayor al V_{mp} la potencia de salida del módulo baja.
- El **voltaje de circuito abierto** V_{oc} . Este es el voltaje máximo de salida del módulo fotovoltaico y ocurre cuando la corriente del módulo es cero. Este es un parámetro muy fácil de medir y nos sirve de referencia para hacerle pruebas a un módulo y verificar si cumple con las especificaciones del fabricante. Este valor también es de suma importancia cuando se están diseñando "*strings*" (módulos fotovoltaicos conectados en serie) que van a ser conectados a un inversor central.
- La **corriente de corto circuito** I_{oc} . Esta es la corriente máxima de salida del módulo fotovoltaico y ocurre cuando el voltaje del módulo es cero. Este es un parámetro muy fácil de medir y nos sirve de referencia para hacerle pruebas a un módulo y verificar si cumple con las especificaciones del fabricante. Este valor también es de suma importancia cuando se está diseñando el alambrado y la protección del sistema fotovoltaico.

Los factores que más afectan el rendimiento de un módulo fotovoltaico ("*panel solar*") son:

- La **intensidad de la luz del Sol**. El voltaje del panel solar no va a variar mucho con la intensidad de la luz solar, pero la corriente sí. Esto significa que si hay poca luz solar, va haber poca corriente y a su vez poca potencia de salida.
- La **temperatura**. La temperatura a la que opera la celda solar afecta el voltaje de operación del panel solar. A temperaturas más altas el voltaje de operación del módulo disminuye lo que significa menor producción de energía. En ambientes más frescos el panel solar trabaja mejor. Una *regla de dedo* es que la producción de energía de un panel solar en un clima cálido es aproximadamente 12% menor a los que indica el fabricante en sus pruebas STC.
- Las **sombras** ("*shading*"). Las sombras son el enemigo número uno de un sistema fotovoltaico. Dependiendo el panel solar una sombra en una sola celda del panel puede causar que la producción de energía del panel se reduzca un 75%.

En resumen al concluir esta segunda parte aprendimos que:

1. Las celdas solares son las unidades básicas de las que se compone un módulo fotovoltaico y tienen una vida útil de *25 años*.
2. Una celda solar se fabrica de silicio y tienen un voltaje nominal de *0.5 voltios*. Para construir un módulo fotovoltaico se combina una cantidad predeterminada de celdas solares.
3. Las celdas monocristalinas son las más eficientes, pero también las más costosas. La mayor parte de los módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado se construyen con celdas policristalinas.

4. Por definición técnica del *código eléctrico nacional* un módulo fotovoltaico y un panel solar tienen significados distintos, pero en el lenguaje coloquial es aceptado referirse a un módulo fotovoltaico como un "panel solar".
5. Las sombras son el enemigo número uno de un módulo fotovoltaico o "panel solar".
6. La temperatura afecta el voltaje de operación de un módulo fotovoltaico. A menor temperatura, mayor el voltaje de operación.

Tercera Parte - La Radiación Solar

La **radiación solar** es la energía que emana del Sol en forma de ondas o partículas. A la radiación solar que incide en una superficie en un lugar y tiempo determinado se le conoce como **insolación**.

Hay dos términos que crean mucha confusión cuando se habla de la radiación solar:

- Irradiancia Solar ("*Solar Irradiance*") - equivale a potencia solar.
- Irradiación Solar ("*Solar Irradiation*") - equivale a energía solar.

La **irradiancia solar** es un dato normalizado que nos indica cuanta potencia por unidad de área lleva la radiación solar en un lugar y a un ángulo específico. La irradiancia se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Cuando un fabricante produce la *curva I-V* de un módulo fotovoltaico lo hace bajo **condiciones estándar de prueba (STC)**. En estas condiciones de laboratorio el módulo es expuesto a una irradiancia solar de $1,000 W/m^2$. Una irradiancia solar de $1,000 W/m^2$ es el valor típico de insolación en un día bien soleado y sin nubes, pero factores como las condiciones climáticas, la posición de la Tierra relativo al Sol, y las obstrucciones (objetos que causan sombra) afectan el valor real de la irradiancia en un lugar en específico.

La irradiancia solar varía durante el día. Las horas pico de sol ("*peak sun hours*") son las horas del día en las cuales la irradiancia solar es igual $1,000 W/m^2$. Este es un dato importante que se utiliza cuando se estima la producción de energía de un sistema fotovoltaico. En Puerto Rico las horas pico de sol varían por localización entre *5 horas* a *5.5 horas*. Normalmente cuando se estima el tamaño de un sistema se utiliza el número más conservador de *5 horas*.

La **irradiación solar** es un dato normalizado que nos da la energía que se acumula en un periodo de tiempo por unidad de área. La irradiación solar se obtiene multiplicando la irradiancia solar por las horas picos de sol de un lugar. Las unidades de medición de la irradiación solar son los vatios-hora por metro cuadrado (Wh/m^2) o kilo-vatios-hora por metro cuadrado (kWh/m^2).

$$Irradiacion\ Solar = (Irradiancia\ Solar) \times (Horas\ Pico\ de\ Sol)$$

La siguiente tabla muestra datos de irradiación solar para el pueblo de San Juan:

Irradiación Solar Promedio en San Juan, Puerto Rico kWh/m² por día (ángulo de inclinación de 18 grados)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
5.1	5.6	6.1	6.1	5.4	5.5	5.6	5.8	5.7	5.4	5.1

Data provista por el "[National Renewable Energy Laboratory](#)" (NREL). Para más información de datos del recurso solar puede visitar la página de [NREL](#).

El promedio anual de irradiación solar para la data de la tabla es 5.5 kWh/m^2 . Esto equivale a un promedio anual de 5.5 horas pico de sol. Esta data la podemos interpretar de dos formas:

1. Un metro cuadrado de superficie (techo) en promedio recibe 5.5 kWh de energía diarios de luz solar.
2. Un panel solar trabaja a su potencia nominal durante 5.5 horas diarias.

Analicemos la primera declaración. Utilizaremos el módulo fotovoltaico [Conergy PE 255P](#) de ejemplo. Este panel tiene una potencia de salida nominal de 255 W y tiene unas dimensiones de $39'' \text{ de ancho}$ por $65'' \text{ de largo}$ lo que equivale a un área de 1.64 m^2 . Si multiplicamos los 5.5 kWh/m^2 por 1.64 m^2 , en teoría ese panel debe generar 9.02 kWh de energía diarios.

¿O sea que teóricamente una familia que tenga un consumo promedio diario de 18 kWh (puede calcular su consumo promedio diario en la sección de [Primeros Pasos](#)) puede satisfacer sus necesidades energéticas con solo $2 \text{ paneles solares}$ (módulos fotovoltaicos)?

Pues esto está muy lejos de la verdad. Aquí es que entra en acción lo que se conoce como la **eficiencia** de las celdas solares. Como se discutió en la [segunda parte del curso](#) la eficiencia de las celdas es muy baja. La eficiencia del módulo [Conergy de 255 vatios](#) es de 15.59% . Esto significa que solo el 15.59% de los posibles 9.02 kWh que el panel puede capturar son convertidos en energía eléctrica. Por lo tanto ese panel solo convierte 1.41 kWh de energía solar en energía eléctrica DC. El resto de la energía se pierde como calor en el proceso de conversión de energía solar a energía eléctrica.

Si a esto se añade que cerca de un 20% de la energía eléctrica DC que produce el panel se pierde en el proceso de convertirla en energía AC y llevarla del techo al panel de distribución eléctrico de la casa, entonces se necesitaría aproximadamente de $16 \text{ a } 18 \text{ módulos fotovoltaicos}$ para cumplir con las necesidades energéticas de una familia que consume en promedio 18 kWh diariamente.

Ahora analicemos la segunda declaración. Una manera más simple de utilizar la data de irradiación solar es utilizando las horas picos de sol diarias del lugar. Para el mismo ejemplo del panel [Conergy PE 255P de 255 vatios](#). El concepto de horas picos de sol nos dice que el panel [Conergy](#) va a suplir una potencia de 255 vatios diariamente por 5.5 horas. Con esta información podemos calcular la energía que debe producir diariamente este panel. Simplemente multiplicamos la potencia nominal de 255 W por las 5.5 horas. Esto nos da 1,402.5 Wh, cambiando el resultado a kilo-vatios-hora esto es 1.40 kWh. El resultado es bien similar al que hicimos anteriormente y no tuvimos que utilizar el dato de eficiencia del módulo fotovoltaico para nada.

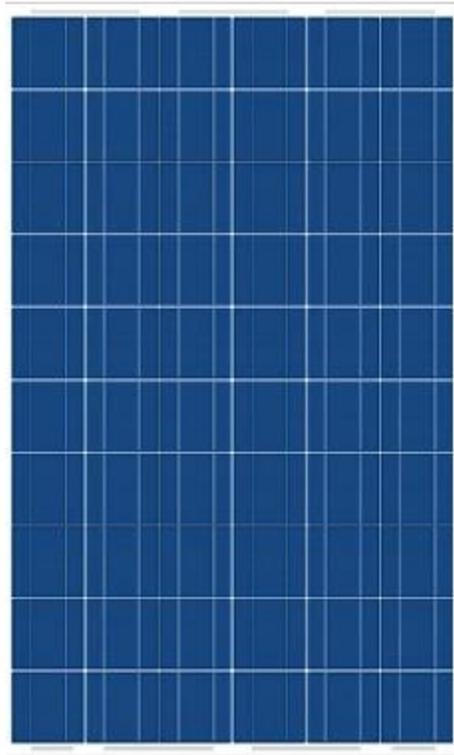
De manera similar añadiendo las pérdidas de aproximadamente 20% en el proceso de conversión de energía DC a AC y de llevar la energía del techo al panel de distribución de la casa, entonces se necesitaría aproximadamente de 16 a 18 módulos fotovoltaicos para cumplir con las necesidades energéticas de una familia que consume en promedio 18 kWh diariamente.

