

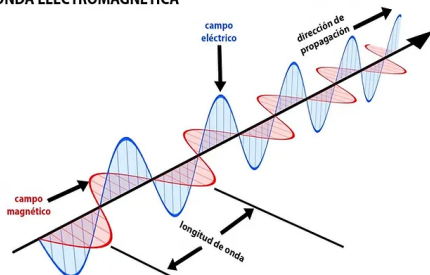
Generación Eléctrica con Energías Renovables

Tema 3: GE con energía solar

Radiación electromagnética

- La radiación electromagnética es un tipo de campo electromagnético variable que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.
- Se compone de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a la velocidad de la luz.
- La radiación electromagnética puede propagarse a través del vacío, sin la necesidad de un medio material.

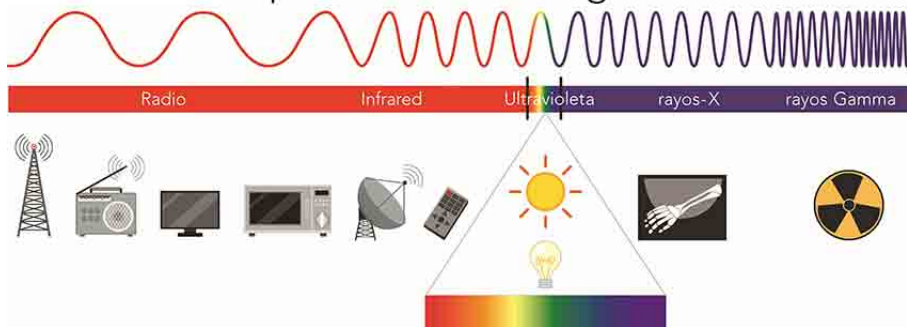
ONDA ELECTROMAGNÉTICA



Radiación electromagnética

- La radiación de tipo electromagnético puede manifestarse de diversas maneras, como ondas de radio (baja frecuencia), microondas, radiación infrarroja, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X y rayos gamma (alta frecuencia).

Espectro Electromagnetico



Radiación Ionizante:

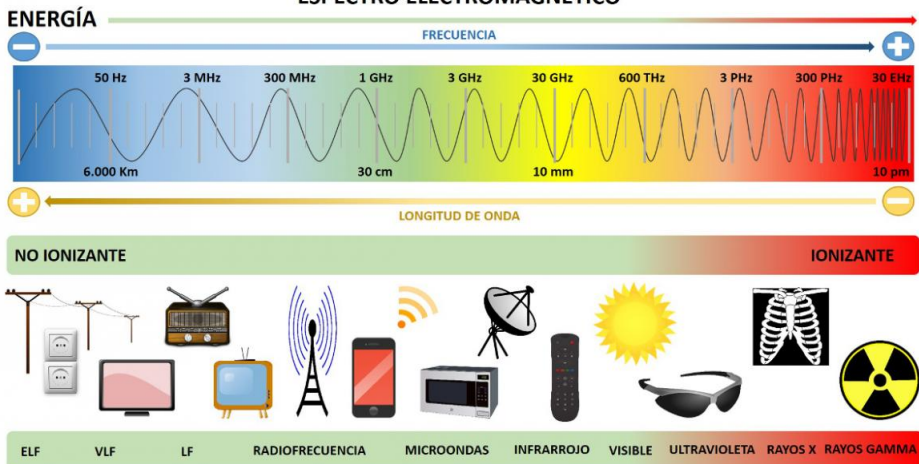
- Alta energía: Capaz de ionizar átomos y moléculas.
- Uso en medicina para imágenes de rayos X y radioterapia.
- Inspección y control de calidad en la industria.
- Datación de fósiles y materiales arqueológicos.
- Aplicaciones en investigaciones nucleares y de partículas.

Radiación No Ionizante:

- Baja energía: No capaz de ionizar átomos y moléculas.
- Telecomunicaciones y tecnologías inalámbricas.
- Tecnología de microondas para cocción y comunicaciones.
- Aplicaciones de luz visible en iluminación y tecnología de pantallas.
- Uso de infrarrojos en control remoto y visión nocturna.

Radiación electromagnética

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



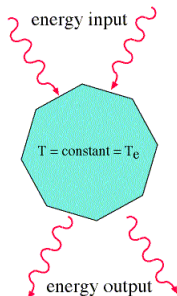
ELF: Extremadamente baja frecuencia. VLF: Muy baja frecuencia. LF: Baja frecuencia

Radiación electromagnética

- La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos puntos idénticos en una onda, medida en metros.
- La frecuencia (ν) es el número de oscilaciones que una onda completa en un segundo, medida en Hertz (Hz).
- La velocidad de la luz (c) en el vacío es $3 \cdot 10^8$ m/s.
- La relación entre la longitud de onda, la frecuencia y la velocidad de la luz está dada por la fórmula: $\lambda\nu = c$.
- A medida que la longitud de onda disminuye, la frecuencia aumenta y viceversa, manteniendo constante la velocidad de la luz.
- La energía (E) de un fotón de radiación electromagnética se calcula con la ecuación de Planck-Einstein: $E = h\nu$.
- La constante de Planck (h) en el SI es $6,62 \times 10^{-34}$ J.s.

Radiación electromagnética

- Todo cuerpo, por el hecho de estar a una cierta temperatura, emite continuamente radiación electromagnética. Por tanto, pierde continuamente energía y, su temperatura tiende a bajar.
- La superficie del cuerpo está recibiendo radiaciones procedentes de cuerpos de su alrededor. Se establece entonces un balance energético de emisión-absorción que tiende a alcanzar un estado de equilibrio.
- En el estado de equilibrio la energía que absorbe es igual a la que emite y, por tanto, la temperatura permanece invariable.



- La irradiancia (I) se refiere a la cantidad de potencia radiante por unidad de área incidente en una superficie. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Matemáticamente, se define como:

$$I(t) = \frac{P(t)}{A}$$

- La irradiación (H) se refiere a la cantidad total de energía radiante recibida por una superficie durante un período de tiempo específico. Se expresa en julios por metro cuadrado (J/m^2). Se puede calcular como el área bajo la curva de irradiancia en función del tiempo:

$$H = \int I(t) dt$$

Radiación electromagnética

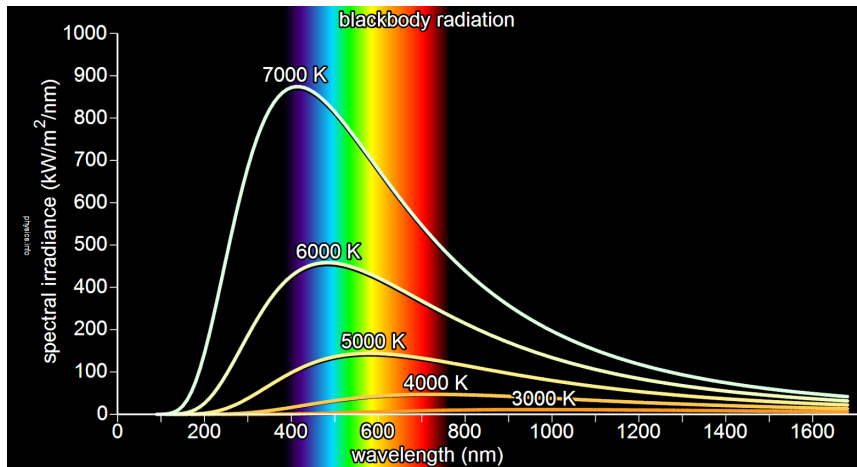
- Un cuerpo negro es un objeto ideal que absorbe toda la radiación electromagnética incidente sobre él y no refleja ni transmite ninguna radiación, lo que le da su apariencia completamente negra.
- La radiación emitida por un cuerpo negro sigue una distribución espectral conocida como la ley de Planck (cantidad de radiación en función de la longitud de onda y la temperatura del cuerpo negro).
- La ley de Planck describe la emisión espectral de un cuerpo negro y se expresa mediante la fórmula:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

Donde:

- $B(\lambda, T)$ es la densidad espectral de potencia de la radiación.
- h es la constante de Planck, $6,62607015 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}$.
- c es la velocidad de la luz, $2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$.
- k es la constante de Boltzmann, $1,380649 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}^2 \text{ K}$.
- λ es la longitud de onda de la radiación emitida.
- T es la temperatura absoluta del cuerpo en Kelvin.

Radiación electromagnética



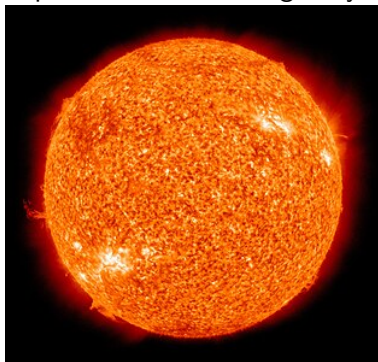
- La ley de Stefan-Boltzmann relaciona la potencia total emitida por un cuerpo negro con su temperatura absoluta (T). Se expresa como:

$$P = \sigma AT^4$$

- P es la potencia total emitida en vatios (W).
 - σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ W/m²K).
 - A es el área de la superficie en metros cuadrados (m²).
 - T es la temperatura absoluta en kelvin (K).
- Para un cuerpo que no es un cuerpo negro, la ley de Stefan-Boltzmann se modifica para tener en cuenta la emisividad (ϵ) del material, que varía entre 0 y 1 (emisor perfecto).
 - Esta ley no es más que la integración de la distribución de Planck a lo largo de todas las longitudes de onda del espectro de frecuencias.

Radiación electromagnética

- El Sol es una estrella de tipo espectral G2V, que se encuentra en el centro de nuestro sistema solar.
- Diámetro: 1.39 millones de kilómetros.
- Masa: 1.989×10^{30} kilogramos.
- Distancia promedio a la Tierra: 149.6 millones de kilómetros.
- Temperatura superficial: alrededor de 5,500 grados Celsius.
- Composición: 75 % hidrógeno y 25 % helio.

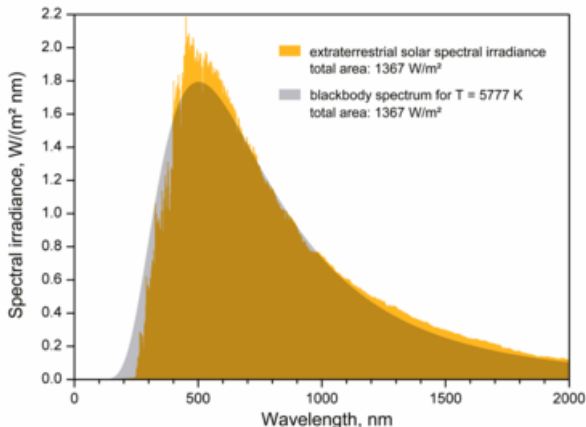


Radiación electromagnética

- La radiación solar es la energía electromagnética emitida por el Sol en forma de radiación.
- La radiación solar extraterrestre se refiere a la cantidad de radiación solar que se recibiría en el espacio exterior de la atmósfera de la Tierra si no hubiera atenuación atmosférica.
- La irradiación es la cantidad total de energía solar recibida por una unidad de superficie en un período de tiempo específico y se ve afectada por diversos factores atmosféricos, incluidos la absorción, la dispersión y la reflexión.
- La unidad típica es W/m^2 .

Radiación electromagnética

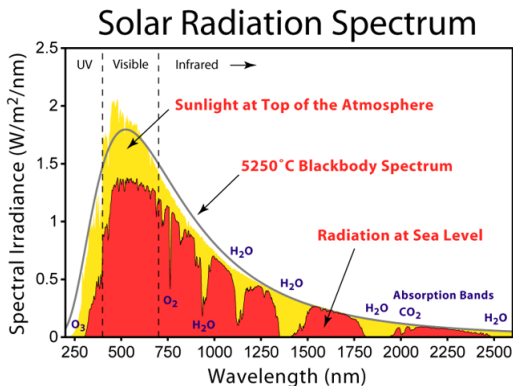
Comparación entre la irradiación de la fotosfera solar (amarillo) y la curva teórica de emisión de un cuerpo negro (en gris) a 5777 K, la temperatura estimada para la fotosfera solar.



- La energía total emitida por el sol es prácticamente constante (variaciones $< 1\%$).
- Se estima utilizando un modelo de cuerpo negro a 5.777 K:
 - Radiación solar: 63 MW/m² (sobre su superficie)
 - Radiación solar extraterrestre: 1.366 W/m²
 - Radiación solar extraterrestre a partir de mediciones experimentales: 1.353 W/m²

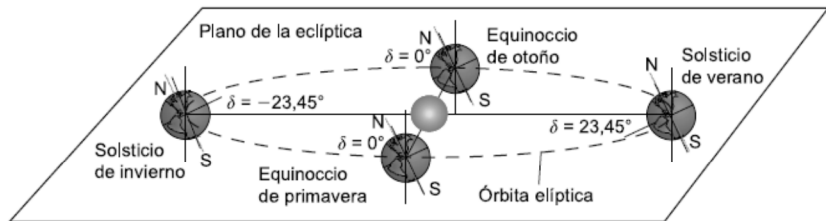
Radiación electromagnética

- La radiación solar al nivel del mar abarca una amplia gama de longitudes de onda.
- A nivel del mar, la atmósfera terrestre filtra parte de la radiación solar de alta energía, como los rayos UV, y permite el paso de longitudes de onda más largas, como la radiación infrarroja, lo que contribuye al calentamiento de la superficie terrestre.



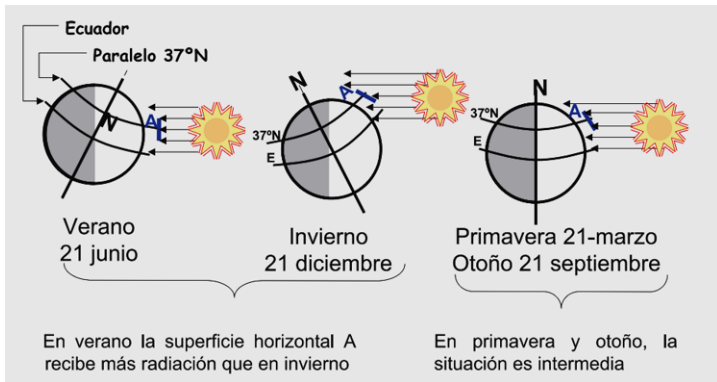
Radiación electromagnética

- El movimiento de traslación define las estaciones y el de rotación las horas del día.
- El eje polar forma $23,45^\circ$ con el plano Sol-Tierra.
- La declinación solar es el ángulo que forma la línea Sol-Tierra con el plano ecuatorial.



Radiación electromagnética

La radiación solar varía con la estación del año debido a la inclinación cambiante del eje de la Tierra, lo que afecta la duración e intensidad de la radiación solar recibida en la superficie terrestre.

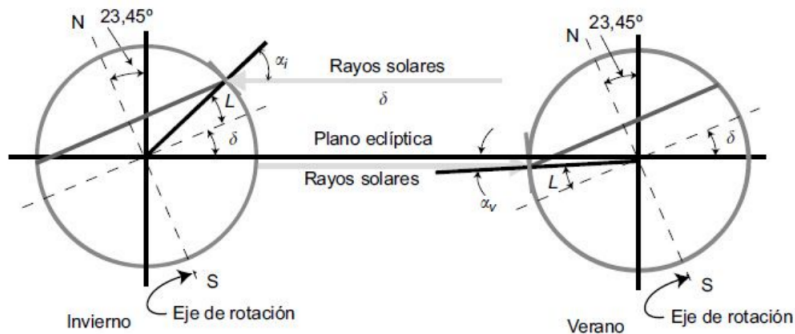


Radiación a 40° N:

- Diciembre: 3,94 kWh/m².
- Junio: 11,68 kWh/m².

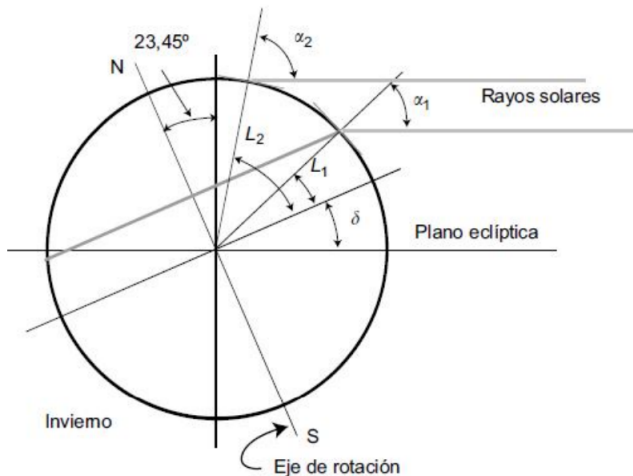
Radiación electromagnética

Para una misma latitud la perpendicularidad de los rayos es mayor en verano que en invierno.