En resumen al concluir esta tercera parte aprendimos que:

1. Cuando se habla de irradiancia e insolación solar se refieren a la potencia que envía la luz solar en una superficie. Esta potencia se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2).
2. En promedio la irradiancia solar máxima durante un día de sol sin nubes es aproximadamente $1,000 W/m^2$.
3. Las horas pico de sol son las horas durante las cuales la irradiancia solar de un lugar es aproximadamente $1,000 W/m^2$.
4. La irradiación solar es la energía que se acumula durante un día en una superficie. Esta energía normalmente se mide en kilovatio-hora por metro cuadrado (kWh/m^2).
5. Los datos de NREL demuestran que en Puerto Rico la irradiación solar diaria promedio es $5.5 kWh/m^2$. Esto equivale a 5.5 horas pico de sol.
6. El laboratorio NREL ofrece mucha información y datos de irradiación solar y de las últimas tecnologías de sistemas fotovoltaicos.

Cuarta Parte - Componentes Principales de los Sistemas Fotovoltaicos

1) Módulos Fotovoltaicos ("**Paneles Solares**")



Módulo Policristalino



Módulo Monocristalino

Los **módulos fotovoltaicos** son el componente más importante de un sistema fotovoltaico. Los módulos o paneles convierten la energía que trae la luz del Sol (radiación solar) en energía eléctrica DC (corriente DC). Esta corriente DC se puede utilizar para cargar baterías, para energizar equipos que trabajan con corriente DC o se puede convertir en corriente AC utilizando un *inversor*. La corriente AC es la que se utiliza para energizar los enseres del hogar.

En la [segunda parte del curso](#) se explicó que la potencia de salida ($P = \text{Voltaje} \times \text{Corriente}$) de un módulo fotovoltaico va a ser afectada por:

- La intensidad de la luz del Sol. Esta afecta la corriente de salida del módulo.
- La temperatura. Esta afecta el voltaje de salida del módulo.

- Las sombras ("shading"). Siempre se debe hacer lo posible por evitarlas. Las sombras afectan adversamente la producción de energía de un panel. Afectan la corriente de salida del módulo.

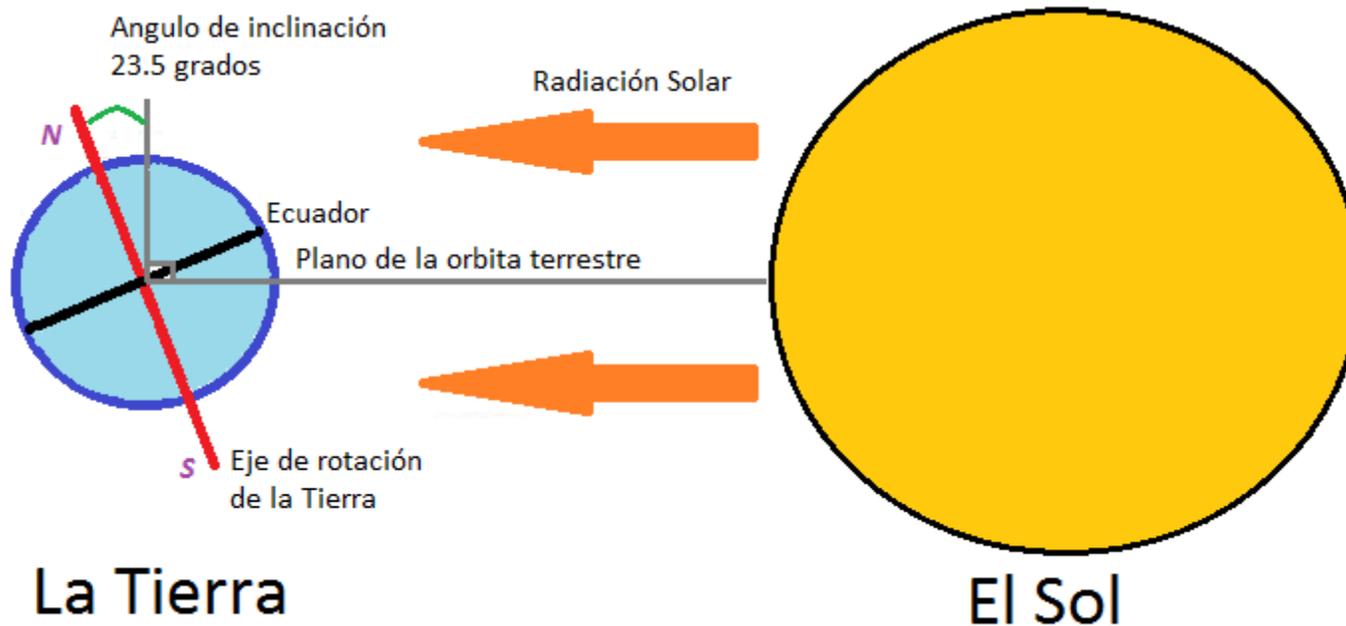
Otro factor que afecta la producción de energía de un módulo fotovoltaico es la **inclinación** que se le da al módulo. Durante los meses cercanos a los **equinoccios** (febrero, marzo, abril, agosto, septiembre y octubre) el paso del Sol está directamente en línea con el **ecuador**. Como Puerto Rico está localizado en el hemisferio norte del planeta Tierra, o sea al norte del ecuador, entonces los módulos fotovoltaicos deben ser orientados hacia el sur para que los rayos del sol les den de frente y puedan capturar la mayor cantidad de energía posible.

La regla básica es que en el *hemisferio norte los paneles solares se inclinan hacia el sur* y en el *hemisferio sur se inclinan hacia el norte*. En los lugares que quedan en la línea del ecuador los módulos se instalan con muy poca o ninguna inclinación.

La Tierra rota en su propio eje el cual tiene una inclinación aproximada de *23.5 grados*. Esta inclinación es la razón por la que el Sol aparenta salir y ponerse en diferentes puntos del horizonte durante el año:

- Durante los periodos cercanos a los **equinoccios** el Sol se ve salir exactamente del este y ponerse exactamente por el oeste.
- Durante el **solsticio de verano** el Sol se ve salir más al norte del verdadero este y ponerse más al norte del verdadero oeste. En otras palabras el Sol se ve más alto.
- Durante el **solsticio de invierno** el Sol se ve salir más al sur del verdadero este y ponerse más al sur del verdadero oeste. En otras palabras el Sol se ve más bajito. Esta situación puede causar problemas de sombra con objetos que estén frente al arreglo de paneles solares ya que las sombras tienden a extenderse más.





Debido a la inclinación de la Tierra la localización del sur verdadero no es exactamente lo que nosotros conocemos como el sur (*180 grados*). El sur que nos da una brújula o **sur magnético** no es exactamente el **sur verdadero**. A esta diferencia entre el sur verdadero y el sur magnético se le conoce como **declinación magnética**. Para Puerto Rico la declinación magnética o ángulo del acimut es aproximadamente *12 grados*. O sea que para una orientación óptima de un arreglo de paneles solares identificamos el sur con una brújula (*180 grados*) y los rotamos *12 grados al oeste*. La posición final en grados será *192 grados*.

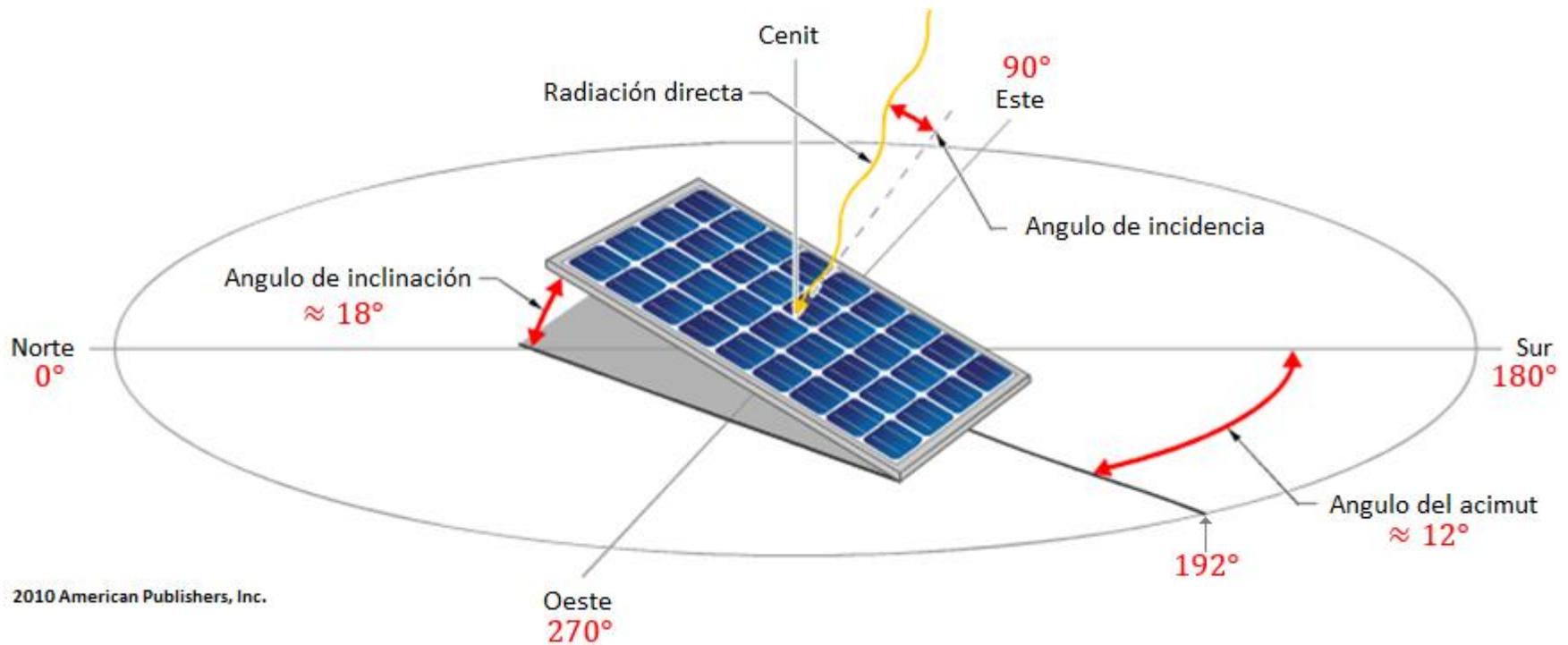




180 grados + 12 grados = 192 grados



MULTIWEB & TECHNOLOGIES CORP.
465 WEST PARK Dr. # 10, Miami, FL. 33172 | PH: 305-640-3003 | FAX: 305-396-3818
info@multiwebcorp.com www.multiwebcorp.com

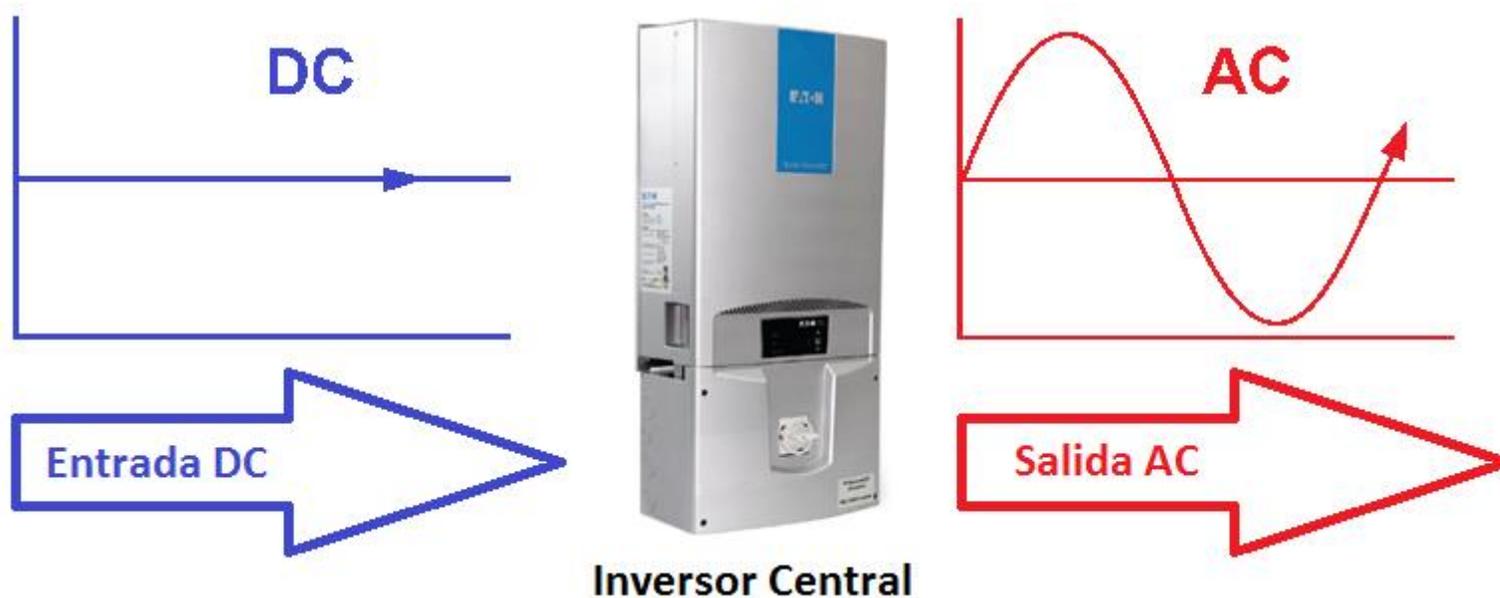


Ahora solo falta determinar cuántos grados de inclinación hay que darle a los paneles solares. La regla de dedo ("*thumb rule*") básica es que *la inclinación de los paneles tiene que ser igual a la latitud del lugar* donde se van a instalar los paneles. Por lo tanto en Puerto Rico los paneles solares deben estar inclinados *18 grados al sur*. Pero *18 grados* no necesariamente la inclinación más óptima. La inclinación óptima en realidad varía con los meses del año:

- Para los meses cercanos a los equinoccios (febrero, marzo, abril, agosto, septiembre y octubre) la inclinación más óptima es la que sea igual a la latitud del lugar. Para Puerto Rico *18 grados*.
- Para los meses cercanos al solsticio de verano (mayo, junio y julio) se recomienda recostar los paneles aproximadamente *15 grados menos*. Para Puerto Rico este ángulo de inclinación es *3 grados*.
- Para los meses cercanos al solsticio de invierno (noviembre, diciembre y enero) se recomienda inclinar los paneles aproximadamente *15 grados más*. Para Puerto Rico este ángulo de inclinación es *33 grados*.

Normalmente por razones de costo el arreglo de paneles en el techo es fijo, por lo que no es posible cambiar las inclinaciones. Además de que en Puerto Rico al estar en zona de huracanes los reglamentos exigen que los sistemas de anclaje tienen que *resistir vientos de hasta 150 millas por hora*. La aerodinámica de un arreglo de paneles con una inclinación de *18 grados* causa que estos pueden ser levantados del techo fácilmente por vientos de tal magnitud. El sistema de anclaje sería demasiado costoso para prevenir esto. Por esta razón se opta por inclinar los paneles entre *5 a 8 grados* a cambio de unas pequeñas pérdidas de energía.

2) El Inversor ("Inverter")



El **inversor** es un dispositivo que convierte la **potencia DC** que suplen los *paneles solares* o las *baterías* en **potencia AC**. La corriente AC es la que se utiliza para energizar los enseres eléctricos que utilizamos en nuestros hogares los cuales normalmente funcionan a *120 voltios* o a *240 voltios*.

Después de los paneles solares, los inversores son el componente más importante de un sistema fotovoltaico. Un inversor está construido con tecnología de semiconductores de estado sólido y de electrónica de potencia. Un sistema fotovoltaico dependiendo

su configuración puede tener un solo **inversor central** ("*string inverter*"), dos o más inversores centrales trabajando en paralelo, o múltiples **micro-inversores**.

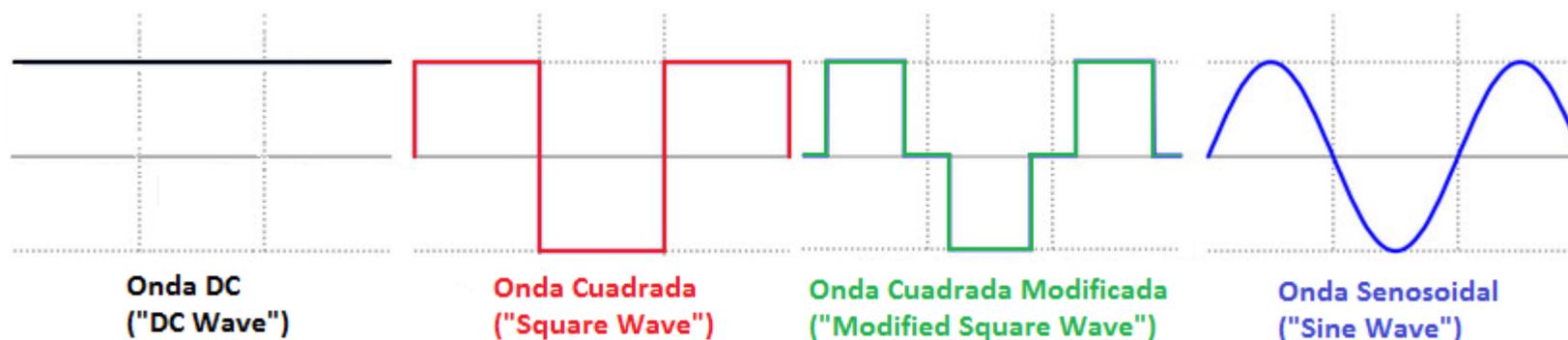


Si desea conocer más de la diferencia de un *inversor central* y un *micro-inversor* puede leer el artículo [Micro-Inversor Vs. Inversor Central](#).