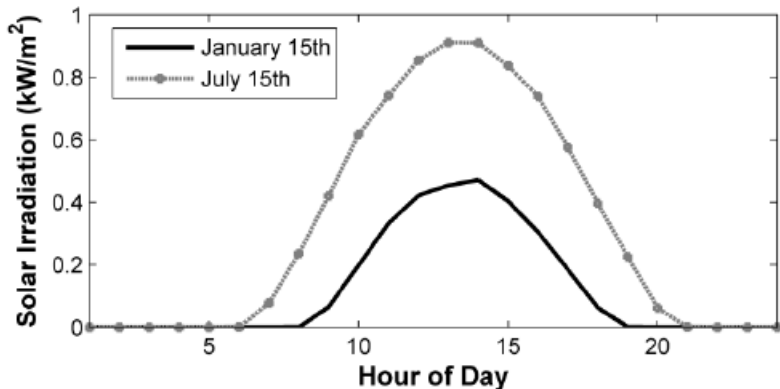
Radiación electromagnética

A medida que aumenta la latitud del lugar, en valor absoluto, la perpendicularidad es menor.



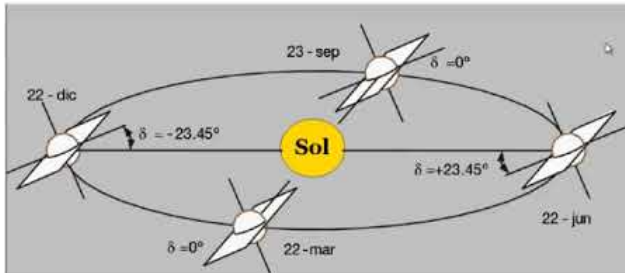
Radiación electromagnética

Durante el día, la radiación solar alcanza su máximo al mediodía, cuando el sol se encuentra en su punto más alto en el cielo, lo que resulta en una mayor intensidad de la radiación solar.



Posición del Sol

- La declinación solar (δ) es el ángulo que forma la línea Sol-Tierra y el plano del ecuador celeste (proyección del ecuador terrestre).
- Varía a lo largo del año debido a la inclinación del eje de la Tierra entre $-23,45^\circ$ en el solsticio de invierno y $23,45^\circ$ en el solsticio de verano.



Posición del Sol

La declinación solar (δ) se puede expresar en función de la fecha en el año utilizando la siguiente fórmula:

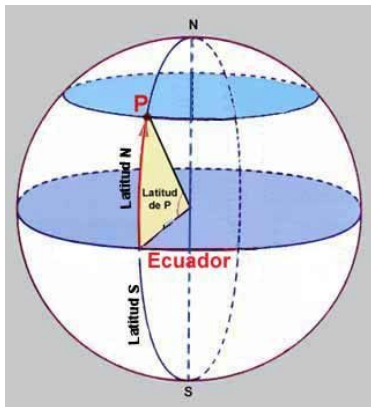
$$\delta = 23,45 \times \sin \left(360 \times \frac{284 + N}{365} \right)$$

N es el día del año (1 de enero es el día 1 y el 31 de diciembre es el día 365 o 366 en años bisiestos).



Posición del Sol

- La latitud (ϕ) es la distancia angular entre la línea ecuatorial (el ecuador) y un punto determinado de la Tierra.

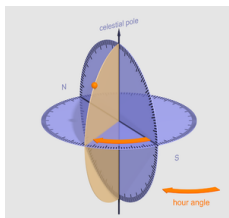


Haz una función que determine la declinación solar en función de la fecha. Determina la declinación solar para la latitud del proyecto de eólica para el día de tu cumpleaños.

Latitud ($^{\circ}$)	
Fecha cumpleaños	
Declinación ($^{\circ}$)	

Posición del Sol

- El ángulo horario (h) es el arco de ecuador contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano del observador hasta el círculo horario del astro, en sentido horario.
- Los ángulos negativos indican que el Sol todavía no ha llegado al meridiano local. Los ángulos positivos indican que el Sol ya pasó por el meridiano local.
- A las 10:30 a.m. hora local aparente, el ángulo horario es de -22.5° (15° por hora multiplicado por 1.5 horas antes del mediodía).



Asumiendo que la relación entre la hora local y el ángulo horario es:

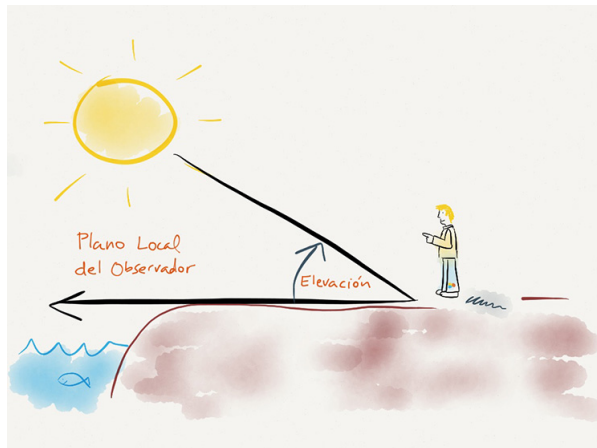
$$h = 15^{\circ}(\text{hora local} - 12)$$

Haz una función que determine el ángulo horario en función de la hora local y rellena.

Hora	Ángulo horario ($^{\circ}$)
7:00	
10:00	
12:00	
17:00	
20:00	

Posición del Sol

- La elevación del Sol (α) se refiere al ángulo entre el horizonte y la posición real del Sol en el cielo.
- Se mide en grados y varía desde 0° en el horizonte hasta 90° en el cenit (posición directamente encima del observador).



La elevación del Sol (α) está influenciada por la latitud del lugar, la declinación solar y el ángulo horario y se puede calcular según la siguiente aproximación:

$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos h$$

Donde:

- δ es la declinación solar.
- ϕ es la latitud del lugar.
- h es el ángulo horario.

Proyecto solar

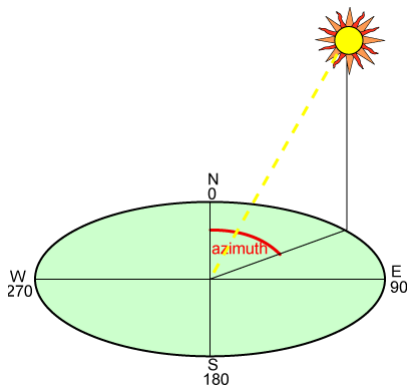
Haz una función que determine la elevación solar en función de la latitud, la fecha y la hora local y rellena la siguiente tabla para el día de tu cumpleaños.

Hora	Elevación solar ($^{\circ}$)
6:00	
8:00	
10:00	
12:00	
14:00	
16:00	
18:00	
20:00	
22:00	

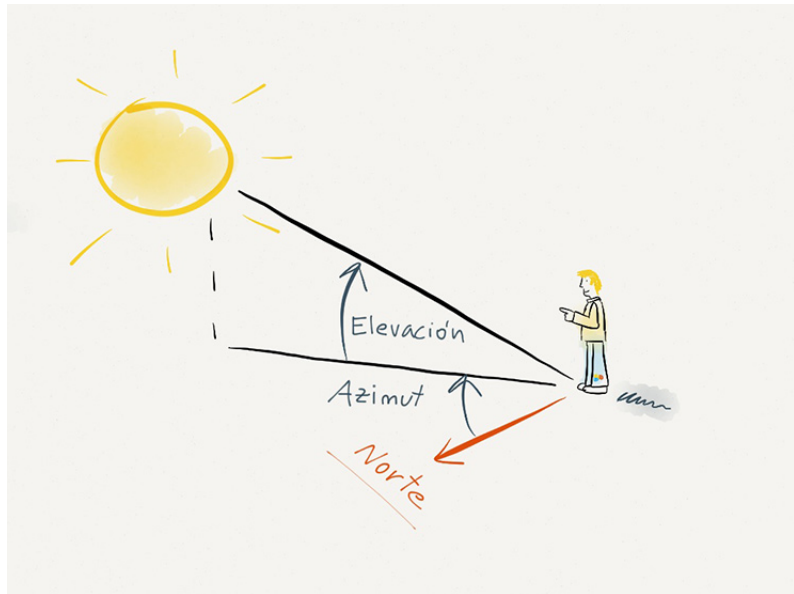
Nota: Si el ángulo es negativa, significa que el sol no ha subido del horizonte.

Posición del Sol

El acimut solar (θ) es el ángulo horizontal entre la dirección norte y la proyección en el plano horizontal de la dirección al Sol. Se mide en el sentido horario desde el norte.



Posición del sol



Posición del Sol

El acimut solar (θ) varía a lo largo del día y depende de la latitud del lugar y la hora del día, además de la declinación solar.

$$\sin \theta = \frac{-\cos \delta \sin h}{\cos \alpha}$$

$$\cos \theta = \frac{\sin \delta \cos \phi - \cos h \cos \delta \sin \phi}{\cos \alpha}$$

Donde:

- α es la elevación del sol.
- δ es la declinación solar.
- h es el ángulo horario.
- ϕ es la latitud del lugar.

Posición del sol

- El arccos de la calculadora siempre da ángulos entre 0° y 180°
- El arcsin de la calculadora siempre da ángulos entre -90° y $+90^\circ$.

90 to 180 deg	0 to 90 deg
$\theta = 180 - \arcsin(\sin(\theta))$	$\theta = \arcsin(\sin(\theta))$
+ sin	+ sin
- cos	+ cos
$\theta = 180 - \arcsin(\sin(\theta))$	$\theta = 360 + \arcsin(\sin(\theta))$
- sin	- sin
- cos	+ cos
180 to 270 deg	270 to 0 deg

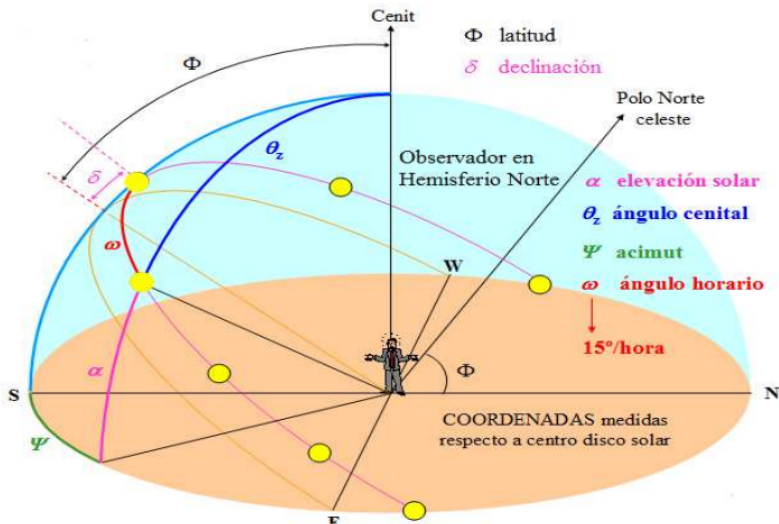
Proyecto solar

Haz una función que determine el acimut en función de la latitud, la fecha y la hora local. Determina el ángulo de acimut del sol el día de tu cumpleaños para las siguientes horas.

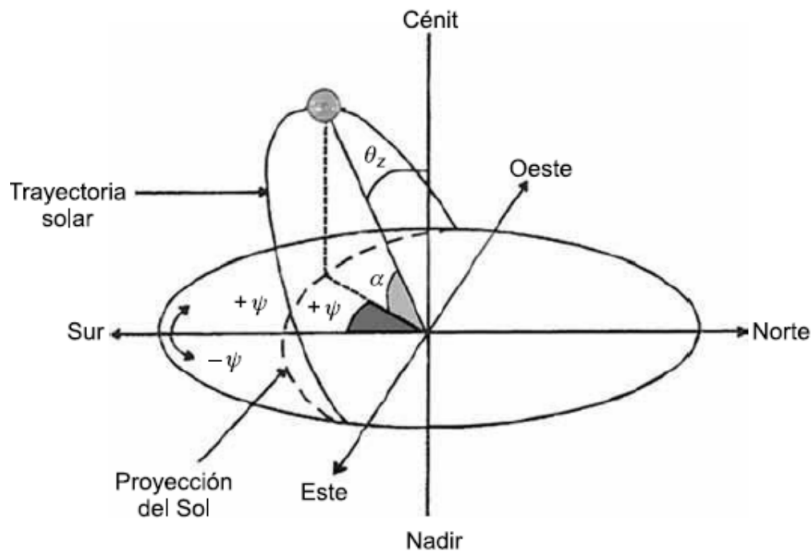
Hora	Acimut ($^{\circ}$)
6:00	
8:00	
10:00	
12:00	
14:00	
16:00	
18:00	
20:00	
22:00	

Nota: Ten en cuenta que el acimut es creciente a lo largo del día.

Posición del Sol

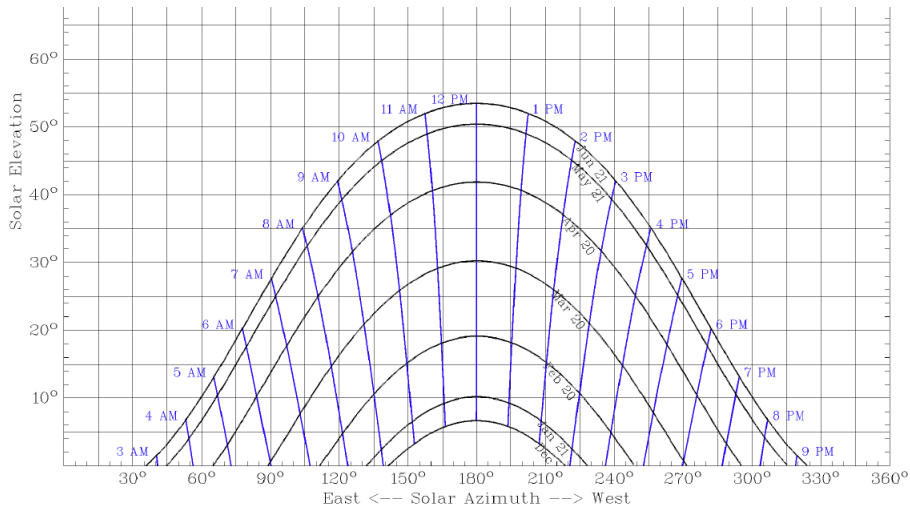


Posición del Sol

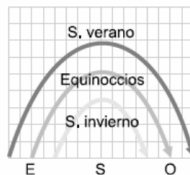
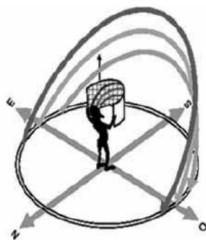
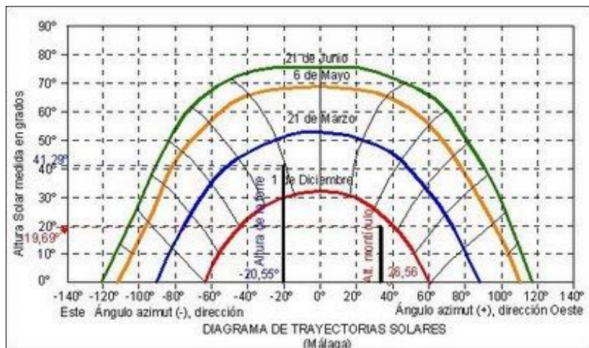


Posición del Sol

Este gráfico muestra la elevación y el acimut del sol en diferentes meses del año.



Posición del Sol



Usa las funciones anteriores para dibujar las gráficas que relaciona la elevación del sol y el acimut para las siguientes fechas:

- Día de tu cumpleaños
- Solsticio de verano (21 Junio)
- Solsticio de invierno (21 Diciembre)

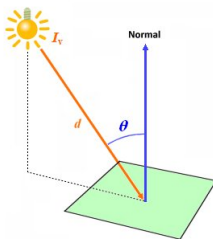
Radiación Solar Extraterrestre

La radiación solar extraterrestre (R_{ext}) se puede calcular mediante la fórmula:

$$R_{\text{ext}} = S_0 \cdot \cos(\theta)$$

Donde:

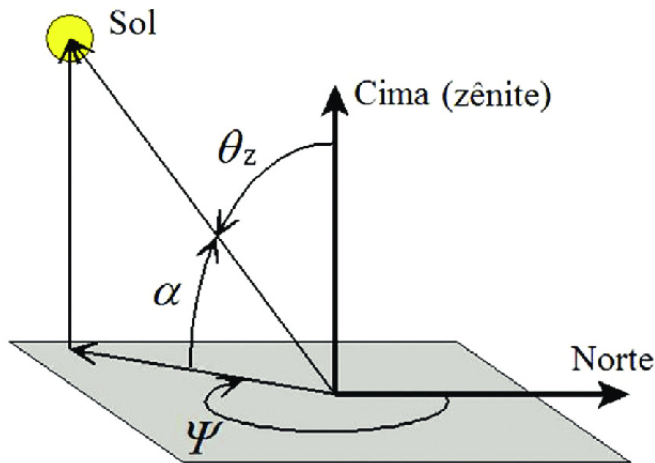
- R_{ext} es la radiación solar extraterrestre (W/m^2).
- S_0 es la constante solar, aproximadamente igual a $1353 \text{ W}/\text{m}^2$.
- θ es el ángulo solar sobre la vertical, que depende de la latitud y la hora del día.



Cálculo del Ángulo Vertical

El ángulo cenital (θ) es el ángulo complementario de la elevación solar (α):

$$\theta = 90^\circ - \alpha$$



Proyecto Solar

Haz una función que determine la radiación solar extraterrestre horaria en W/m^2 en función de la latitud, la fecha y la hora local. Rellena la siguiente tabla para el día de tu cumpleaños y haz una gráfica sobre la variación de la radiación extraterrestre durante el día.