Los inversores pueden producir tres tipos de onda:

- **Onda cuadrada** ("*Square Wave*") - Esta onda es solamente apropiada para operar equipos pequeños y equipos con comportamiento resistivo como las bombillas incandescentes. No tienen mucha utilidad en el mundo moderno. Producen mucha distorsión armónica la cual crea problemas en equipos que utilizan controles computadorizados. Son los inversores más económicos.
- **Onda cuadrada modificada** ("*Modified Square Wave*") - Esta onda produce menos distorsion armónica que la onda cuadrada. Con esta onda se pueden operar equipos más robustos incluyendo motores, pero pueden causar problemas en equipos que utilizan controles computadorizados.

- **Onda Senoidal** ("*Sine Wave*") - Es la onda predilecta. Los inversores de calidad producen esta onda que es prácticamente idéntica a la que produce la utilidad (*Autoridad de Energía Eléctrica*). Para los sistemas conectados a la red, el inversor tiene que ser de onda senoidal. Estos inversores son los más costosos.



Existen tres tipos de inversores:

1. **Inversor conectado a la red sin baterías** ("*Batteryless Grid-Tied Inverter*"). También conocido como "utility-interactive inverter". Este es el inversor más utilizado. Se utiliza en todos los sistemas que están conectados a la red de la AEE y no utilizan baterías. Los sistemas que utilizan estos inversores dependen de la utilidad para suplir energía durante la noche, en días nublados o cuando la demanda de energía es mayor a la energía que suple el sistema fotovoltaico. Estos inversores tienen que cumplir con los estándares *IEEE 1547*, *UL 1741* y *FCC parte 15*. Por esta razón como medida de protección cuando la utilidad no está disponible (se va la "luz" por una avería) el inversor automáticamente se desconecta y deja de trabajar. Esto significa que si la utilidad no trabaja tampoco trabaja el sistema fotovoltaico.
2. **Inversor independiente** ("*Stand-Alone Inverter*"). Se utiliza en sistemas que están completamente aislados, utilizan baterías y no se conectan a la red eléctrica de la AEE. La entrada de este inversor se conecta directamente a las baterías y la salida se conecta directamente a los equipos AC.
3. **Inversor conectado a la red con almacenamiento en baterías** ("*Grid-Tied with Battery Back-Up Inverter*"). También conocido como "*bimodal inverter*". Este inversor puede trabajar como un inversor conectado a la red y como un inversor independiente. Se utiliza en sistemas que están conectados a la red, pero también tienen baterías para almacenar energía y ser utilizada cuando el servicio eléctrico de la AEE no está disponible. Su funcionamiento es más complicado porque tienen que enviar el exceso de energía que producen los paneles a la red eléctrica, durante una avería de la AEE tienen que suplir energía al sistema de "*back-up*", y tienen que mantener cargadas las baterías del sistema.

Los inversores no son *100%* eficientes. Actualmente las eficiencias están aproximadamente entre *96%* a *97%*. Esto significa que de un *3%* a un *4%* de la energía que envían los paneles solares al inversor se pierde en el proceso de convertirla de DC a AC.

Una de las características o "*features*" que uno quiere que un inversor tenga es lo que se conoce como controlador *MPPT* ("*Maximum Power Point Tracker*"). Esto es un circuito electrónico que viene integrado dentro del inversor. Este circuito continuamente ajusta la carga que ve un módulo fotovoltaico bajo condiciones cambiantes de temperatura e irradiación solar para mantenerlo operando en su punto de *potencia máxima* ("*máximo power point*").

Los circuitos compuestos de semiconductores de estado sólido tienen una limitación de temperatura. Por esta razón las altas temperaturas afectan el rendimiento de un inversor. A temperaturas altas la eficiencia de un inversor se reduce. Si la temperatura excede los límites de diseño del inversor, él se desconecta y se apaga para protegerse. Por esta razón se recomienda que los inversores se instalen en un lugar fresco en el cual los rayos del Sol no los impacten directamente.

3) Las Baterías



En un sistema fotovoltaico la función de las **baterías** es almacenar energía en exceso que produzca el sistema. La energía que es almacenada en las baterías es utilizada durante la noche o en los periodos de muy poco sol.

Una batería almacena la energía eléctrica en forma de energía química. Cuando las cargas ("*enseres eléctricos del hogar*") necesitan la energía que esta almacenada en las baterías, esta energía química es convertida en energía eléctrica. Debido a que en una batería ocurren procesos de conversión de energía, siempre en estas conversiones se pierde energía en forma de calor. Por lo tanto las baterías no son *100%* eficientes.

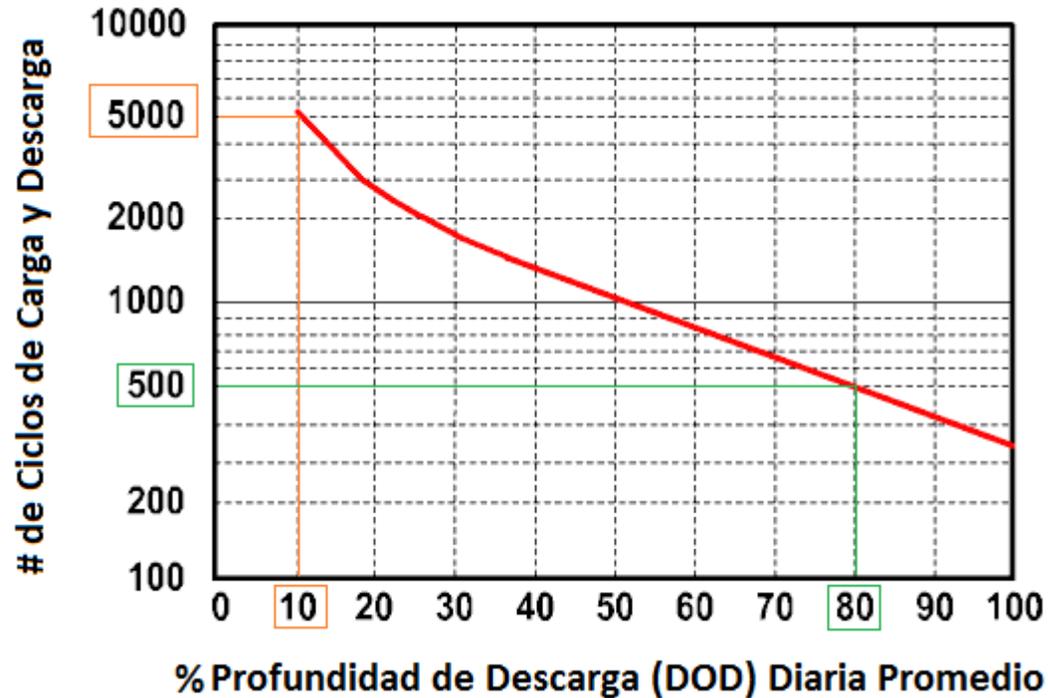
No todos los sistemas fotovoltaicos utilizan baterías. Los sistemas conectados a la red sin "*back-up*" no utilizan baterías. Estos sistemas son los más comunes y económicos.

Una de las desventajas de las baterías es que su vida útil es una fracción de la vida útil de un sistema fotovoltaico. Esto significa que durante la vida del sistema se tienen que hacer varios reemplazos de baterías, lo que eleva el costo del sistema significativamente.

Una batería, dependiendo el tipo, puede durar entre *3 a 10 años* (pueden durar más con el mantenimiento correcto). Para que una batería tenga una larga vida no se debe sobrecargar, no se debe sobre descargar y no se debe operar a temperaturas excesivamente altas. Cuando se tienen baterías se deben mantener en un lugar bajo techo que sea fresco y tenga bastante ventilación.

Cuando una batería pierde un *20%* de su capacidad original se dice que está llegando al final de su vida útil. La vida útil de una batería esta especificada en ciclos de carga y descarga. Veamos la siguiente curva.





Esta curva es un ejemplo que indica los ciclos de vida de una batería basada en los niveles de **profundidad de descarga** ("*depth of discharge (DOD)*"). El *DOD* es el nivel al que se descarga una batería. Por un ejemplo una batería que se lleva a un *DOD* de 80% se está descargando un 80%. Una batería que se lleva a un *DOD* de 10% se está descargando un 10%. Observa en la curva que cuando la batería se descarga diariamente solo un 10%, tiene una vida útil de 5,000 ciclos. Cuando la batería se descarga diariamente un 80%, tiene una vida útil de 500 ciclos. En este ejemplo la batería con un *DOD* de 10%, tiene una vida útil 10 veces mayor a la que se lleva a un *DOD* de 80%. Por lo tanto mientras menos se descarga la batería más ciclos de vida esta tiene.

Las baterías son parecidas a las batería de los carros, pero las batería para aplicaciones fotovoltaicos son lo que se conocen como ciclo profundo ("*deep-cycled*"). Este tipo de batería está diseñado para descargarse lentamente y recargarse irregularmente. Se pueden descargar hasta un 80%.