Hora	R_{ext} (W/m^2)	Hora	R_{ext} (W/m^2)
7:00		16:00	
8:00		17:00	
9:00		18:00	
10:00		19:00	
11:00		20:00	
12:00		21:00	
13:00		22:00	
14:00		23:00	
15:00		24:00	

Haz una función que determine la radiación solar extraterrestre diaria y úsala para calcularla para tu latitud en kWh/m^2 en las siguientes fechas:

Fecha	R_{ext} (kWh/m^2)
Cumpleaños	
Solsticio de verano	
Solsticio de invierno	

Proyecto solar

Determina la radiación media diaria para cada mes del año.

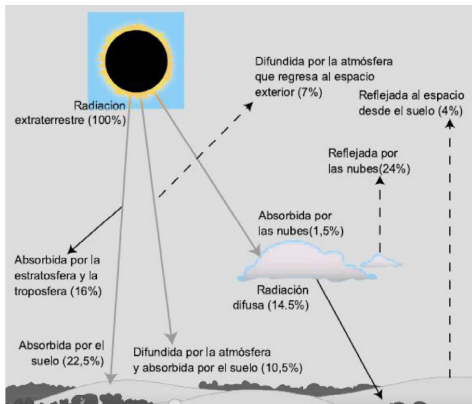
Mes	R_{ext} (W/m ²)	Mes	R_{ext} (W/m ²)
Enero		Julio	
Febrero		Agosto	
Marzo		Septiembre	
Abril		Octubre	
Mayo		Noviembre	
Junio		Diciembre	

Determina la radiación solar extraterrestre media diaria a lo largo de todo el año.

Radiación ext media diaria (kWh/m ²)

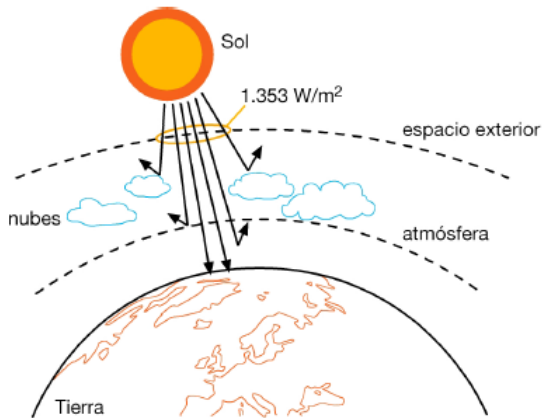
Radiación Solar Terrestre

- A su paso por la atmósfera, la radiación solar es absorbida, dispersada y reflejada, debido a los gases, el vapor de agua, el polvo y otras partículas contenidas en la atmósfera.
- Esto hace que ese valor de la constante solar se reduzca en un 30 % aproximadamente, llegando a la Tierra alrededor de 1.000 W/m^2 .



Radiación Solar Terrestre

- Esto hace que ese valor de la constante solar se reduzca en un 30 % aproximadamente, llegando a la Tierra alrededor de 1.000 W/m^2 .



Ley de Beer-Lambert para Radiación Solar Terrestre

La Ley de Beer-Lambert describe la atenuación de la radiación solar a medida que atraviesa la atmósfera y se expresa como:

$$R_{\text{terr}} = R_{\text{ext}} \cdot e^{-k \cdot h}$$

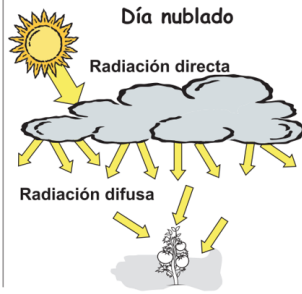
Donde:

- R_{terr} es la radiación solar terrestre.
- R_{ext} es la radiación solar extraterrestre.
- k es el coeficiente de atenuación atmosférica.
- h es la altura de la atmósfera a considerar.

El valor de k depende de las condiciones atmosféricas y de la longitud de onda de la radiación solar.

Radiación Solar Terrestre

- La radiación solar se puede dividir en dos componentes principales: la radiación directa y la radiación difusa.
- La radiación directa solar proviene de la fuente solar en una línea de visión directa y no experimenta dispersión en la atmósfera.
- La radiación difusa solar es el resultado de la dispersión de la radiación directa por parte de partículas en la atmósfera y superficies terrestres, lo que genera una iluminación suave y generalizada.
- La suma de la radiación directa y la radiación difusa constituye la radiación global que alcanza la superficie terrestre.



Medida radiación solar terrestre

- El heliógrafo es un instrumento meteorológico que se utiliza para registrar la duración e intensidad de los rayos solares o insolación.
- Se basa en una esfera de cristal que concentra los rayos solares sobre una banda de cartulina que, al quemarse, deja una traza carbonizada.
- Cuando el sol luce durante todo el día, se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de esta traza.
- Si el sol brilla de forma discontinua, dicha traza es intermitente y la insolación se determina sumando la longitud de los segmentos.



Medida radiación solar terrestre

- Un piranómetro es un instrumento utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra.
- Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (kW/m^2) en un campo de 180° .
- Puede medir radiación total, difusa y directa.
- Tiene una pila termoeléctrica en la que se genera una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura entre dos metales.



Medida radiación solar terrestre

- Un pirheliómetro es un instrumento para la medición de la radiación solar directa recibida en una superficie normal al sol.
- La luz del sol entra en el instrumento a través de una ventana y es dirigida sobre una termopila.
- Se utiliza junto con un sistema de seguimiento solar para mantener el instrumento orientado al sol.



Medida radiación solar terrestre



Heliógrafo

Horas de Sol



Piranómetro

Radiación Global



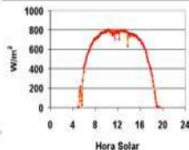
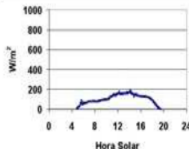
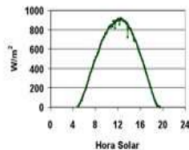
Piranómetro de difusa

Radiación Difusa

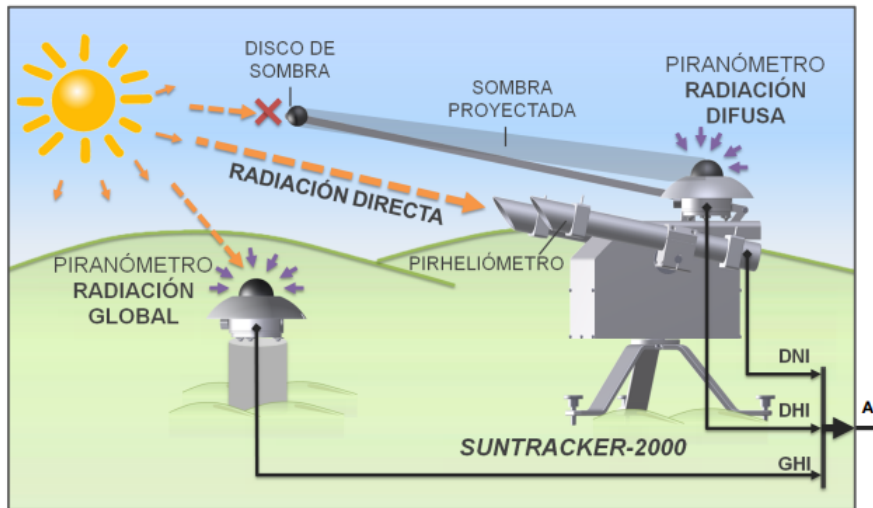


Pirheliómetro

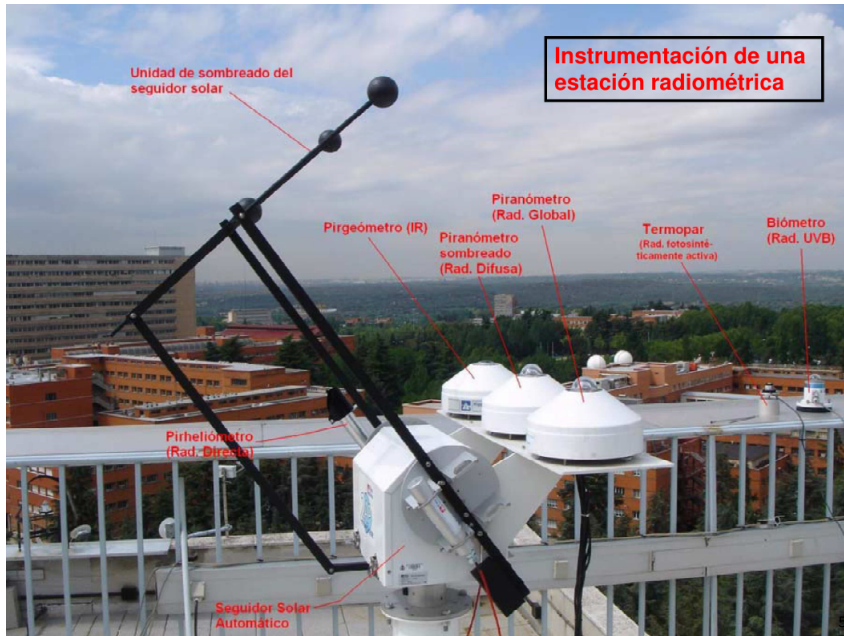
Radiación Directa



Medida radiación solar terrestre

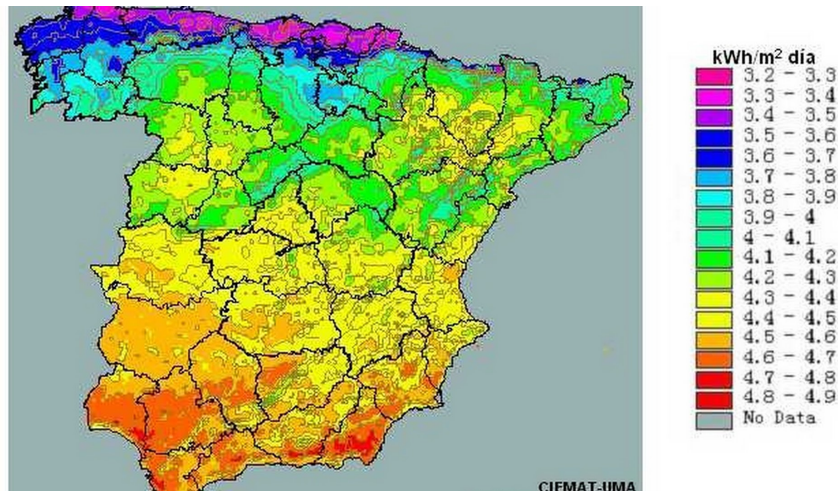


Medida radiación solar terrestre

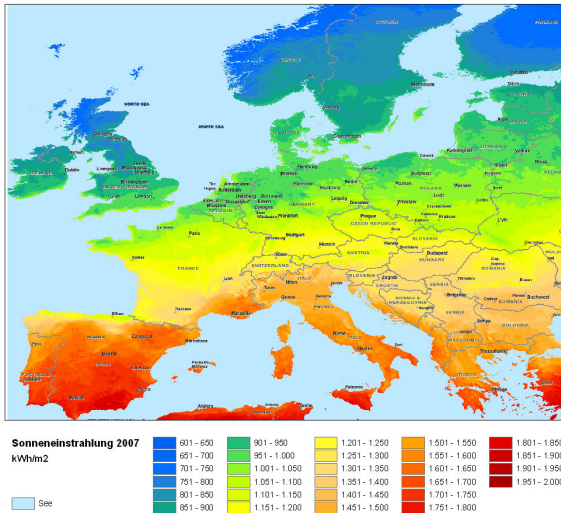


- A partir de series temporales de medidas de radiación se elaboran mapas de radiación solar.
- A partir de ellos se pueden realizar estimaciones de la radiación solar incidente sobre territorios determinados, y durante periodos de tiempo limitados, simplemente multiplicando los valores leídos en el mapa por la superficie de la zona y por el período de tiempo dado.
- También a partir de series de medidas se confeccionan manuales que reúnen tablas de valores de radiación sobre superficies con una determinada orientación e inclinación para diferentes microclimas.

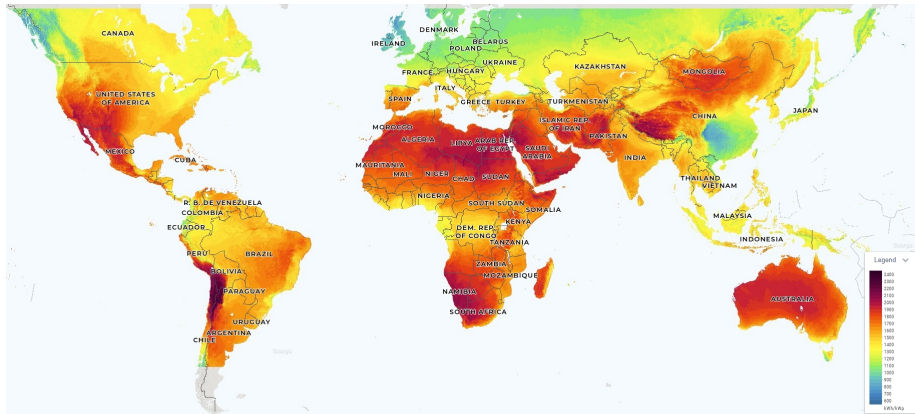
Radiación Solar Terrestre



Radiación Solar Terrestre

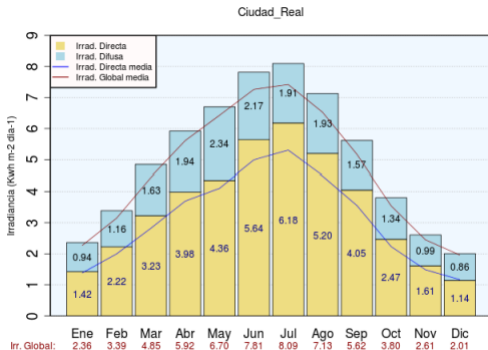


Radiación Solar Terrestre



Proyecto solar

Consulta los datos mensuales de radiación solar terrestre disponibles en el Atlas de Radiación Solar en España para la provincia elegida.



Proyecto solar

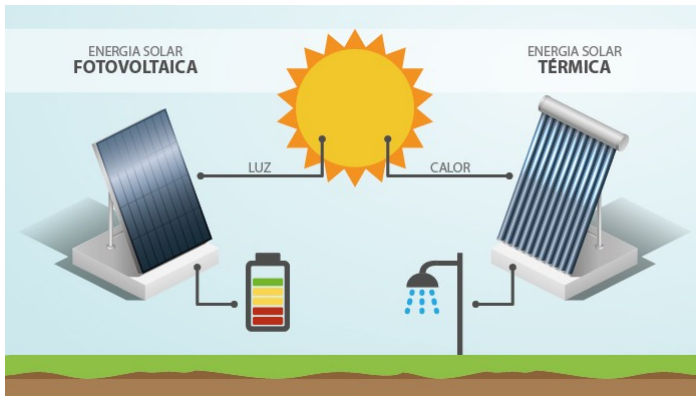
Rellena en la tabla los valores mensuales de radiación extraterrestre y de radiación directa terrestre. Usa la ley de Beer-Lambert para determinar el producto $k \cdot h$ en tu localización usando una regresión lineal.

Mes	R_{ext} (W/m ²)	R_{terr} (W/m ²)
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

Teniendo en cuenta el coeficiente $k \cdot h$ que has determinado en un ejercicio anterior, crea una función que determine la radiación incidente terrestre en función de la latitud, el día, y la hora.

Energía Solar Térmica vs. Energía Solar Fotovoltaica

- **Energía Solar Térmica:** la energía del sol se utiliza para calentar un líquido o un gas, que luego se utiliza para generar electricidad o para proporcionar calefacción en edificios.
- **Energía Solar Fotovoltaica:** convierte directamente la luz solar en electricidad utilizando células fotovoltaicas.

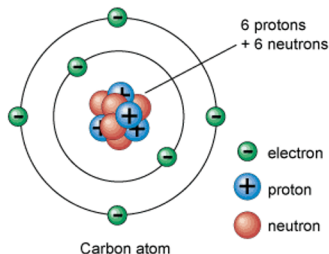


Composición de un Átomo

Un átomo consta de varias partículas subatómicas, que incluyen:

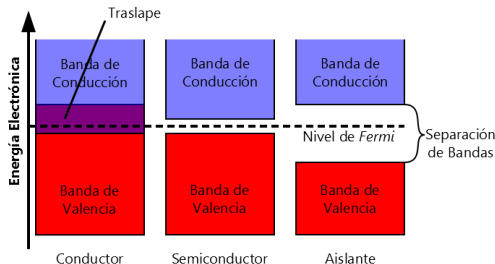
- **Electrones:** Partículas cargadas negativamente que orbitan alrededor del núcleo del átomo.
- **Protones:** Partículas cargadas positivamente ubicadas en el núcleo del átomo.
- **Neutrones:** Partículas sin carga eléctrica ubicadas en el núcleo del átomo junto con los protones.

La interacción de estas partículas subatómicas dentro del átomo determina sus propiedades y comportamiento químico.



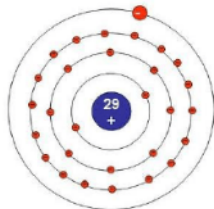
Conductores, Semiconductores y Aislantes

- **Conductores:** Permiten el flujo libre de carga eléctrica. Tienen una alta densidad de electrones libres que pueden moverse fácilmente bajo la influencia de un campo eléctrico. Cobre y plata.
- **Aislantes:** No permiten el flujo de carga eléctrica. Tienen una baja densidad de electrones libres y requieren una gran cantidad de energía para que los electrones se liberen y se muevan. Mica y el vidrio.
- **Semiconductores:** Tienen una conductividad eléctrica entre la de los conductores y la de los aislantes. Su conductividad puede modificarse mediante impurezas o temperatura. Silicio y germanio.



Conductores, Semiconductores y Aislantes

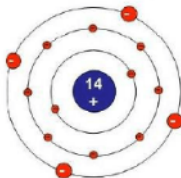
Átomo de Cobre (Cu)



1 Electrón en la última capa

~ CONDUCTOR ~

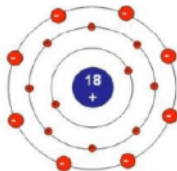
Átomo de Silicio (Si)



4 Electrones en la última capa

~ SEMICONDUCTOR ~

Átomo de Argón (Ar)

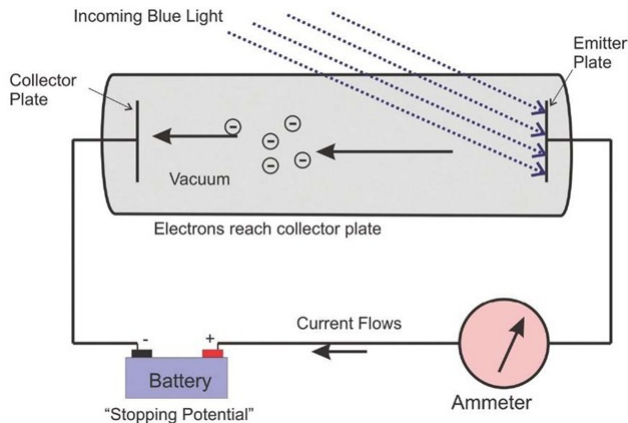


8 Electrones en la última capa

~ AISLANTE ~

Efecto Fotoeléctrico

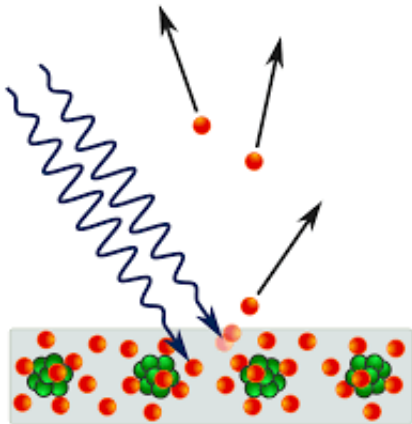
El efecto fotoeléctrico fue descubierto y descrito por Heinrich Hertz, en 1887, al observar que el arco que salta entre dos electrodos conectados a alta tensión alcanza distancias mayores cuando se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad.



- El efecto fotoeléctrico, en el que los electrones son liberados de un material debido a la absorción de radiación electromagnética, fue explicado por Albert Einstein en 1905 (Nobel física 1921).
- Einstein propuso la teoría de los cuantos de luz: naturaleza discreta de la luz y su comportamiento como partículas de energía (fotones).
- Explicó cómo la energía de los fotones incidentes debe superar la función trabajo del material para liberar los electrones.
- Sentó las bases para la comprensión de la dualidad onda-partícula de la luz y contribuyó al desarrollo de la teoría cuántica.
- El trabajo de Einstein en el efecto fotoeléctrico ha tenido un impacto significativo en la física moderna y ha sentado las bases para numerosas aplicaciones en campos como la energía solar y la fotónica.

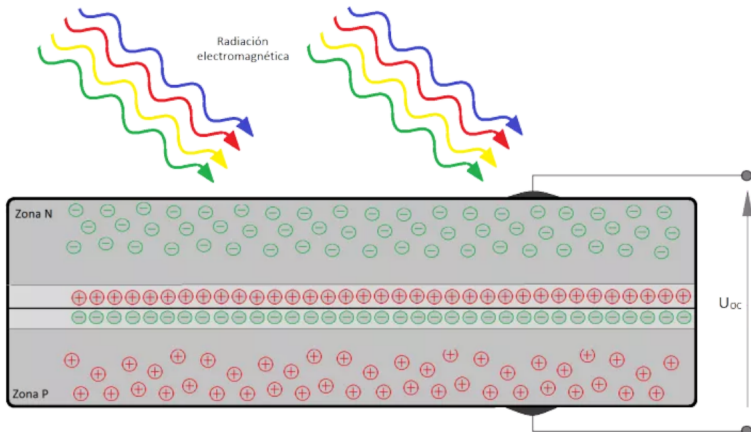
Efecto Fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno en el que los electrones son liberados de un material debido a la absorción de radiación electromagnética, particularmente luz.



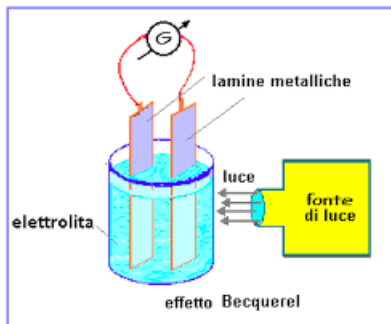
Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es un fenómeno en el cual ciertos materiales, específicamente los semiconductores, generan una corriente eléctrica cuando son expuestos a la luz. Este efecto es la base del funcionamiento de las celdas solares fotovoltaicas, que convierten directamente la energía solar en electricidad.



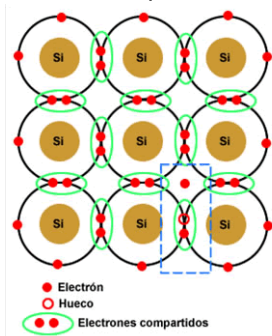
Efecto Fotovoltaico

- En 1839, Alexandre Edmond Becquerel, un físico francés, descubrió el efecto fotovoltaico al observar que la radiación solar podía producir corrientes eléctricas en ciertos materiales conductores.
- Su experimento consistió en sumergir electrodos de platino en un electrolito y exponer la configuración a la luz solar, lo que resultó en la generación de una pequeña corriente eléctrica.



Semiconductores

- Tanto el silicio como el germanio tienen tendencia a formar estructuras reticulares mediante enlaces covalentes.
- Esta estructura da como resultado una red tridimensional fuertemente unida y proporciona propiedades semiconductoras.
- A baja temperatura los enlaces covalentes son estables y el semiconductor se comporta como aislante.
- Al elevarse la temperatura aumenta la agitación de electrones, pudiendo romperse el enlace covalente y producir electrones libres.



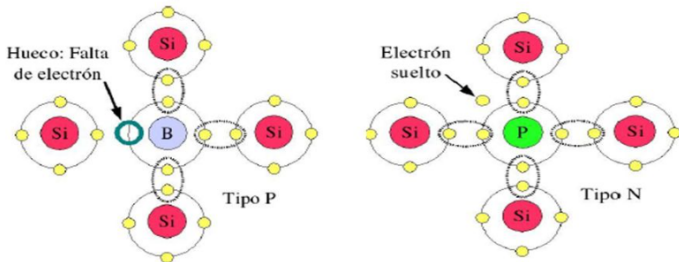
- La excitación térmica de un portador desde la banda de valencia a la banda de conducción genera portadores libres en ambas bandas.
- En un semiconductor sin impurezas la concentración de portadores depende de la banda prohibida y de la temperatura.
- Una banda prohibida amplia reduce la excitación térmica de portadores, disminuyendo así la concentración de portadores.
- Un aumento de temperatura facilita la excitación de electrones a la banda de conducción, incrementando la concentración de portadores.



Semiconductores

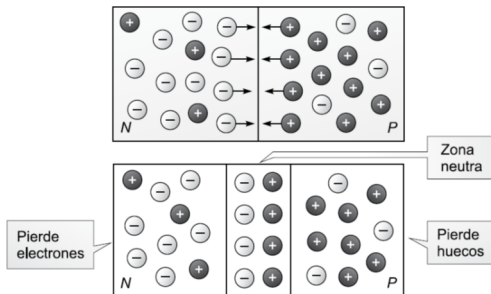
Los semiconductores pueden doparse para cambiar sus propiedades y comportamiento eléctrico. Los dos tipos más comunes son:

- Semiconductor de Tipo N: Se produce al agregar impurezas pentavalentes (fósforo) lo que introduce electrones adicionales.
- Semiconductor de Tipo P: Se produce al agregar impurezas trivalentes (boro) lo que crea huecos adicionales.
- En un semiconductor típico puede haber 10^{17} cm^{-3} de portadores mayoritarios y 10^6 cm^{-3} de portadores minoritarios. La proporción de portadores minoritarios respecto a los mayoritarios es menor que la proporción de una persona en toda la población del planeta.



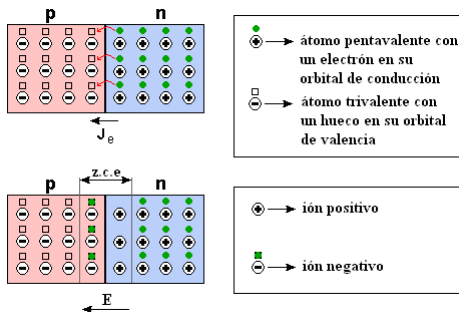
Semiconductores

- Las celdas fotovoltaicas se componen de una unión p-n, que es la unión entre un semiconductor de tipo p y uno de tipo n.
- En la unión, algunos de los electrones libres en el material tipo n se desplazan hacia el material tipo p debido a la migración térmica aleatoria (difusión). A medida que se difunden en el material tipo p, se combinan con los huecos de electrones y se neutralizan. De manera similar, algunos de los huecos positivos en el material tipo p se difunden hacia el material tipo n, donde se combinan con electrones



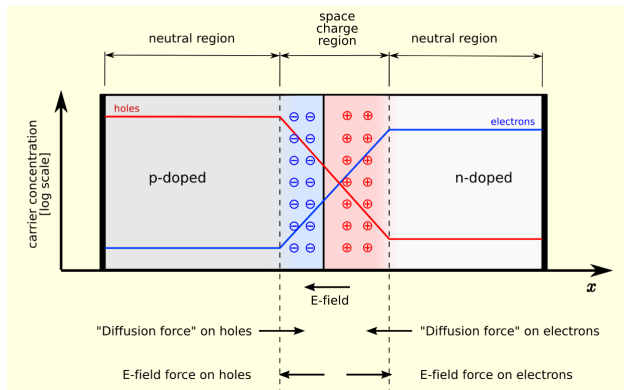
Semiconductores

- Los átomos de dopaje cargados positivamente (donantes) en el material tipo n son parte del cristal y no pueden moverse. Así, en el material tipo n, se forma una región cercana a la unión que tiene una carga positiva fija. Los átomos de dopaje cargados negativamente (aceptores) en el material tipo p también son parte del cristal y tampoco pueden moverse. De esta manera, en el material tipo p, una región cercana a la unión adquiere una carga negativa fija.



Semiconductores

- El resultado es una región cercana a la unión que actúa para repeler las cargas móviles alejándolas de la unión debido al campo eléctrico que crean estas regiones cargadas. La región cerca de la interfaz p-n pierde su neutralidad eléctrica y la mayoría de sus portadores móviles, formando así la capa de depleción.



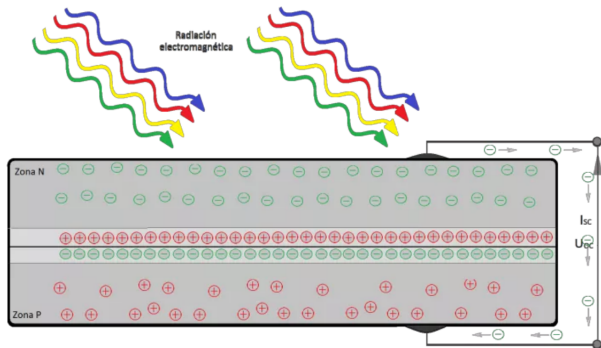
La generación de corriente en una célula solar implica dos procesos clave:

- El primer proceso es la absorción de fotones incidentes para crear pares electrón-hueco siempre que el fotón incidente tenga una energía mayor que la brecha de banda.
- Un segundo proceso, la recolección (separación) de estos portadores por la unión p-n, evita esta recombinación al utilizar una unión p-n para separar espacialmente el electrón y el hueco.



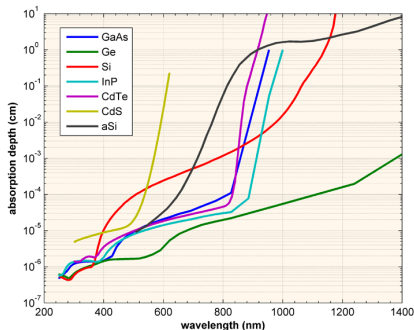
Semiconductores

Cuando los fotones de luz golpean la celda fotovoltaica, liberan electrones en la región n y generan huecos en la región p, creando así una corriente eléctrica.



Semiconductores

- La profundidad de absorción describe cuán profundamente penetra la luz en un semiconductor antes de ser absorbida.
- La luz de mayor energía tiene una longitud de onda más corta y una menor profundidad de absorción.
- La profundidad de absorción afecta aspectos del diseño de las células solares, como el grosor del material semiconductor.

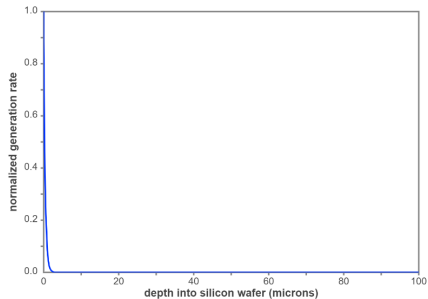


La generación de un par electrón-agujero se puede calcular para cualquier profundidad y longitud de onda mediante la ecuación:

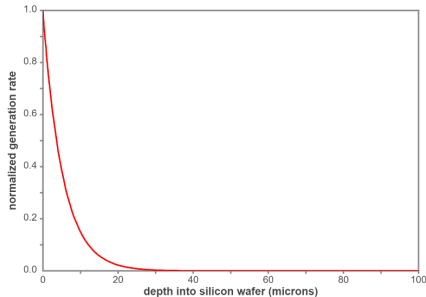
$$G = N_0 \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot x}$$

- G : Tasa de generación.
- N_0 : Flujo de fotones en la superficie.
- α : Coeficiente de absorción (inversamente proporcional a la profundidad de absorción)
- x : Distancia en el material.

Semiconductores



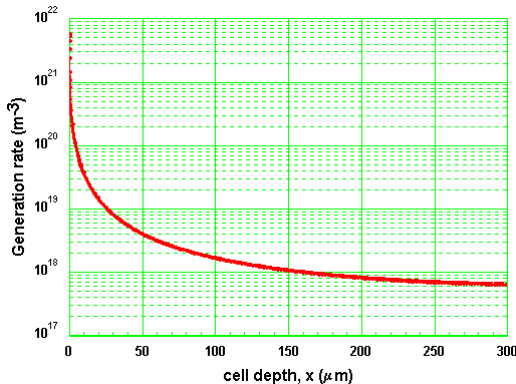
Wavelength of light, $\lambda = 450$ nm, absorption coefficient $\alpha = 24100$ cm^{-1}



Wavelength of light, $\lambda = 700$ nm, absorption coefficient $\alpha = 1890$ cm^{-1}

Semiconductores

La generación neta es la suma de la generación para cada longitud de onda. La escala del eje y es logarítmica, lo que indica que hay una generación enormemente mayor de pares electrón-hueco cerca de la superficie frontal de la célula, mientras que más adentro en la célula solar, la tasa de generación se vuelve casi constante.

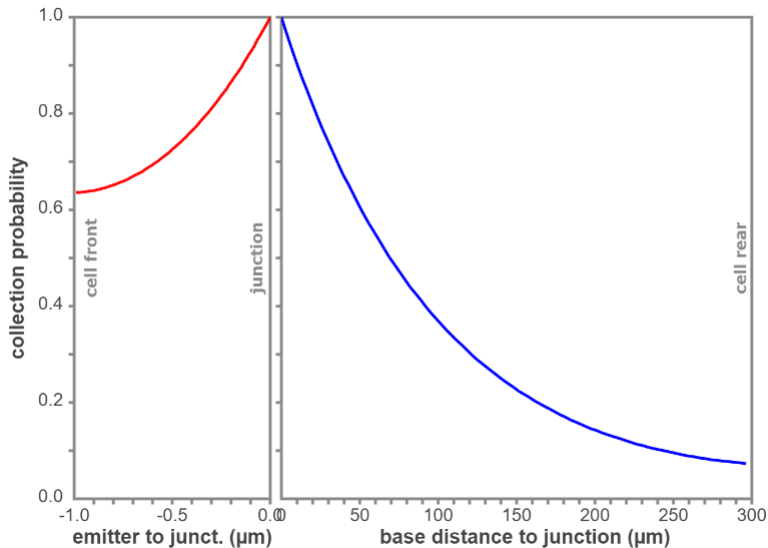


- Cualquier electrón que exista en la banda de conducción se encuentra en un estado metaestable y eventualmente se estabilizará en una posición de menor energía en la banda de valencia. Cuando esto ocurre, debe moverse a un estado vacío de la banda de valencia. Por lo tanto, cuando el electrón se estabiliza de nuevo en la banda de valencia, también elimina efectivamente un hueco. Este proceso se llama recombinación.
- La recombinación es el proceso opuesto a la generación. Un electrón se recombina con un hueco y libera energía que se convierte en calor o luz. Un dispositivo en el que la recombinación está optimizada para emitir luz se denomina diodo emisor de luz (LED).