Los tipos más comunes de batería utilizados en los sistemas fotovoltaicos son:

- **Baterías de Acido-Plomo** ("*Lead Acid*"). Estas baterías vienen de distintas capacidades y son las más económicas. La desventaja es que no toleran temperaturas extremas y requieren mantenimiento. Hay dos subtipos:
 - **Batería con ventilación** ("*liquid vented*"). Este tipo de batería requiere mantenimiento. Cuando se recarga esta produce gas hidrogeno el cual ella misma ventila. Cuando esto ocurre se pierde agua dentro de la batería. Esta agua que se pierde se tiene que reponer periódicamente.
 - **Batería sellada** ("*valve regulated lead acid (VRLA)*"). Este tipo de batería no requiere mantenimiento ya que no se tiene acceso al **electrolito**(solución de ácido sulfúrico y agua). Las *baterías de gel* son un tipo de batería sellada. La desventaja de esta batería es que su vida útil es menor a la batería con ventilación.
- **Baterías Alcalinas**. Son sumamente costosas. Su ventaja es que la temperatura no las afecta como a otros tipos de batería. Se utilizan en aplicaciones comerciales e industriales donde se esperan temperaturas sumamente bajas.
 - **Batería de Níquel-Cadmio** ("*Nickel-Cadmium*").
 - **Batería de Níquel-Hierro** ("*Nickel-Iron*").

Para aplicaciones residenciales la batería que más se recomienda es la *batería de ácido-plomo liquida*.

La **capacidad** de una batería está indicada en *amperios-horas (Ah)*. Por ejemplo una batería que tiene una capacidad de *10 Ah*. Esto significa que esta batería puede suplir *10 amperios* de corriente por *1 hora*:

$$10 \text{ Ah} = 10 \text{ amperios} \times 1 \text{ hora}$$

Pero también hay otras combinaciones que nos dan el mismo resultado:

$$10 \text{ Ah} = 20 \text{ amperios} \times 0.5 \text{ hora}$$

$$10 \text{ Ah} = 5 \text{ amperios} \times 2 \text{ horas}$$

$$10 \text{ Ah} = 3.33 \text{ amperios} \times 3 \text{ horas}$$

$$10 \text{ Ah} = 2.5 \text{ amperios} \times 4 \text{ horas}$$

La capacidad nos indica que la corriente que puede suplir a su voltaje nominal en un periodo de tiempo. El voltaje nominal típico de una batería para un sistema fotovoltaico es *12 voltios*.

Las baterías se conectan en lo que llamamos **bancos de baterías**.

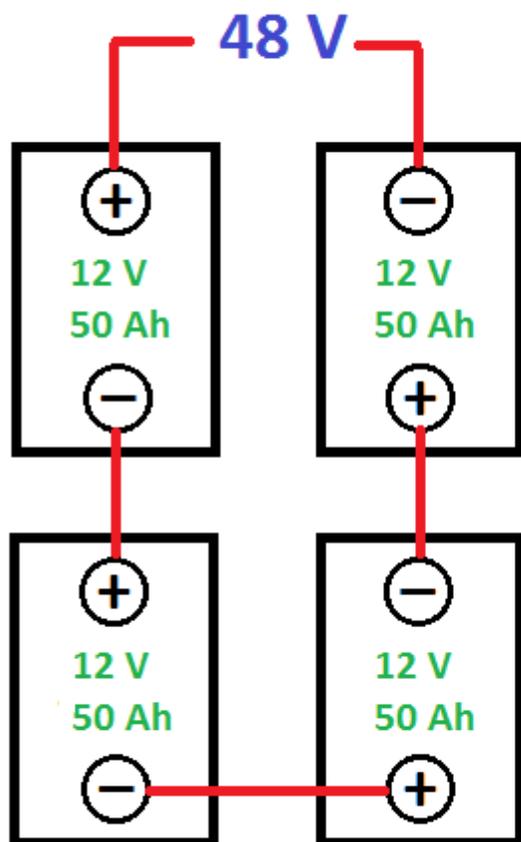


En un banco las baterías se conectan en **serie** y en **paralelo** para obtener un *voltaje* y una capacidad en *amperios-hora* deseados.

- La conexión en *serie* se utiliza para aumentar el valor del *voltaje* de salida del banco. Si se conectan 2 *baterías* de 12 V en serie la salida del banco es de 24 V. Si se conectan 4 *baterías* de 12 V en serie la salida del banco es de 48 V.

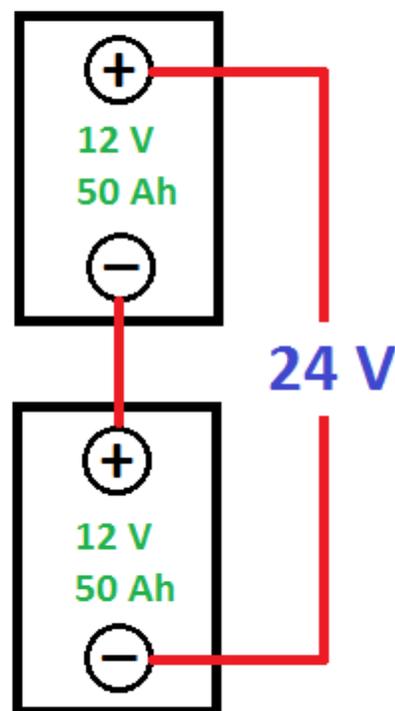
Conexiones en Serie

Banco #1



Voltaje: 48 V
Capacidad: 50 Ah

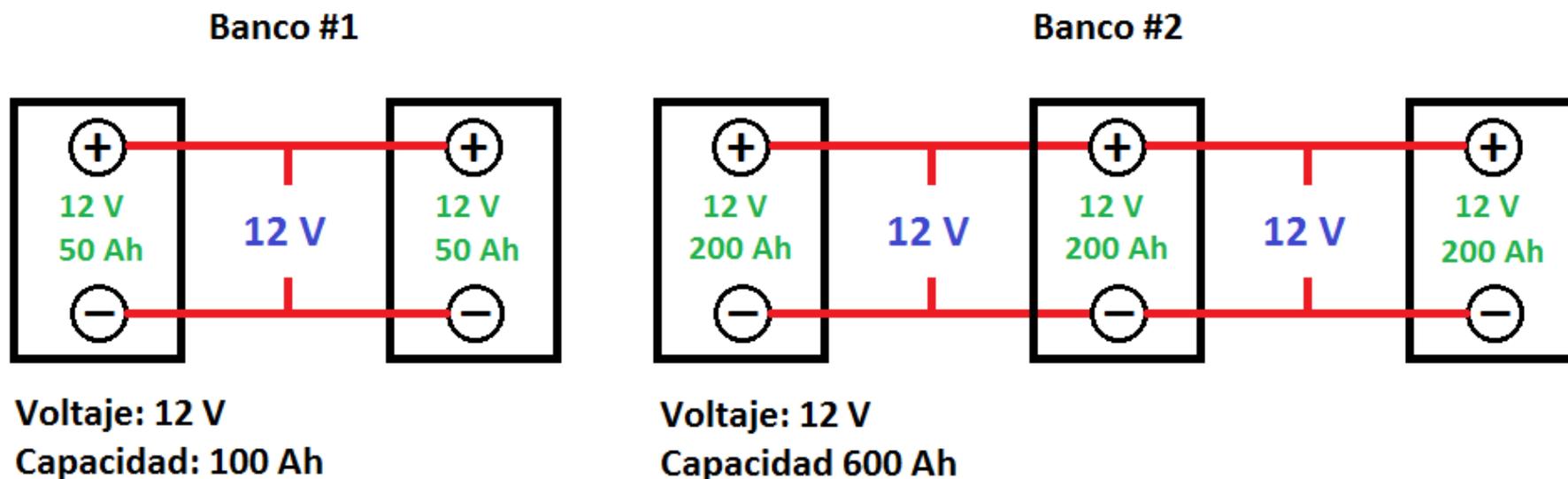
Banco #2



Voltaje: 24 V
Capacidad: 50 Ah

- La conexión de *paralelo* se utiliza para aumentar la capacidad en *amperios-hora* del banco. Si se conectan 2 *baterías* con una capacidad de 50 Ah en paralelo la capacidad del banco será de 100 Ah. Si se conectan 3 *baterías* de 200 Ah en paralelo la capacidad del banco será de 600 Ah.

Conexiones en Paralelo



4) El Controlador de Carga ("Charge Controller")



El **controlador de carga** es el corazón de los sistemas fotovoltaicos que utilizan baterías. El controlador de carga controla como se cargan las baterías regulando el voltaje y la corriente DC que proviene del arreglo de módulos fotovoltaicos ("*paneles solares*").

Las funciones principales de un controlador de carga son:

1. Monitorear constantemente el estado de carga de las baterías y cargar las baterías. Cuando las baterías están completamente cargadas reduce o detiene el flujo de corriente desde los paneles solares hacia las baterías.
2. Proteger las baterías de ser sobre cargadas ("*overcharge*"). Si la batería es sobrecargada su capacidad se va a ir reduciendo y va a fallar prematuramente.
3. Proteger las baterías de ser sobre descargadas ("*overdischarge*"). Cuando el voltaje de las baterías es muy bajo, lo que indica que también su nivel de carga es bajo, el controlador desconecta automáticamente los equipos ("*loads*"). Una batería que es sobre descargada puede sufrir daños que disminuyen su vida útil.
4. Otras funciones incluyen:
 - Proveer información del status de carga de las baterías. Encender alarmas en caso de que el nivel de voltaje de las batería este muy bajo.
 - Encender un generador de "*back-up*" cuando el nivel de carga de las baterías este muy bajo.