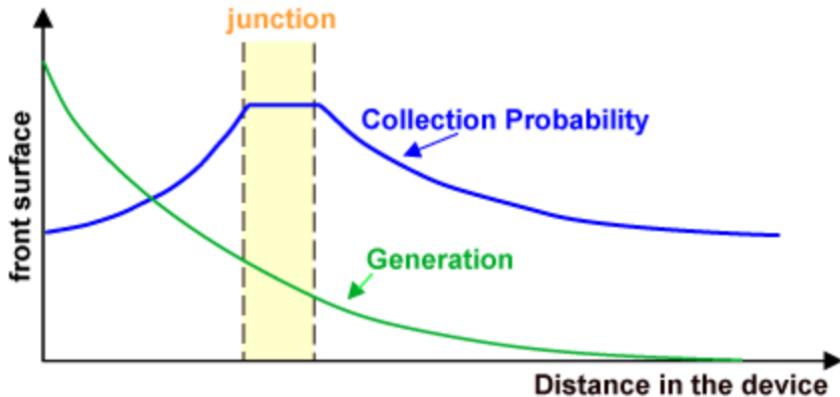
- La “probabilidad de recolección” describe la probabilidad de que un portador generado por la absorción de luz en una cierta región del dispositivo sea recogido por la unión p-n y, por lo tanto, contribuya a la corriente generada por la luz.
- La probabilidad depende de la distancia que un portador generado por la luz debe recorrer en comparación con la longitud de difusión.
- La probabilidad de recolección de portadores generados en la región de depleción es unitaria, ya que el par electrón-hueco se separa rápidamente por el campo eléctrico y se recoge.
- Lejos de la unión, la probabilidad de recolección disminuye.

Semiconductores



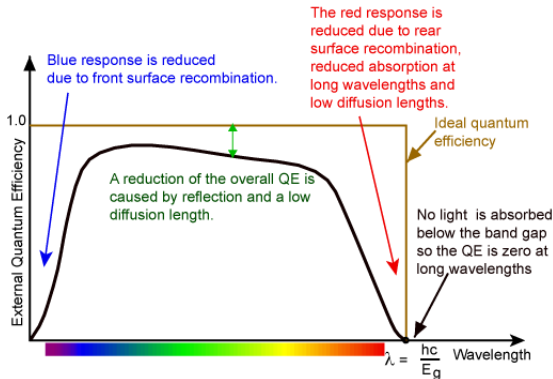
Semiconductores

- La probabilidad de recolección, junto con la tasa de generación en la célula solar, determina la corriente generada por la luz.
- La corriente generada por la luz es la integración sobre todo el grosor del dispositivo de la tasa de generación en un punto particular del dispositivo, multiplicada por la probabilidad de recolección.



Semiconductores

- La eficiencia cuántica (QE) es la relación entre el número de portadores recogidos por la célula solar y el número de fotones de una energía incidente dada sobre la célula solar.
- Si todos los fotones de una determinada longitud de onda se absorben y los portadores minoritarios resultantes se colectan, a continuación, la eficiencia cuántica en esa longitud de onda particular es la unidad.



Célula Solar

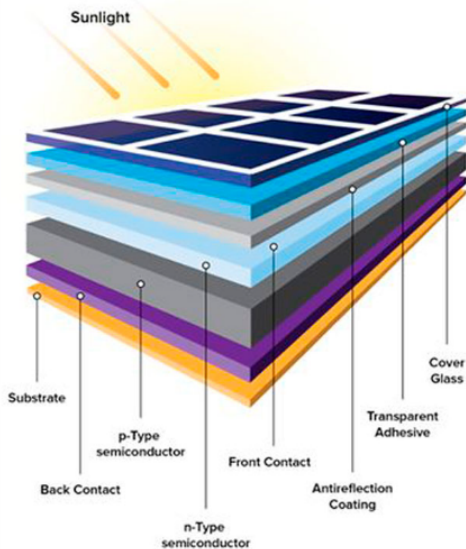
Una célula solar, también conocida como celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que convierte la energía de la luz solar directamente en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Está compuesta principalmente por materiales semiconductores, comúnmente silicio, que exhiben propiedades fotovoltaicas.



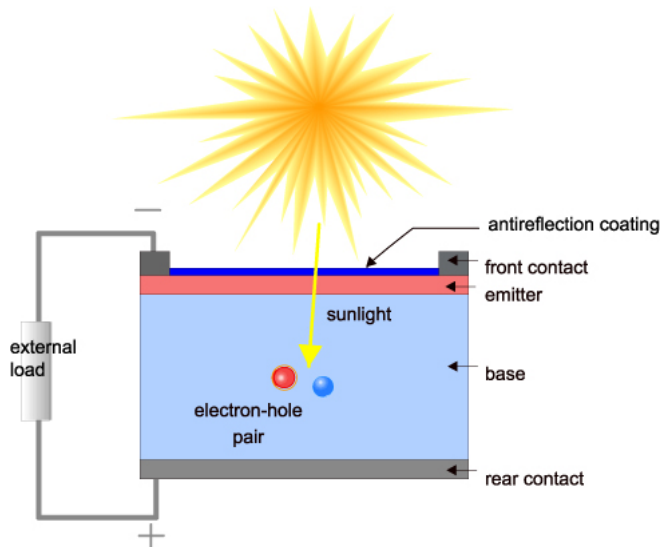
La estructura típica de una célula solar de silicio incluye varias capas que permiten la conversión de la luz solar en electricidad:

- Sustrato de silicio para proporcionar estabilidad mecánica.
- Electrodo trasero de metal, como aluminio o plata, para la recolección de corriente.
- Capa dopada tipo P para generar huecos móviles cuando se excitan con la luz solar.
- Unión P-N que crea un campo eléctrico interno para la separación y el flujo de cargas.
- Capa dopada tipo N que contiene electrones libres que pueden moverse cuando incide la luz solar.
- Electrodo frontal transparente, generalmente hecho de óxido de estaño e indio (ITO) o fluoruro de estaño (FTO).

Célula Solar



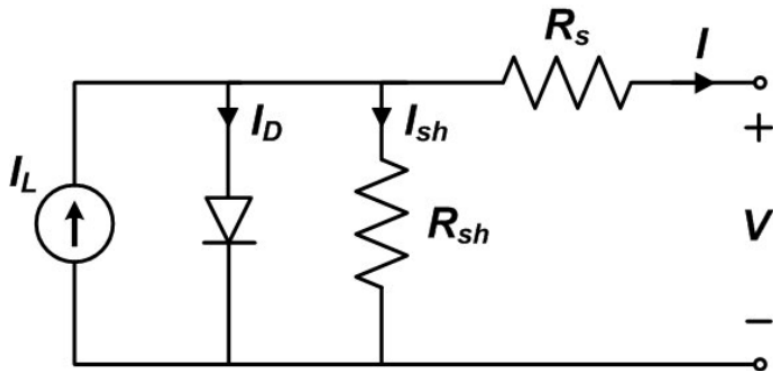
Célula Solar



El equivalente eléctrico de una célula solar:

- Fuente de corriente que representa la corriente que se genera dentro de la celda solar como resultado de la incidencia de luz. Esta corriente es la que se produce cuando los fotones de la luz inciden sobre el material semiconductor generando pares electrón-hueco.
- El diodo en el modelo eléctrico de la celda solar representa la unión p-n de la celda, que tiene una característica de corriente-voltaje que se describe de manera similar a un diodo convencional.
- Resistencia en serie representa las pérdidas de corriente que ocurren a medida que la corriente generada por la celda pasa a través de los componentes eléctricos de la celda, como los contactos metálicos, los cables y las capas de material semiconductor.
- Resistencia en derivación para representar las corrientes de fuga, generalmente a lo largo de la superficie de la celda o por medio de defectos del material. Este camino no contribuye a la generación de corriente útil, pero sí "deriva" parte de la corriente generada.

Célula solar



La ecuación del diodo de Shockley describe el comportamiento de un diodo semiconductor en un circuito eléctrico.

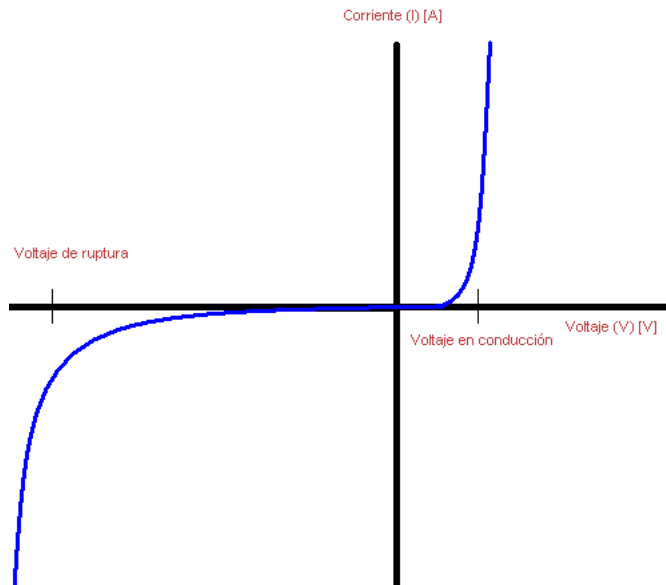
$$I = I_S \left(e^{\frac{V}{n \cdot V_T}} - 1 \right)$$



Donde:

- I es la corriente que fluye a través del diodo,
- I_S es la corriente de saturación dependiente de la temperatura de juntura,
- V es el voltaje aplicado al diodo,
- n es el factor de idealidad, y
- V_T es la tensión térmica, definida como $\frac{k \cdot T}{q}$, donde k es la constante de Boltzmann, T es la temperatura absoluta y q es la carga del electrón. $V_T \approx 25\text{mV}$ a 20° .

Célula Solar



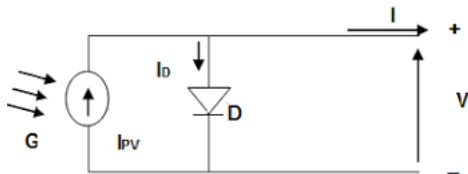
Célula solar

La ecuación de Shockley refleja el comportamiento teórico óptimo de una célula solar sin considerar las limitaciones y los efectos no ideales:

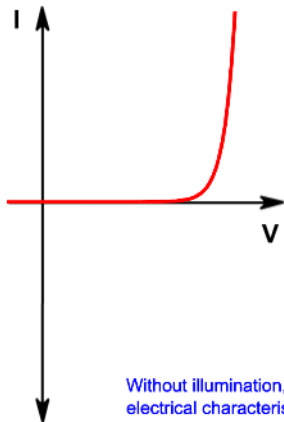
$$I = I_L - I_0 \cdot \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

Donde:

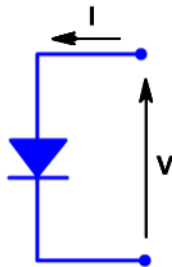
- I es la corriente generada por la célula solar,
- I_L es la corriente de generación de luz,
- I_0 es la corriente de saturación en ausencia de luz,
- V es la tensión aplicada a la célula,
- V_T es la tensión térmica (26mV a 25°C)



Célula Solar

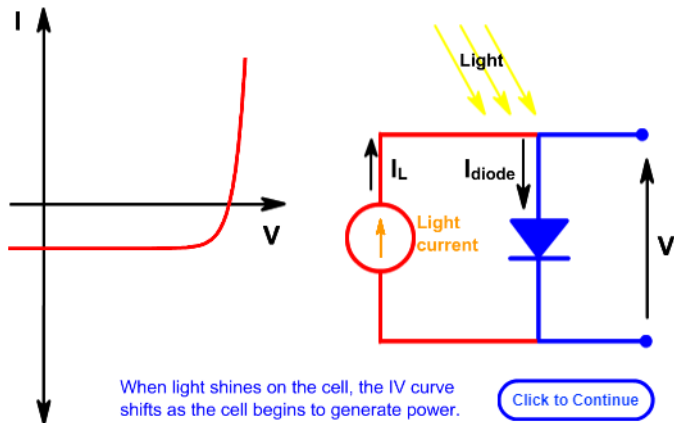


Without illumination, a solar cell has the same electrical characteristics as a large diode.

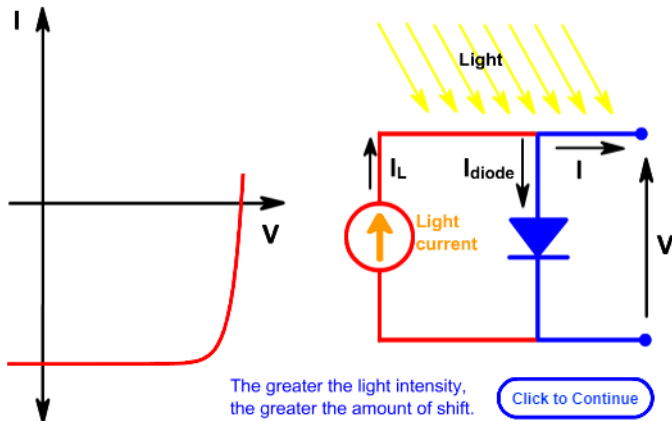


[Click to Continue](#)

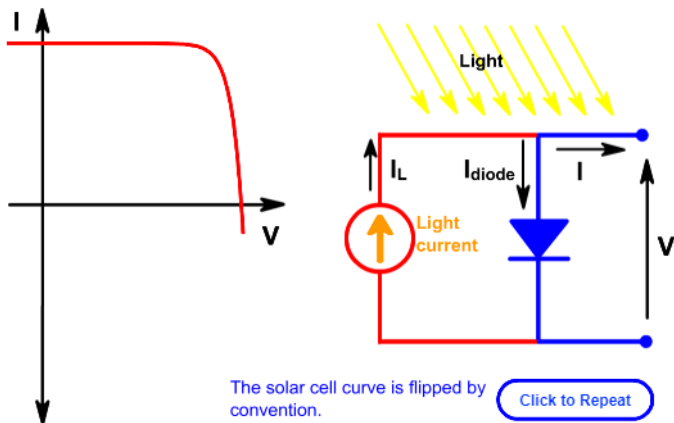
Célula Solar



Célula Solar

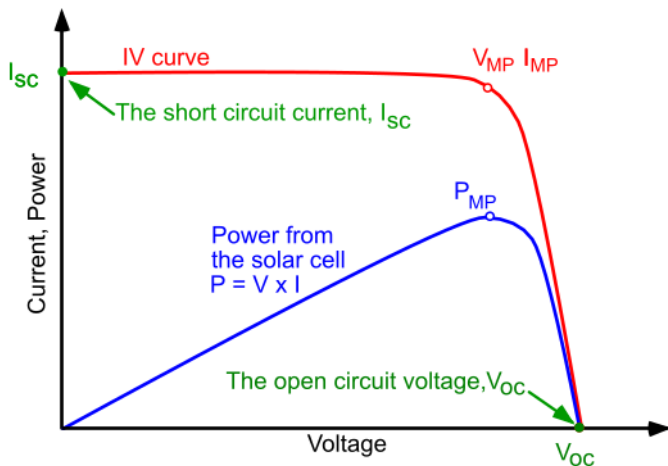


Célula Solar



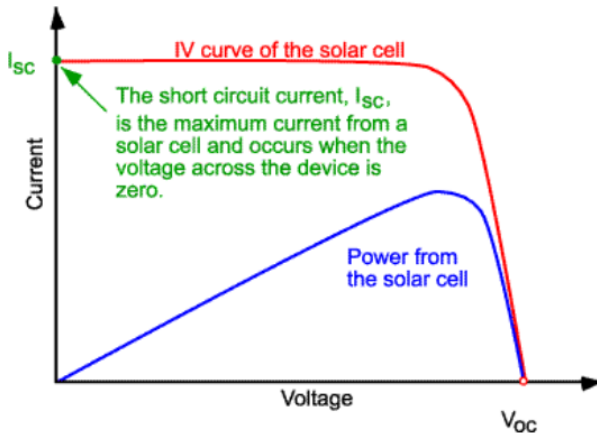
Célula Solar

La máxima potencia de una célula solar se alcanza en el punto de máxima potencia (MP), que es el punto en la curva de potencia-voltaje (P-V) donde la potencia de salida es la más alta.



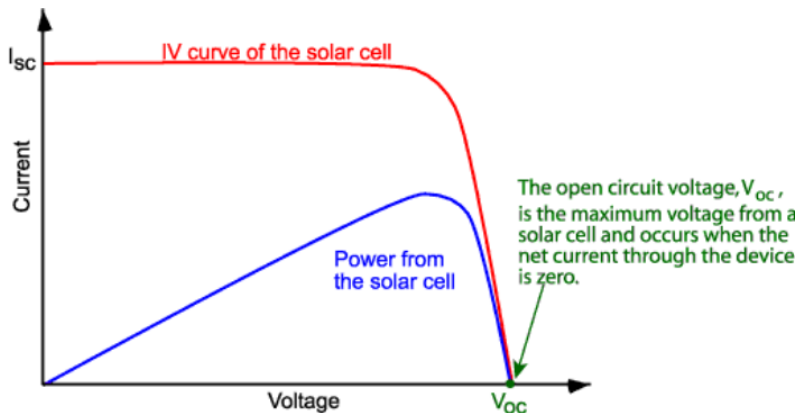
Célula Solar

La corriente de cortocircuito es la corriente que atraviesa la célula solar cuando el voltaje a través de la célula solar es cero (es decir, cuando la célula solar está en cortocircuito). Por lo tanto, la corriente de cortocircuito es la corriente más grande que se puede extraer de la célula solar.



Célula Solar

La tensión de circuito abierto es la máxima tensión disponible de una célula solar, y esto ocurre a corriente cero. La tensión de circuito abierto corresponde a la cantidad de polarización directa en la unión de la célula solar debido a la corriente generada por la luz.



Valores típicos de V_{OC} e I_{SC} para diferentes tipos de células solares

Célula Solar	V_{OC}	I_{SC}
Silicio Mono	0.6 V - 0.7 V	30 mA/cm ² - 40 mA/cm ²
Silicio Poli	0.5 V - 0.6 V	25 mA/cm ² - 35 mA/cm ²
CIGS, CdTe	0.4 V - 0.6 V	20 mA/cm ² - 30 mA/cm ²
Perovskita	1 V	20 mA/cm ² - 25 mA/cm ²
Orgánica	0.5 V - 0.9 V	10 mA/cm ² - 20 mA/cm ²

El factor de llenado (Fill Factor) de una célula solar es un parámetro importante que se utiliza para evaluar su rendimiento. Se define como la relación entre la máxima potencia eléctrica que se puede obtener de la célula solar y el producto de la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto. Matemáticamente, el factor de llenado se expresa como:

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

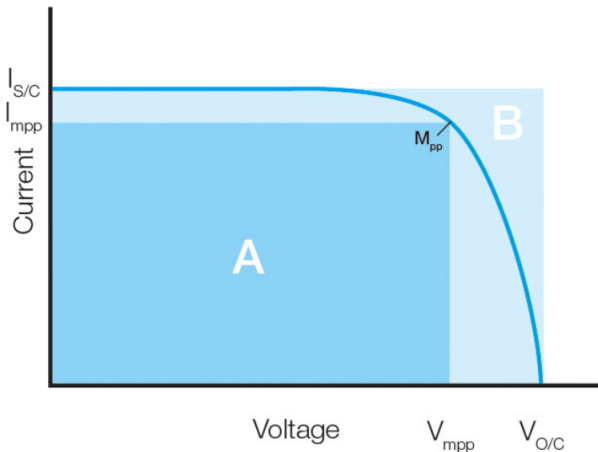
Donde:

- $P_{\max}$ es la máxima potencia eléctrica obtenida de la célula solar,
- V_{oc} es la tensión de circuito abierto, y
- I_{sc} es la corriente de cortocircuito.

Un factor de llenado más alto indica una mayor eficiencia de la célula solar en la conversión de la energía solar en electricidad.

Célula Solar

Como el FF es una medida de la “cuadratura” de la curva IV, una célula solar con un voltaje más alto tiene un FF posible más grande ya que la porción “redondeada” de la curva IV ocupa menos área.



Haciendo la intensidad igual a 0 tenemos la tensión de circuito abierto

$$V_{oc} = V_T \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right)$$

Suponiendo una celda ideal, la expresión de la potencia es

$$P = V \cdot I = V \left(I_L - I_0 \cdot \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \right)$$

Derivando con respecto a V e igualando a 0 obtenemos

$$V_{MP} = V_{oc} - V_T \ln \left(\frac{V_{MP}}{V_T} + 1 \right)$$

Reemplazando en el factor de llenado se obtiene

$$FF_0 = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1}$$

Los factores de llenado típicos varían del 50 % al 82 %. El factor de llenado para una célula PV de silicio normal es del 80 %.

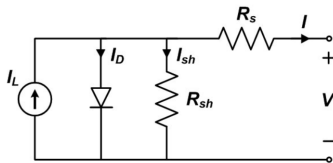
Célula Solar

La ecuación de Shockley describe la corriente generada por una célula solar genérica:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{V + I \cdot R_s}{n \cdot V_T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}$$

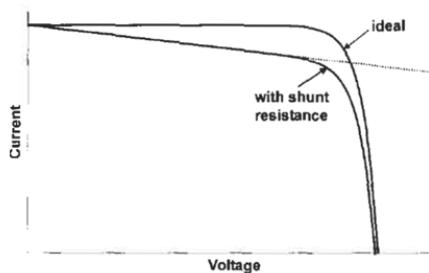
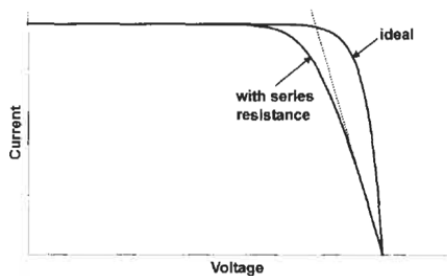
Donde:

- R_s es la resistencia en serie de la célula,
- R_{sh} es la resistencia en paralelo de la célula,
- n es el factor de idealidad.



Célula Solar

El factor de llenado se ve directamente afectado por los valores de las resistencias en serie y en derivación de la célula, así como las pérdidas de los diodos. Aumentar la resistencia en derivación (R_{sh}) y disminuir la resistencia en serie (R_s) conduce a un mayor factor de llenado, lo que resulta en una mayor eficiencia y acerca la potencia de salida de la célula a su máximo teórico.



La eficiencia de una célula solar se puede expresar en función del factor de llenado (FF) utilizando la siguiente fórmula:

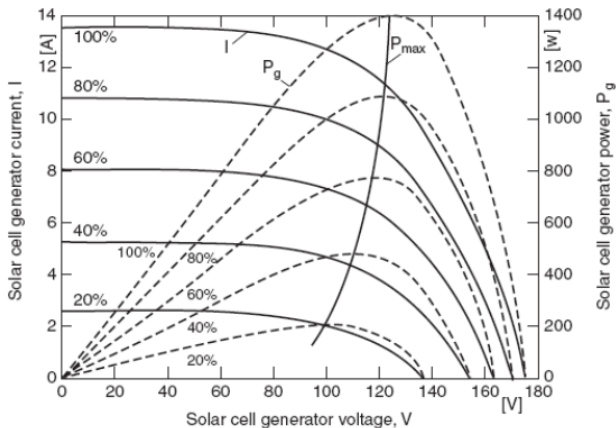
$$\text{Eficiencia} = \frac{P}{P_{\text{in}}} = \frac{\text{FF} \times V_{OC} \times I_{SC}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

Donde:

- FF es el factor de llenado,
- V_{OC} es la tensión de circuito abierto,
- I_{SC} es la corriente de cortocircuito
- P_{in} es la potencia incidente de la luz solar.

Célula Solar

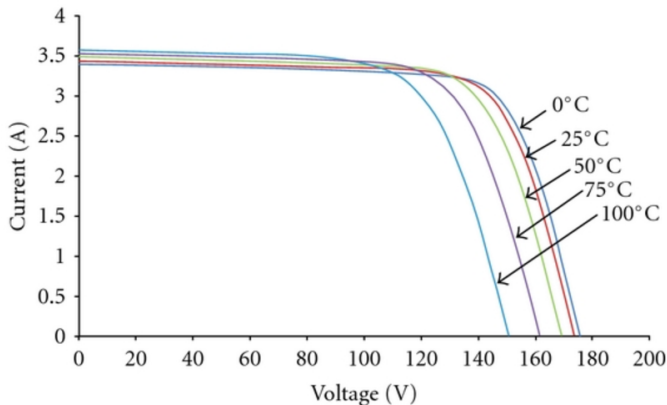
El punto de máxima potencia varía en función de la radiación solar.



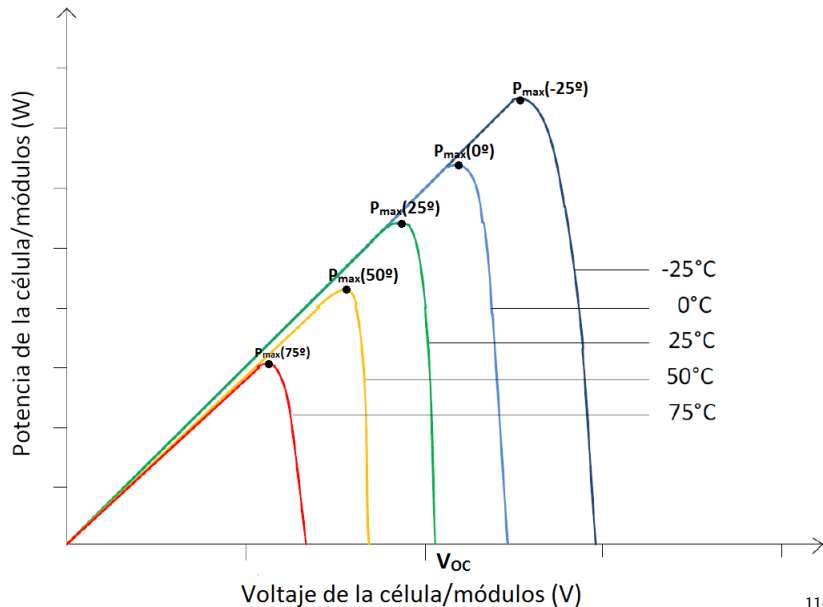
Célula Solar

La temperatura tiene un impacto significativo en la curva I-V:

- Aumento pequeño de la corriente de cortocircuito (I_{sc}).
- Reducción significativa de la tensión de circuito abierto (V_{oc}).
- Cambio en el punto de máxima potencia (MPP).
- Reducción de la eficiencia global.



Célula Solar



Características de temperatura de los paneles Eco Green Energy Helios Plus 440-455W.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41 °C $\pm$ 3 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.05%/°C

Clasificación de células solares en función del material:

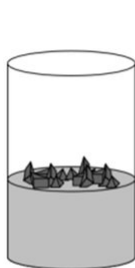
- **Silicio:** Utilizan silicio como material semiconductor principal.
 - **Cristalino:** Fabricadas con lingotes de silicio fundido, estructura cristalina ordenada y uniforme (alta eficiencia).
 - **Monocristalinas:** silicio fundido de alta pureza y eficiencia.
 - **Policristalinas:** silicio fundido que se enfría en moldes, menor eficiencia, fabricación simple.
 - **Amorfo:** Fabricadas depositando una capa delgada de silicio amorfo sobre un sustrato, tienen una estructura no cristalina y desordenada. Eficiencia más baja, más flexibles y económicas.
- **Compuesto:** materiales semiconductores compuestos que ofrecen ventajas en términos de eficiencia, flexibilidad y costos.
 - **Telururo de cadmio (CdTe):** Eficiencia moderada y un proceso de fabricación más económico.
 - **Seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS):** Alta eficiencia y adaptabilidad.
 - **Perovskita:** fabricación sencilla, alta eficiencia y versatilidad.

Método Czochralski (Cz)

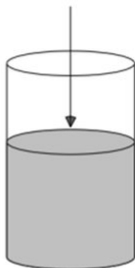
Proceso principal para fabricar silicio monocristalino de alta pureza:

- **Preparación:** Silicio de alta pureza (99.9999 %) se funde en un crisol de cuarzo a temperatura de 1420°C en atmósfera inerte.
- **Introducción de semilla:** Se introduce un pequeño cristal semilla de silicio monocristalino en contacto con el silicio fundido.
- **Crecimiento cristalino:** La semilla se retira lentamente (1-2 mm/min) mientras rota continuamente sobre su eje.
 - El silicio fundido se solidifica manteniendo la estructura monocristalina.
 - La rotación garantiza uniformidad térmica y geometría cilíndrica.
- **Resultado:** Lingote cilíndrico (boule) de hasta 300-400 kg, diámetros de 150-300 mm y longitudes superiores a 2 metros.
- **¿Por qué es redondo?** La geometría cilíndrica es inherente al proceso: la rotación continua durante el crecimiento produce simetría radial perfecta.

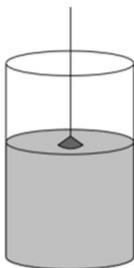
Método Czochralski (Cz)



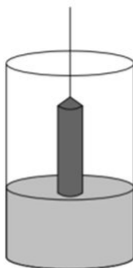
Melting of
polysilicon,
doping



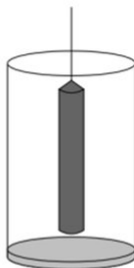
Introduction
of the seed
crystal



Beginning
of the
crystal
growth



Crystal
pulling



Formed
crystal with a
residue of
melted silicon

Del Lingote a la Célula Solar

Fabricación de paneles de silicio monocristalino

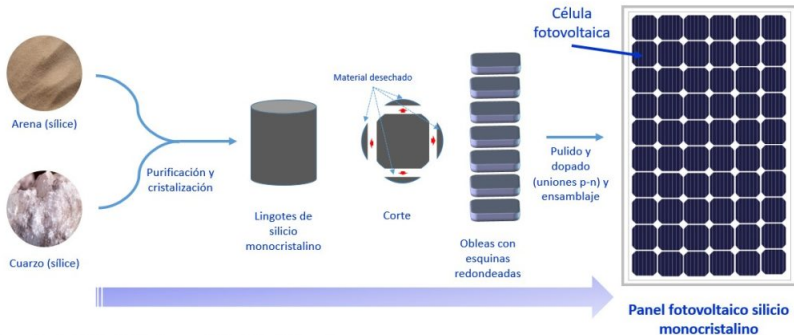


Imagen: fases de la fabricación del silicio monocristalino. © elportalde laenergía.com

Célula Solar

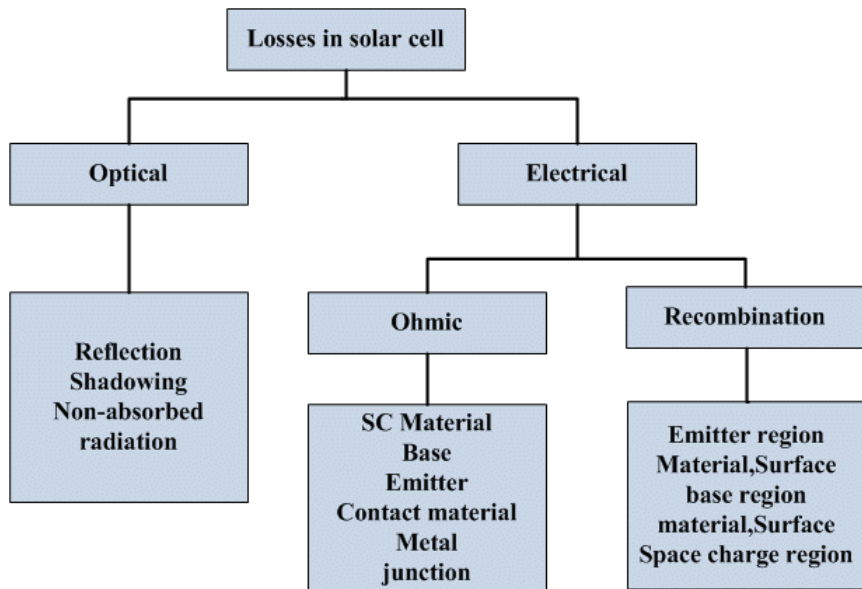
CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Los valores típicos de eficiencia para diferentes tipos de células solares varían según los materiales y las tecnologías utilizadas en su fabricación. Algunos valores generales de eficiencia para diferentes tipos de células:

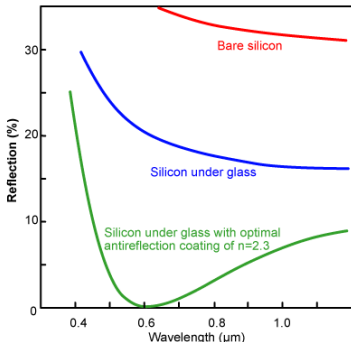
- Células solares de silicio cristalino: alrededor del 15 % al 20 %
- Células solares de capa delgada (CIGS, CdTe, etc.): alrededor del 10 % al 13 %
- Células solares de película delgada amorfa de silicio: alrededor del 6 % al 9 %
- Células solares de perovskita: alrededor del 12 % al 24 % (a partir de datos de laboratorio, aún en desarrollo)

Las principales fuentes de pérdidas en una célula solar incluyen:

- Pérdidas por reflexión.
- Pérdidas por recombinación.
- Pérdidas por resistencia.
- Pérdidas por sombreado.
- Pérdidas térmicas.
- Pérdidas por degradación.