- Monitorear la temperatura de las baterías.

Hay **inversores** que hacen también la función de un controlador de carga. A este tipo de inversor se le conoce como un *"solar power conditioning unit"* o un *"inverter/charger"*.





"Power Conditioning Unit" o "Inverter/Charger"

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica sin baterías ("sin back-up") no utilizan controlador de carga.

5) Otros Componentes ("**Sistema de Equilibrio**")

El **sistema de equilibrio** ("*balance-of-system (BOS)*") es el grupo de componentes, aparte de los componentes principales ya mencionados, que se necesitan para completar un sistema fotovoltaico.

Este grupo de componentes se divide en dos categorías:

- **Componentes Mecánicos:**

- El **sistema de anclaje**. Este es la parte mecánica y estructural de un sistema fotovoltaico. Los *paneles solares* se instalan sobre unos rieles que son parte de este sistema. Es de suma importancia tener un buen sistema de anclaje ya que esto es lo que garantiza que durante un evento climático de vientos fuertes los paneles solares que están instalados en el techo de su propiedad no se los lleve el viento. En Puerto Rico un sistema fotovoltaico debe ser resistente a vientos de *150 millas por hora*.
- La **tornillería**. Toda la tornillería debe de ser de galvanizada o en "*stainless steel*".

- **Componentes Eléctricos:**

- Los **conductores** y la **cablería eléctrica**. Debe cumplir con el código eléctrico nacional. Debe tener protección contra los rayos ultra violetas.
- Los **conductos** y las **cajas de empalme** ("*junction boxes*"). Todo conducto utilizado para llevar la cablería eléctrica debe ser apropiado para uso exterior y exposición directa al Sol.
- Los **desconectivos** y la **protección contra sobrecorriente**. Los desconectivos ("*safety switches*") deben ser del tipo *NEMA 3R* si se van a instalar en el exterior. La protección contra sobrecorriente pueden ser *fusibles* o "*breakers*". Esta protección debe ser bien diseñada para evitar interrupciones innecesarias.
- El **sistema de "grounding"**. Sistema de mucha importancia. Se debe cumplir con el artículo 250 del código eléctrico nacional. El "*grounding*" provee:
 - Estabilidad eléctrica al sistema fotovoltaico.
 - Permite que el sistema de protección contra sobrecorriente ("*breakers*") trabaje correctamente.
 - Provee seguridad a los usuarios y personal encargado de dar mantenimiento al sistema fotovoltaico.
- El **sistema de monitoreo de energía**. Este sistema es opcional, pero se recomienda tener uno. El monitoreo de energía le indica al usuario si el sistema fotovoltaico está trabajando eficientemente y si hay algún problema de producción de energía.

En esta sección discutimos los componentes principales de los sistemas fotovoltaicos:

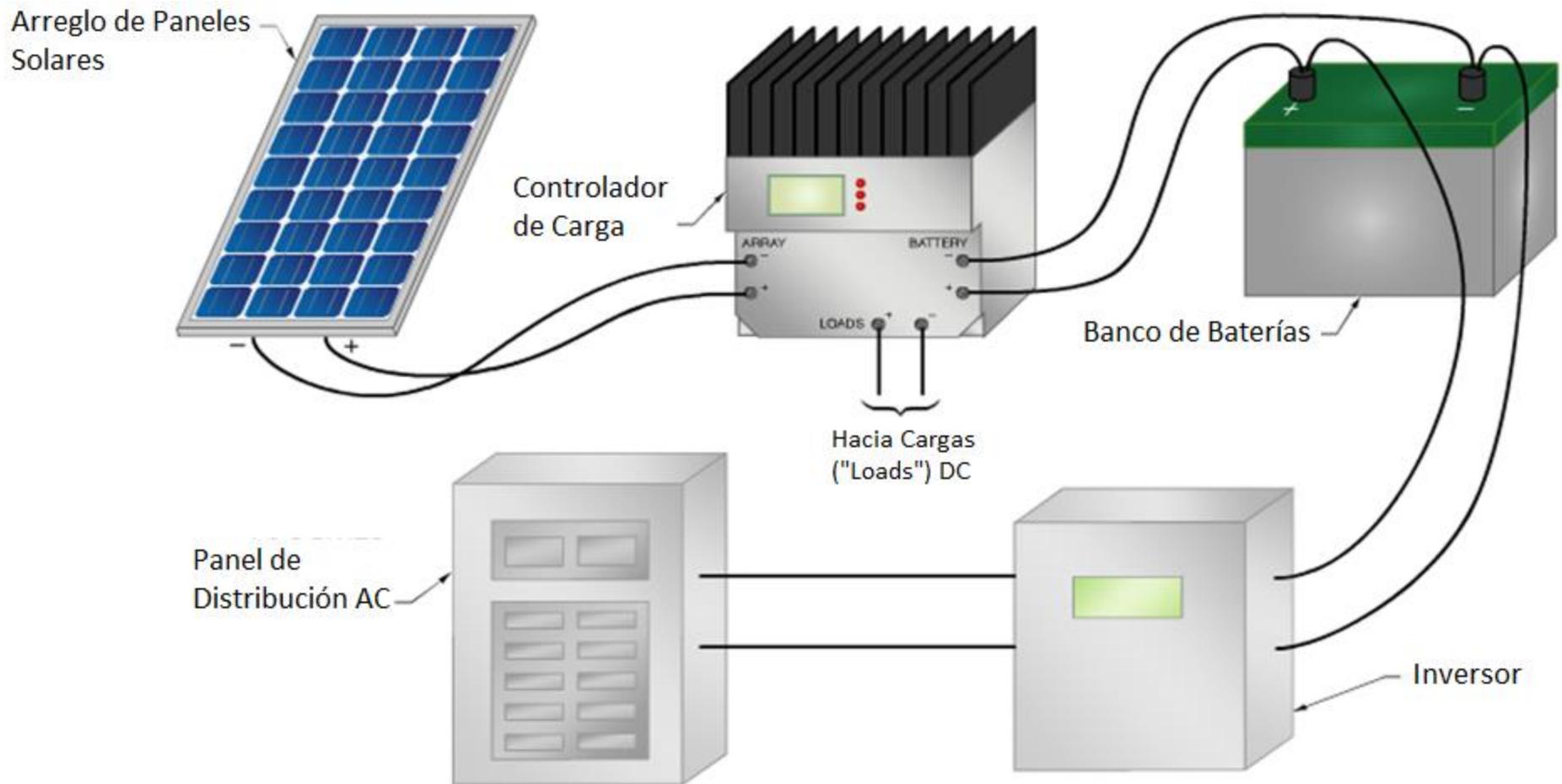
1. Los módulos fotovoltaicos ("*paneles solares*"). Convierten la energía de la luz solar en *energía eléctrica DC*.
2. El inversor ("*inverter*"). Convierte la *energía eléctrica DC* en *energía eléctrica AC*.
3. El banco de baterías. Almacena el exceso de energía que producen los *paneles solares*. **No todos los sistemas fotovoltaicos tienen baterías.**
4. El controlador de carga. Se necesita solamente en sistemas que tienen baterías. Mantiene las baterías cargadas y evita que estas se carguen o descarguen excesivamente.
5. El sistema de equilibrio. Lo componen el resto de los componentes eléctricos (*cablería, conductos, desconectivos, fusibles, "breakers"*) y mecánicos (*sistemas de anclaje, tornillería*) necesarios para poder instalar un sistema fotovoltaico.



Quinta Parte - Configuraciones Básicas de los Sistemas Fotovoltaicos

1) Sistema Fotovoltaico Totalmente Aislado de la Red Eléctrica ("*Stand-Alone*")





2010 American Publishers, Inc.

Sistema "Stand Alone (Off-Grid)"

Cuando hablamos de instalar "paneles solares" en nuestro hogar o negocio, el **sistema fotovoltaico "stand-alone"** es el que todos soñamos tener. Este sistema esta desconectado totalmente de la red eléctrica de la *Autoridad de Energía Eléctrica (AEE)*. O sea que si usted instala un sistema "stand-alone" en su propiedad usted va a producir su propia energía independizándose totalmente de la AEE.

Un sistema *"stand-alone"* bien diseñado le debe cubrir sus necesidades energéticas las 24 horas los 365 días del año. El sistema *"stand-alone"* requiere un banco de baterías para almacenar energía, un controlador de carga y un inversor del tipo *"stand-alone"*. Muchos usuarios de sistemas *"stand-alone"* dividen los equipos (cargas) de su hogar en cargas AC y cargas DC. Cuando se tiene este tipo de sistema se trata de tener la mayor cantidad posible de cargas DC. La ventaja de tener cargas DC es que la energía que producen los módulos fotovoltaicos (*"paneles solares"*) no tiene que ser transformada en energía AC. Recordando que los inversores no son 100% eficientes, esto evita pérdidas de energías durante el proceso de conversión de DC a AC. La desventaja de los equipos DC es que no son la norma en el mercado, por lo tanto son más difíciles de conseguir (solamente se consiguen en tiendas especializadas) y tienden a ser más costosos que su equivalente en AC.