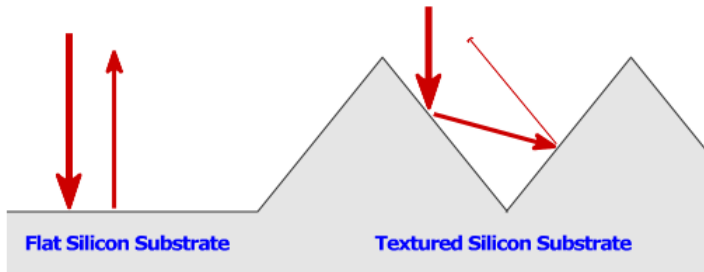


- El silicio puro tiene una alta reflexión en la superficie de más del 30 %. La reflexión se reduce con la texturización y la aplicación de recubrimientos antirreflectantes (ARC, Anti-Reflection Coating).
- Materiales comunes utilizados para las capas antirreflectantes incluyen dióxido de silicio, óxidos de metal y polímeros específicos.
- Las capas antirreflectantes mejoran no solo la eficiencia de las células solares, sino también su durabilidad y rendimiento a largo plazo.



Célula Solar

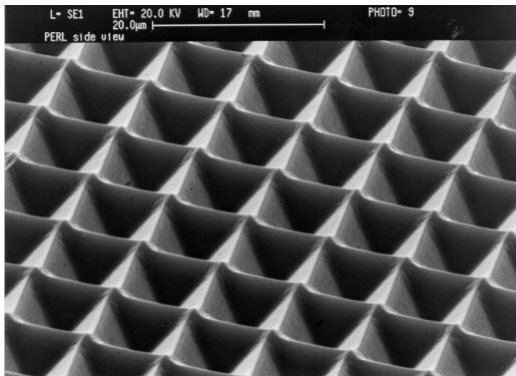
- El texturado superficial es un proceso crucial para aumentar la absorción de luz solar y mejorar la eficiencia.
- Creación de una textura en la superficie, lo que aumenta la longitud del camino óptico de la luz dentro del material semiconductor y se aumenta la probabilidad de absorción de fotones.



In a textured surface, rather than being lost, the reflected light can strike the silicon surface again, thus reducing the reflection to R^2 .

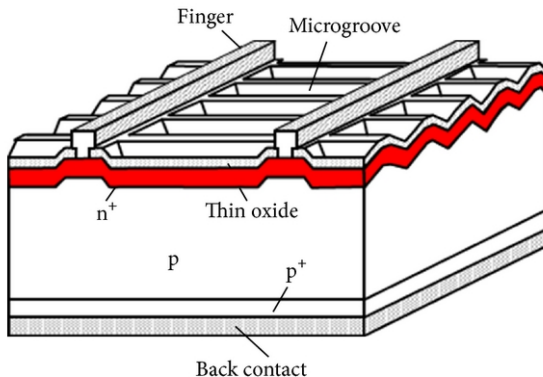
Célula Solar

- Se utilizan técnicas como el grabado húmedo o seco, la deposición de nanohilos y el grabado químico.
- Se crean estructuras microscópicas en la superficie de la célula solar, como rugosidades, pirámides o columnas, que ayudan a reducir la reflexión de la luz incidente y aumentar la captura de luz.



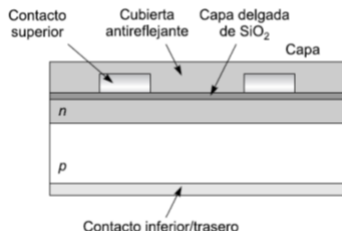
Célula Solar

- Un *microgroove* se refiere a una característica estructural en la superficie de la célula solar con forma de microsurco o microcanal para mejorar su rendimiento.
- El *microgroove* mejora la captura de luz al reducir la reflectividad y aumentar la longitud del camino óptico de la luz.



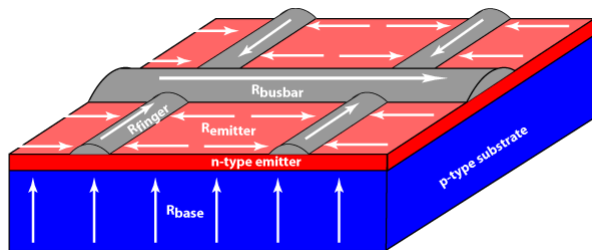
Célula Solar

- Las pérdidas por recombinación se refieren a la disminución de la eficiencia de conversión de energía solar en electricidad debido a la recombinación de portadores de carga dentro del semiconductor.
- Los mecanismos de recombinación pueden incluir:
 - Recombinación de portadores de carga en la unión p-n.
 - Recombinación en la superficie de la célula solar.
 - Recombinación a través de defectos en el material semiconductor.
- La superficie del material semiconductor es más susceptible a tener defectos que pueden atrapar los portadores de carga. La pasivación busca cubrir estos defectos.



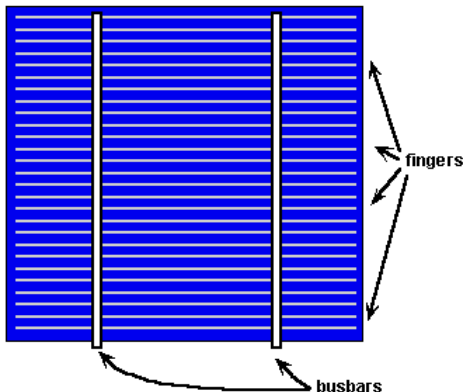
Célula Solar

- La resistencia en serie en una célula solar es una resistencia que modela la pérdida de voltaje debido a la resistencia interna del material semiconductor y otros elementos en serie de la célula solar.
- La presencia de resistencia en serie disminuye el voltaje disponible en la salida de la célula solar, lo que puede reducir la eficiencia.
- Para minimizar la resistencia en serie se usan materiales conductores eficientes.



Célula Solar

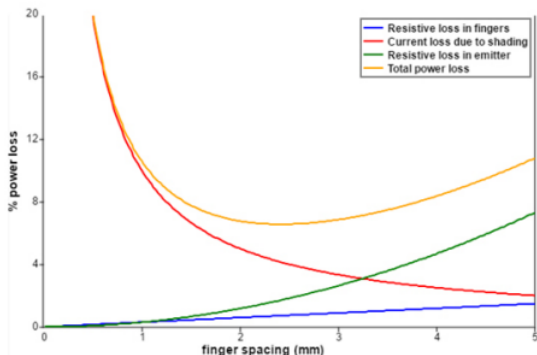
- Los contactos superiores metálicos son necesarios para recoger la corriente generada por una célula solar.
- Las “barras” se conectan directamente a los conductores externos.
- Los “dedos” son áreas más finas de metalización que recogen la corriente para entregarlas a las barras colectoras.



Célula Solar

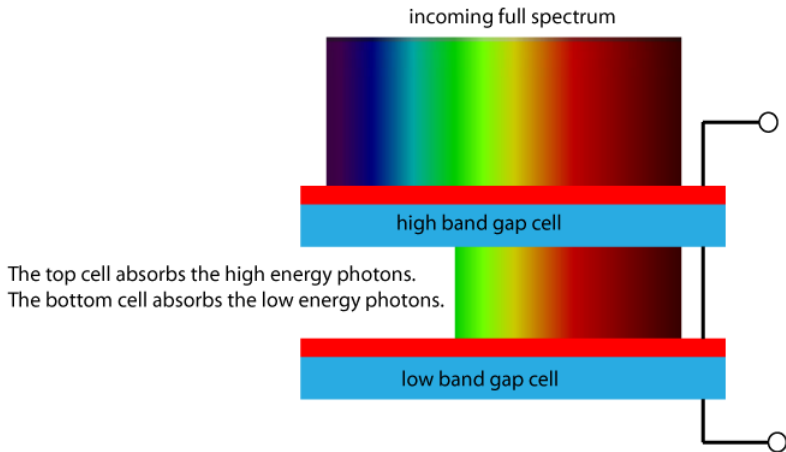
La resistencia de malla en una célula solar se refiere a la resistencia introducida por el diseño de la malla conductora utilizada en los contactos eléctricos de la célula solar. Para minimizar las pérdidas asociadas con la resistencia de malla, se pueden utilizar diferentes estrategias, incluyendo:

- Uso de materiales conductores de baja resistividad.
- Optimización del diseño y la distribución de la malla para reducir la resistencia total.



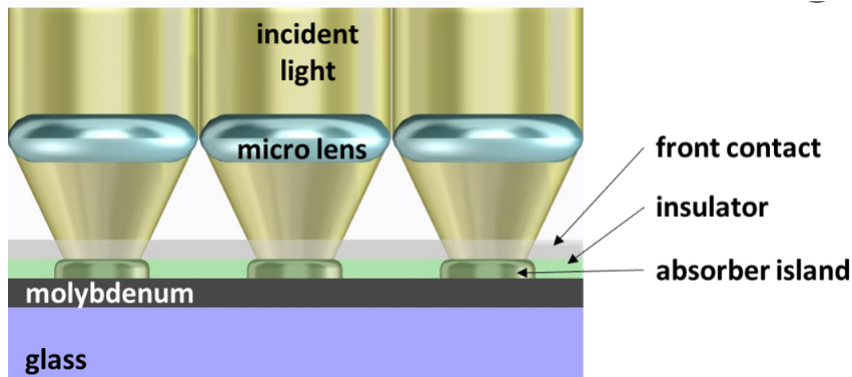
Célula Solar

Las células solares multicapa son dispositivos fotovoltaicos que consisten en varias capas de materiales semiconductores apilados secuencialmente para absorber diferentes longitudes de onda de la luz solar.



Célula Solar

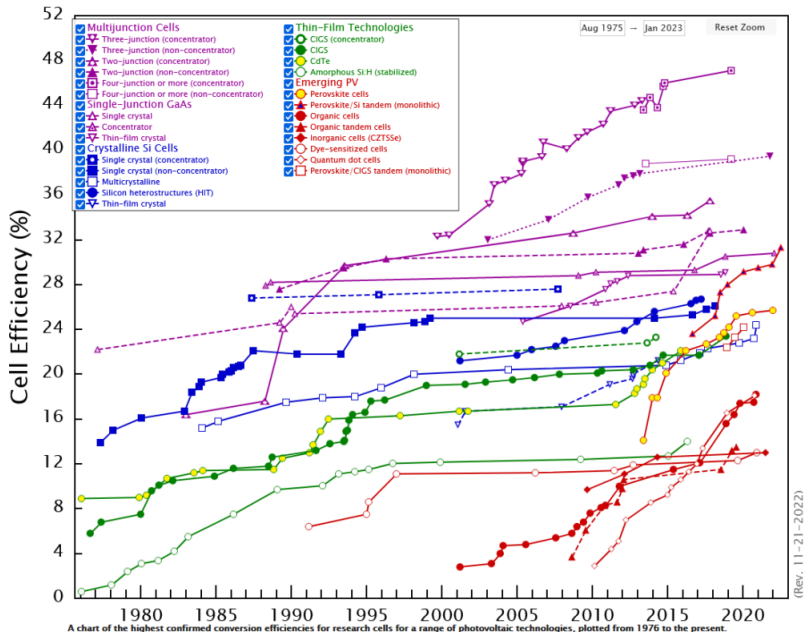
Una lente concentradora para células solares es un dispositivo óptico que se utiliza para aumentar la cantidad de luz solar que incide en una célula solar, lo que a su vez mejora la eficiencia de conversión de energía.



Material	Rendimiento de una célula η_c (laboratorio)	Rendimiento de una célula η_c (industrial)	Rendimiento de un módulo η_m (industrial)
Silicio monocristalino	24,7	18	14
Silicio policristalino	19,8	15	13
Silicio en banda	19,7	14	13
Silicio cristalino de capa delgada	19,2	9,5	7,9
Silicio amorfo	13	10,5	7,5
Célula híbrida (HIT)	20,1	17,3	15,2
CIS (Cadmio Indio Selenio)	18,8	14	10
CdTe	16,4	10	9
Célula de colorante	12,0	4	5

	TECNOLOGÍA CRISTALINA ESTÁNDAR	SILICIO AMORFO		CdTe	CIGS
		α -Si	α -Si/ μ -Si		
Eficiencia actual de los módulos	13% - 19%	5,5% - 6,5%	9% - 11%	10% - 11%	8% - 11%
Precio de los módulos (€/Wp)	2,2 - 2,6	1,8 - 2	1,9 - 2,1	1,5 - 2	1,9 - 2,1
Cuota de mercado actual	90%	3,9%		2,7%	0,2%
Principales ventajas	Tecnología madura	Tecnología con experiencia		Eficiencia relativamente alta	Fácilmente implementable en sustratos flexibles
	Cadena de suministro establecida			Bajos costes de producción	
	Alta eficiencia	Buen comportamiento frente a la temperatura		Buen comportamiento frente a la temperatura	Eficiencia relativamente alta
Principales inconvenientes	Alta dependencia de los precios de las materias primas	Baja eficiencia	Menores expectativas de mejora de eficiencia a largo plazo	Potencial toxicidad del Cd	Alto coeficiente de pérdidas por temperatura
				Deficit potencial de telurio	Deficit potencial y elevado coste del indio
			Experiencia limitada	Experiencia limitada	Experiencia limitada

Célula Solar



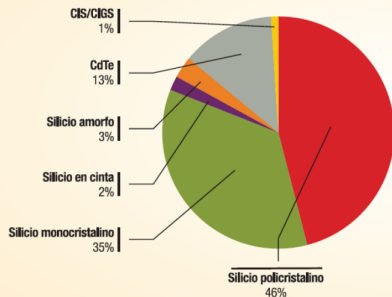
Noticia 29 Octubre 2024 en Xataka

- Las células solares de perovskita han recorrido un largo camino para demostrar su eficiencia, alcanzando recientemente un 42 % en interiores sin necesidad de silicio.
- Tradicionalmente, el tándem silicio-perovskita era necesario para alcanzar cerca del 40 % de eficiencia, pero investigaciones en China han mostrado altos rendimientos sin silicio.
- A pesar de estos avances, la durabilidad y estabilidad de las células de perovskita sigue siendo un desafío para su comercialización.

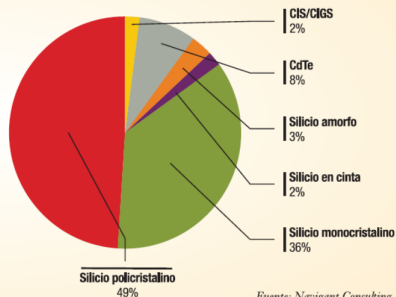


REPARTO DEL MERCADO POR TECNOLOGÍAS

2009: 7,9 GW



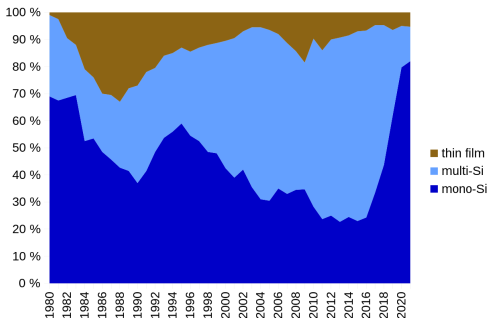
2010: 17,3 GW



Fuente: Navigant Consulting.

Célula Solar

La mayoría de los módulos solares se producen actualmente a partir de celdas solares de silicio cristalino (c-Si) fabricadas con silicio policristalino o monocristalino. En 2021, el silicio cristalino representó el 95 % de la producción mundial de energía fotovoltaica, mientras que el resto del mercado general está compuesto por tecnologías de película delgada que utilizan telururo de cadmio (CdTe), seleniuro de indio y galio con cobre (CIGS) y silicio amorfo (a-Si).

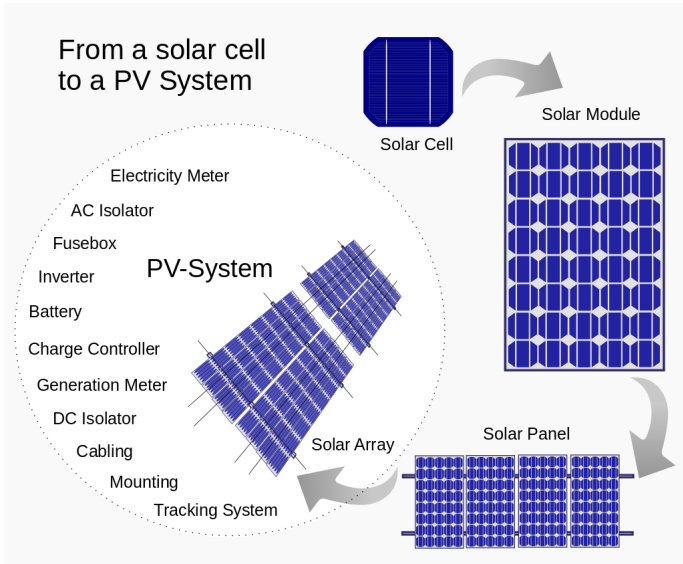


Panel Fotovoltaico

- Una célula suelta solamente es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio (0,5V) y una potencia máxima de 1-2W.
- Es preciso conectar entre sí en serie un determinado número de células para producir tensiones de 6, 12, 24V.
- Al conjunto así formado, convenientemente ensamblado, y protegido de los agentes externos se le denomina panel o módulo fotovoltaico.