Un ejemplo de equipos o cargas que se pueden adquirir en DC son la iluminación (lámparas y bombillas) y la nevera. Existen neveras de alta eficiencia que trabajan con voltaje DC y vienen diseñadas para instalarse en lugares que se energizan con sistemas fotovoltaicos *"stand-alone"*. El problema es que esta nevera no la vas a conseguir ni en Sears, ni en Wal-Mart, ni en Home-Depot.

El sistema *"stand-alone"* requiere de un banco de baterías para almacenar la energía que se utiliza durante la noche y en los días nublados. Dependiendo el consumo de energía del usuario es que va a ser el tamaño del banco de baterías. Otro factor que afecta el tamaño del banco es la cantidad de energía que se desea almacenar para los casos en que ocurran varios días nublados consecutivos. ¿Se quiere almacenar energía para un día, para dos o para tres? Mientras más días de resguardo, más grande el banco de baterías y más alto el costo.

Hay controladores de carga de sistemas *"stand-alone"* que están diseñados para conectarle una turbina de viento o aerogenerador. Este sistema ofrece la flexibilidad que la energía eólica (viento) contribuya a cargar las baterías del sistema durante los momentos que haya poco o ningún sol.

El sistema fotovoltaico *"stand-alone"* es muy costoso. Por esta razón no es un sistema muy recomendado. Si usted consume muy poca energía eléctrica o si usted vive en un lugar remoto donde no hay infraestructura eléctrica (como una aldea en un lugar remoto en Africa, las Amazonas o el Polo Norte) pues en este caso sí que es recomendable un sistema *"stand-alone"*. De lo contrario hay otras dos opciones mejores que vamos a discutir próximamente.

Ventajas

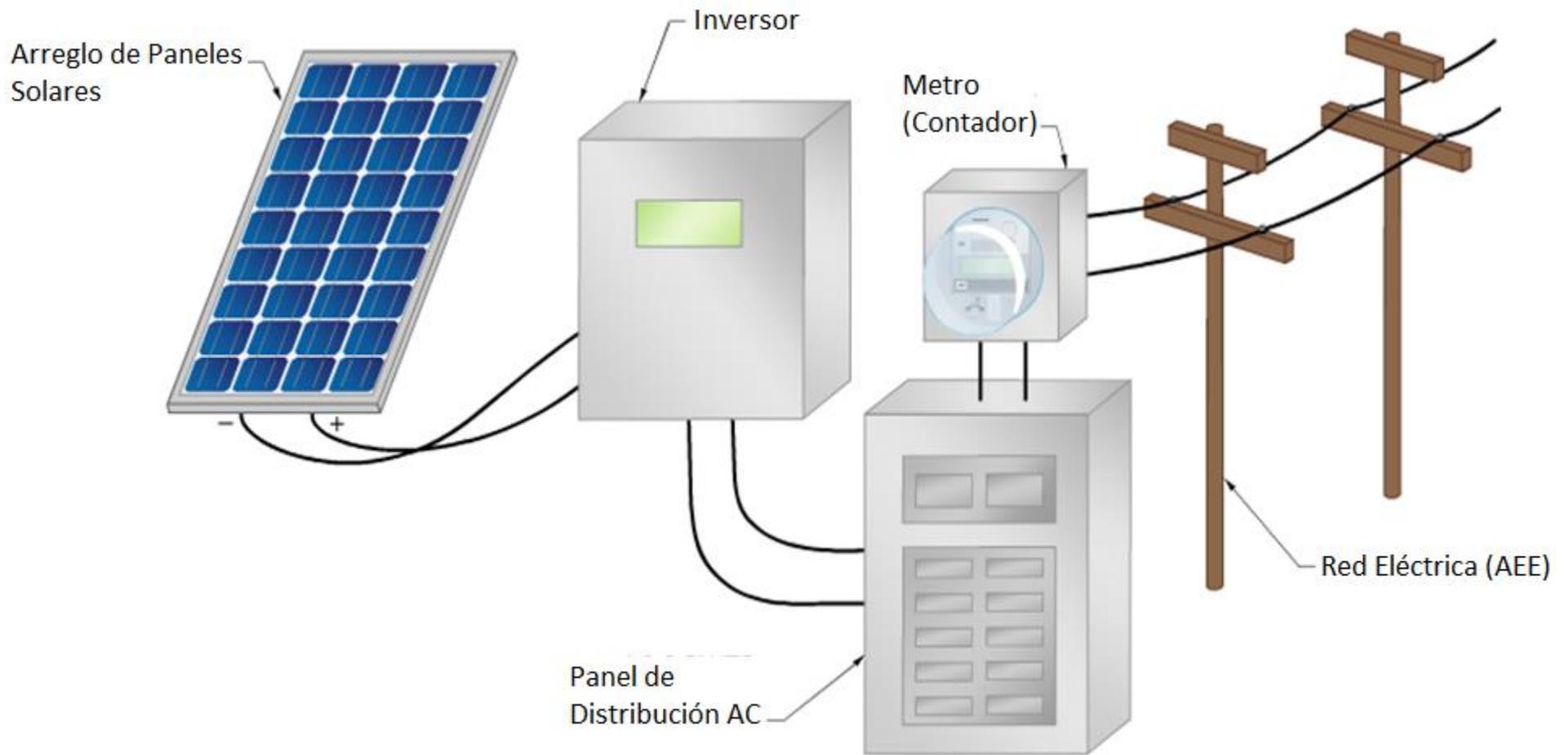
- Produces tu propia energía y no dependes de las fluctuaciones del mercado en los costos de combustible.
- Estas totalmente independizado de la Autoridad de Energía Eléctrica.
- En el proceso de permisos no necesitas el endoso de la AEE.
- Produces energía limpia.
- Si tu sistema está bien diseñado y le das el mantenimiento correcto siempre vas a tener energía eléctrica.

Desventajas

- Estos sistemas tienen bancos de batería grandes por lo que son muy costosos.
 - Si se le añade un aerogenerador los costos de mantenimiento aumentan considerablemente.
 - Los bancos de batería requieren mantenimiento y no su vida útil no es muy larga.
 - Si utilizas enseres eléctricos *DC* vas a tener una limitación en las variedades que hay disponible en el mercado.
-

2) Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica sin Baterías ("*Batteryless Grid-Tied*")





2010 American Publishers, Inc.

Sistema "Grid-Tied"

A este sistema fotovoltaico lo conocemos como "**grid-tied**". Es el sistema que más se instala en *Puerto Rico* y en el Mundo entero. La diferencia principal entre un sistema "*grid-tied*" y uno "*stand-alone*" es que el "*grid-tied*" no tiene baterías y está conectado a la red eléctrica de la *AEE*. En el sistema "*grid-tied*" todavía queda algo de dependencia de la *AEE*.

El sistema *"grid-tied"* utiliza la red eléctrica de la *AEE* para almacenar energía utilizando un concepto que se conoce como **medición neta** (*"net metering"*). En la [medición neta](#) durante las horas de sol el sistema fotovoltaico supe en todo o en parte el consumo de energía del cliente y el exceso de energía, si alguno, se exporta al sistema eléctrico de la *AEE*. El cliente recibe un crédito cuando el sistema exporta energía a la red eléctrica de la *AEE*. En las noches o días nublados cuando el sistema fotovoltaico produce poca o ninguna energía entonces la *AEE* te supe la energía que tú necesitas y ya tienes previamente acreditada. El **contador** (metro eléctrico) está diseñado para medir la energía que le exportamos a la *AEE* y la energía que ellos nos importan. Si el sistema está bien diseñado el efecto neto debe ser que la energía que nosotros le exportemos a la *AEE* sea prácticamente igual a la energía que importemos de ellos. Al final del mes la factura de la *AEE* solo debe reflejar un cargo base de unos pocos dólares.

La composición de este sistema es bastante sencilla ya que comparado con el *"stand-alone"* no necesita banco de baterías ni controlador de carga. El inversor es del tipo *"grid-tied"* o *"utility-interactive"*. Tampoco se necesita tener equipos *DC* en este sistema para mejorar la eficiencia. La instalación es bastante sencilla comparado con las otras dos configuraciones. Estos factores hacen que los sistemas fotovoltaicos *"grid-tied"* sean los más económicos y recomendados.

La gran desventaja de este sistema es que por reglamentos de seguridad el inversor *"grid-tied"* tiene que cumplir con los estándares *IEEE 1547* y *UL 1741*. Por esta razón como medida de protección cuando la utilidad (*AEE*) no está disponible (se va la *"luz"* por una avería) el inversor automáticamente se desconecta y deja de trabajar. Estos significan que si la *AEE* no trabaja tampoco trabaja el sistema fotovoltaico.

Ventajas

- Si el sistema está bien diseñado produces aproximadamente el *100%* de la energía que vas a utilizar.
- No necesitas tener ningún almacenamiento de energía (banco de baterías). La red eléctrica de la *AEE* almacena la energía que produces en exceso (medición neta).
- Es el sistema más económico y fácil de instalar.
- Produces energía limpia.
- El mantenimiento de este sistema es bien mínimo.
- Tiene una larga vida útil.

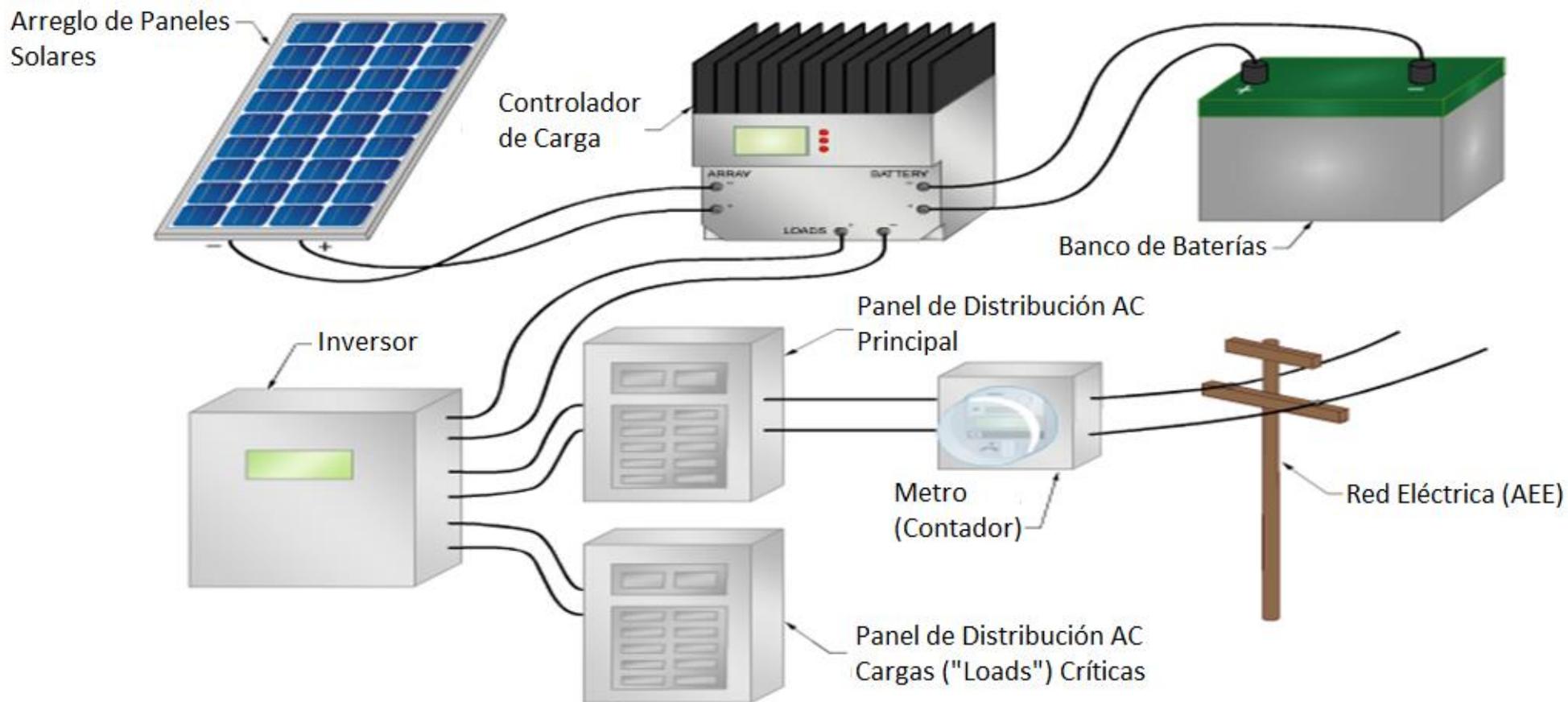
Desventajas

- Estas parcialmente independizado de la *Autoridad de Energía Eléctrica*.

- En el proceso de permisos necesitas el endoso de la *AEE*. Esto significa que si en el lugar donde vas a instalar el sistema la *AEE* determina que hay un exceso de sistemas fotovoltaicos instalados, te pueden prohibir instalar tu sistema.
 - Si se va la "luz" de la *AEE*, aunque sea de día el sistema fotovoltaico va a dejar de producir energía.
-

3) Sistema Fotovoltaico Bimodal (*"Grid-Tied with Battery Backup"*)





Sistema Bimodal

2010 American Publishers, Inc.

El **sistema fotovoltaico *bimodal*** es una combinación del sistema *"grid-tied"* con el sistema *"stand-alone"*. Este sistema almacena energía en un banco de baterías y también puede exportar el exceso de energía a la red eléctrica de la AEE.

Este sistema se beneficia de la medición neta. Mientras la utilidad (AEE) esté trabajando este sistema opera similar a uno *"grid-tied"*. La diferencia ocurre en caso de que ocurra una falla en la AEE y se vaya la "luz" (servicio de energía eléctrica). En este caso el sistema fotovoltaico no va a dejar de operar. Las baterías van a mantener el inversor trabajando. Este inversor es uno conocido

como *bimodal*. El inversor va a seguir enviando energía, pero a lo que se conoce como un **panel de cargas críticas ("critical loads")**. A este panel se conectan los equipos que nosotros deseamos que se mantengan operando en caso de una avería en la AEE. Normalmente son equipos que no consuman mucha energía como varias bombillas y varios receptáculos, y adicional a estos la nevera. En otras palabras esto es un sistema de "*back-up*" de emergencias. Si el cliente desea en un sistema de "*back-up*" se pueden incluir aires acondicionados, pero esto significa que el banco de baterías tiene que ser más grande lo que es igual a más costoso.

Este sistema es más costoso que un sistema "*grid-tied*", pero normalmente es mucho más económico que uno "*stand-alone*". El tener un banco de baterías, aunque sea pequeño, añade unas tareas de mantenimiento que no existen en los sistemas "*grid-tied*". La complejidad de este sistema es en la instalación donde hay que dividir las cargas (enseres o equipos) en dos paneles eléctricos distintos. Esto puede ser una tarea bastante compleja.

Ventajas

- Si el sistema está bien diseñado produces aproximadamente el 100% de la energía que vas a utilizar.
- Te puedes beneficiar de la medición neta.
- Produces energía limpia.
- Si se va la "luz" de la AEE no te quedas completamente sin energía eléctrica.

Desventajas

- Estas parcialmente independizado de la *Autoridad de Energía Eléctrica*.
- En el proceso de permisos necesitas el endoso de la AEE. Esto significa que si en el lugar donde vas a instalar el sistema la AEE determina que hay un exceso de sistemas fotovoltaicos instalados, te pueden prohibir instalar tu sistema.
- Los bancos de batería requieren mantenimiento y su vida útil no es muy larga.
- El diseño y la instalación es complicada, lo que aumenta su costo.

En esta sección discutimos las configuraciones básicas de los sistemas fotovoltaicos:

1. Sistema Fotovoltaico Totalmente Aislado de la Red Eléctrica ("*Stand-Alone*"). Este sistema utiliza baterías para almacenar energía. No es muy recomendado debido a su alto costo.

2. Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica sin Baterías ("*Batteryless Grid-Tied*"). Este es el sistema que más se utiliza y también es el más económico. La desventaja de este sistema es que no ofrece ningún tipo de "*back-up*" si la utilidad (AEE) falla.
3. Sistema Fotovoltaico Bimodal ("*Grid-Tied with Battery Backup*"). Es una combinación del sistema "*stand-alone*" y el "*grid-tied*". Ofrece "*back-up*" en caso de una falla en la utilidad (AEE).



Referencias

Si desea aprender más de los sistemas fotovoltaicos le recomendamos las siguientes referencias:

Libros

- James P. Dunlop, 2009. *Photovoltaic Systems*. 2nd Edition. American Technical Publishers.
- *Photovoltaics: Design and Installation Manual* 2004, Solar Energy International and New Society Publishers, Canada.

Websites

- [National Renewable Energy Laboratory \(NREL\): Photovoltaics Research](#)
- [Autoridad de Energía Eléctrica: Interconexión de Generadores Distribuidos \(GDs\) y Medición Neta](#)
- [Fondo de Energía Verde: Información de Incentivos](#)



En este curso se discutieron los conceptos básicos de la electricidad y del funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos. En el pasado los sistemas fotovoltaicos eran considerados una tecnología exótica, pero hoy en día son una de las tecnologías del momento ("mainstream"). Por esta razón es importante aprender de ellos. Esperamos que al completar este curso usted se sienta más cómodo y preparado para tomar la decisión de adquirir su propio sistema fotovoltaico.

Si quiere aprender un poco más le sugerimos que visite los enlaces bajo la sección de **Mas Información:**

- [Mitos y Realidades de los Sistemas Fotovoltaicos](#)
- [Componentes Principales de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red \("Grid-Tied"\)](#)
- [Micro-Inversor vs Inversor Central](#)

También en la sección de **Primeros Pasos** le proveemos una calculadora y le explicamos cómo [calcular el tamaño de un sistema fotovoltaico "grid-tied"](#) para su hogar o negocio. Si desea realizar un [análisis económico](#) también lo puede realizar en esta sección.

Si desea más información o cotizaciones para un sistema nos puede contactar por e-mail a:

info@multiwebcorp.com

También puede llenar nuestra forma de contacto:

Atentamente