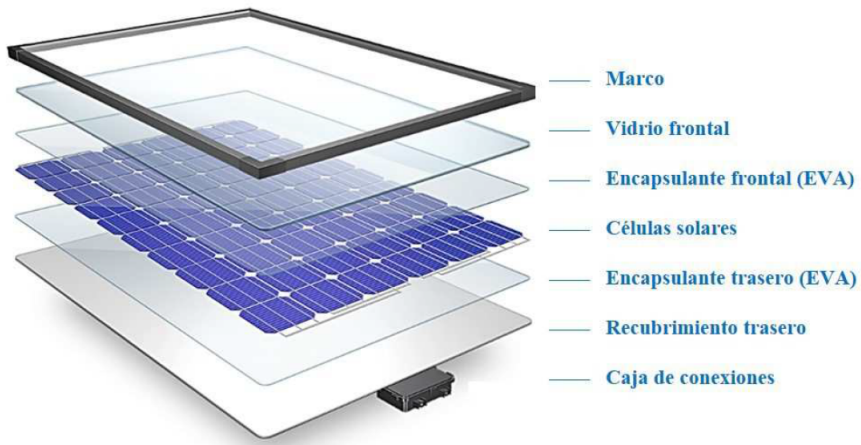
Panel Fotovoltaico



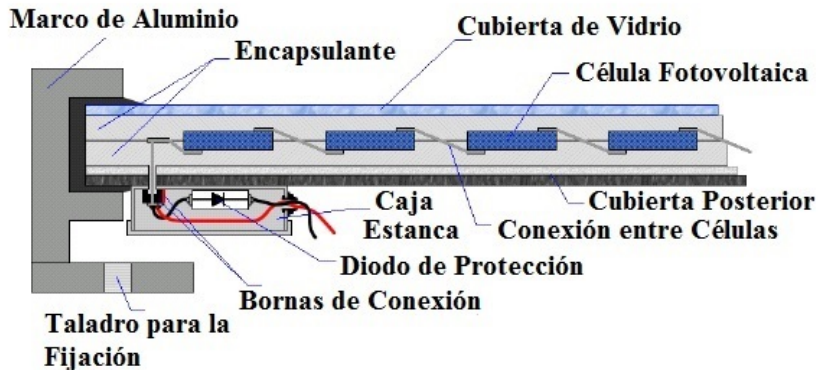
Panel Fotovoltaico

- **Celdas Fotovoltaicas:** Unidad básica que convierte la luz solar en electricidad, comúnmente de silicio.
- **Encapsulado:** Protege las células y mejora la eficiencia. Normalmente de EVA (etileno acetato de vinilo).
- **Capa Antirreflectante (ARC):** Reduce la pérdida de luz por reflexión.
- **Capa Trasera:** Sella el panel y protege contra la humedad.
- **Marco:** Proporciona rigidez estructural y protege las capas internas. Generalmente de aluminio.
- **Conexiones y Cables:** Células conectadas eléctricamente con cables para la integración al sistema eléctrico.
- **Vidrio Protector:** Transparente para permitir la entrada de luz solar. Protege contra daños físicos y ambientales.
- **Caja de Conexiones:** En la parte posterior, protege las conexiones eléctricas y sirve como punto de conexión.

Panel Fotovoltaico

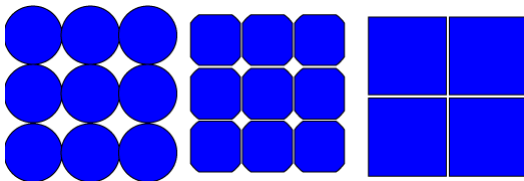


Panel Fotovoltaico



Panel Fotovoltaico

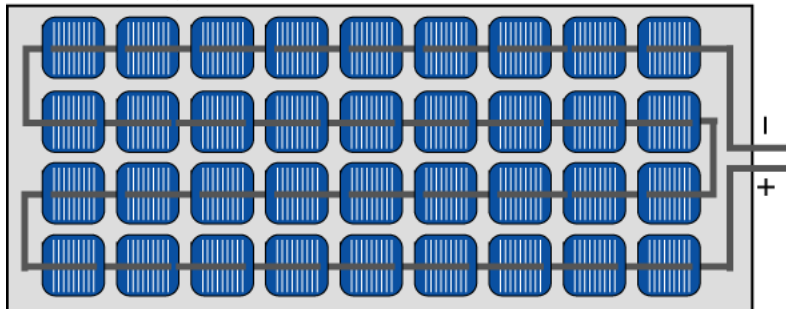
- La densidad de empaquetado de celdas solares en un módulo fotovoltaico se refiere al área del módulo que está cubierta con celdas solares en comparación con el área en blanco.
- La densidad de empaquetado afecta la potencia de salida del módulo, así como su temperatura de operación.
- La densidad de empaquetado depende de la forma de las celdas solares utilizadas. Por ejemplo, las celdas solares monocristalinas son redondas o semi-cuadradas, mientras que las obleas de silicio multicristalino son generalmente cuadradas.



- Un módulo fotovoltaico de silicio en bloque consta de múltiples celdas solares individuales conectadas, casi siempre en serie, para aumentar la potencia y el voltaje.
- El voltaje de un módulo fotovoltaico suele elegirse para ser compatible con una batería de 12V.
- Una celda solar individual de silicio tiene un voltaje en el punto de máxima potencia de alrededor de 0.5V a 25 °C. La mayoría de los módulos contienen 36 celdas solares en serie.
- Esto proporciona un voltaje de operación de 17 o 18V. El voltaje excedente restante se incluye para tener en cuenta las caídas de voltaje causadas por otros elementos.

Panel Fotovoltaico

A typical module has 36 cells connected in series



Cells	P _{MAX}	V _{MPP}	I _{MPP}	V _{OC}	I _{SC}	Efficiency
72	340 Wp	37.9 V	8.97 A	47.3 V	9.35 A	17.5%
60	280 Wp	31.4 V	8.91 A	39.3 V	9.38 A	17.1%
36	170 Wp	19.2 V	8.85 A	23.4 V	9.35 A	17%

Panel Fotovoltaico



Electrical characteristics

<i>P_{max}, V_{oc}, I_{sc}, V_{mp} and I_{mp} at STC (1000W/m², 25°C, AM 1.5):</i>								
Maximum Power (P _{max})	225W	230W	235W	240W	245W	250W	255W	260W
Open Circuit Voltage (V _{oc})	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V	37.3V	37.4V	37.5V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.16A	8.31A	8.42A	8.52A	8.62A	8.72A	8.82A	8.91A
Maximum Power Voltage (V _{mp})	30.1V	30.2V	30.3V	30.3V	30.4V	30.5V	30.6V	30.7V
Maximum Power Current (I _{mp})	7.48A	7.62A	7.76A	7.92A	8.06A	8.20A	8.34A	8.48A
Module Efficiency (%)	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	15.9

Temperature Coefficients

Temperature Coefficients of P _{max}	-0.43 %/°C
Temperature Coefficients of V _{oc}	-0.33 %/°C
Temperature Coefficients of I _{sc}	+0.056 %/°C

Absolute Maximum Limits

Maximum System Voltage	1000V DC
Module Operating Temperature	-40°C to +85°C
NOCT	45°C±2°C



www.jinkosolar.com

PHOTOVOLTAIC MODULE

Solar Module Type : JKM295M-60

Maximum Power	(Pmax)	295W
Power Tolerance		0~+3%
Maximum Power Voltage	(Vmp)	32.4V
Maximum Power Current	(Imp)	9.10A
Open Circuit Voltage	(Voc)	39.7V
Short Circuit Current	(Isc)	9.61A
Nominal Operating Cell Temp	(NOCT)	45±2°C
Maximum System Voltage		1500VDC
Maximum Series overcurrent protective device rating		15A
Operating Temperature		-40°C ~ +85°C
Application Class		A
Module Fire Performance		Type 1
Weight		19.0(kg)
Dimension		1650x992x40(mm)
STC: 1000W/m², AM1.5, 25°C		

System Fire Class Rating: See Installation Instructions for Installation Requirements to Achieve a Specified System Fire Class Rating with this Product
The fire rating is Class C in Canada



WARNING

ONLY qualified personnel should install or perform maintenance work on these modules

BE AWARE of dangerous high DC voltage when connecting modules

DO NOT damage or scratch the rear surface of the module

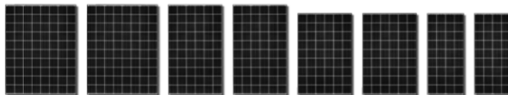
For field connections, use 12 AWG wire insulated for a minimum of 90°C, rated for wet conditions and resistant to ultra violet radiation (where exposed)



V8

Panel Fotovoltaico

SOLAR by KYOCERA



Standard Test Conditions (STC)

STC = 1000 W/m² irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum*

	KD320	KD315	KD245	KD240	KD220	KD215	KD140	KD135
Maximum Power	320W	315W	245W	240W	220W	215W	140W	135W
Number of Cells	80	80	60	60	54	54	36	36
Tolerance	+5% / -3%	+5% / -3%	+5% / -3%	+5% / -3%	+5% / -0%	+5% / -0%	+7% / -0%	+7% / -0%
Maximum System Voltage	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V
Maximum Power Voltage	40.1V	39.8V	29.8V	29.8V	26.6V	26.6V	17.7V	17.7V
Maximum Power Current	7.99A	7.92A	8.23A	8.06A	8.28A	8.09A	7.91A	7.63A
Open Circuit Voltage	49.5V	49.2V	36.9V	36.9V	33.2V	33.2V	22.1V	22.1V
Short Circuit Current	8.60A	8.50A	8.91A	8.59A	8.98A	8.78A	8.68A	8.37A
Series Fuse Rating	15A	15A	15A	15A	15A	15A	15A	15A
Length	65.4"	65.4"	65.4"	65.4"	59.1"	59.1"	59.1"	59.1"
Width	52.0"	52.0"	39.0"	39.0"	39.0"	39.0"	26.3"	26.3"
Depth	1.8"	1.8"	1.8"	1.8"	1.8"	1.8"	1.8"	1.8"
Weight	60.6 lbs	60.6 lbs	46.3 lbs	46.3 lbs	39.7 lbs	39.7 lbs	27.6 lbs	27.6 lbs

Elige un panel fotovoltaico y escribe sus principales características técnicas.

Modelo de placa	
Tipo de placa	
Máxima potencia (W)	
V_{mp} (V)	
I_{mp} (A)	
V_{oc} (V)	
I_{sc} (A)	
Factor llenado (%)	
Eficiencia (%)	
Temperatura operación ($^{\circ}\text{C}$)	
Superficie (m^2)	

■ **STC Rating (Standard Test Conditions):**

- Condiciones de prueba estándar.
- $1,000 \text{ W/m}^2$ de radiación solar, 25°C de temperatura ambiente.
- Propósito: Comparación en condiciones controladas de laboratorio.
- Datos: Potencia nominal del panel solar (Wp).

■ **PTC Rating (Photovoltaic Test Conditions):**

- Condiciones de prueba específicas para el mundo real.
- $1,000 \text{ W/m}^2$ de radiación solar, 20°C de temperatura ambiente, temperatura del módulo de 45°C .
- Propósito: Evaluación más precisa del rendimiento en condiciones más cercanas a la realidad.
- Datos: Clasificación de potencia en vatios basada en condiciones del mundo real.

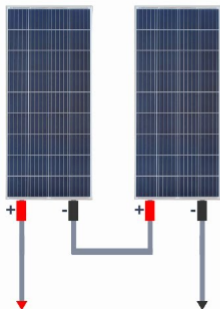
Principales Fabricantes de Paneles Solares

- **JinkoSolar:** Empresa china, líder en la fabricación a gran escala.
- **Trina Solar:** Producción masiva de módulos solares.
- **Canadian Solar:** Con sede en Canadá, destacada por la calidad.
- **JA Solar:** Producción de paneles monocristalinos y policristalinos.
- **Hanwha Q Cells:** Basada en Corea del Sur, especializada en módulos eficientes.
- **LG Solar:** Parte del conglomerado LG, paneles de alta gama.
- **SunPower:** Empresa estadounidense reconocida por alta eficiencia.
- **Longi Solar:** Especializada en células y paneles monocristalinos.
- **First Solar:** Fabricante estadounidense enfocado en tecnología de película delgada.
- **REC Group:** Con sede en Noruega, productora de módulos monocristalinos y policristalinos.

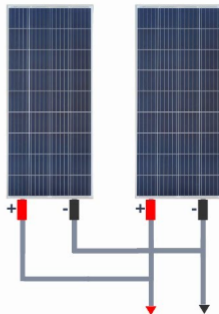
Panel Fotovoltaico

La elección entre conexión en serie, en paralelo o una combinación de ambas depende de factores como la configuración del sistema, los requisitos de voltaje y corriente, y las condiciones del entorno.

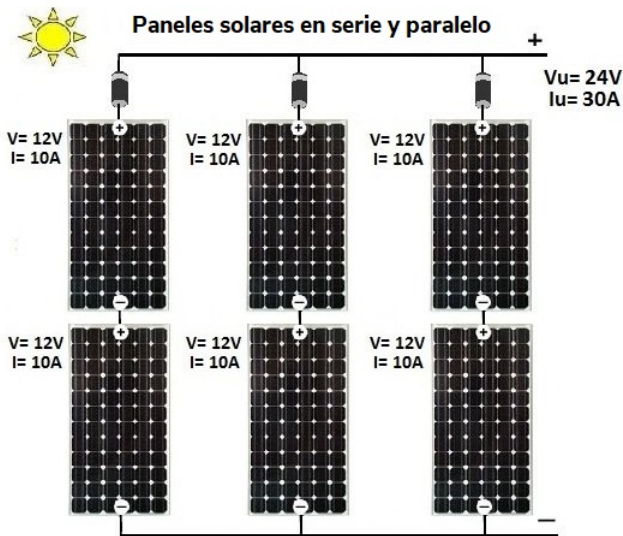
Paneles en serie



Paneles en paralelo



Panel Fotovoltaico

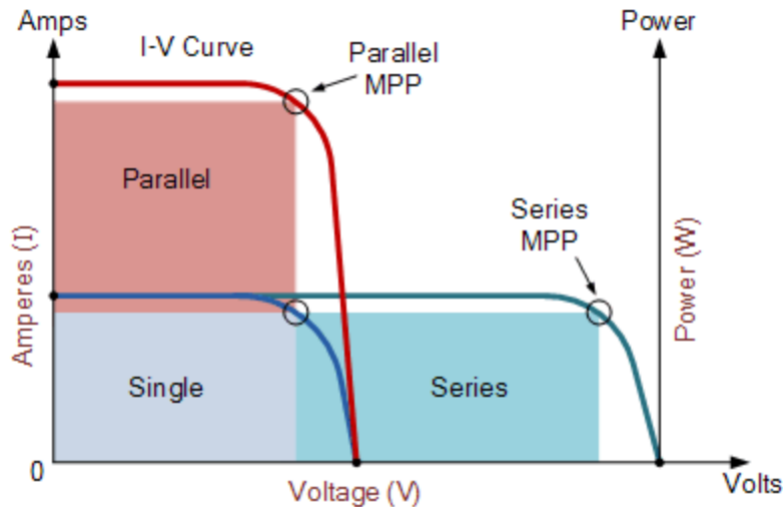


- Si todas las celdas solares en un módulo tienen características eléctricas idénticas, y todas experimentan la misma insolación y temperatura, entonces todas las celdas estarán operando exactamente a la misma corriente y voltaje.
- La curva IV del módulo fotovoltaico tiene la misma forma que la de las celdas individuales, excepto que el voltaje y la corriente están aumentados.

$$I = M \cdot I_L - M \cdot I_0 \cdot \left(e^{\frac{V}{N \cdot V_T}} - 1 \right)$$

- Donde N es el número de celdas en serie y M es el número de celdas en paralelo.

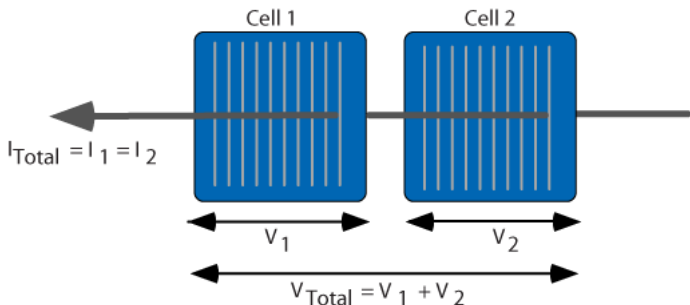
Panel Fotovoltaico



- Las pérdidas por desajuste se deben a la interconexión de celdas solares o módulos con propiedades no idénticas.
- Estas pérdidas son un problema grave cuando la salida de todo el módulo está determinada por la celda solar con la menor salida.
- Por ejemplo, si una celda solar está sombreada, la energía generada por otras celdas puede disiparse en lugar de alimentar la carga.
- La disipación localizada de energía puede provocar calentamiento y daño irreparable al módulo.

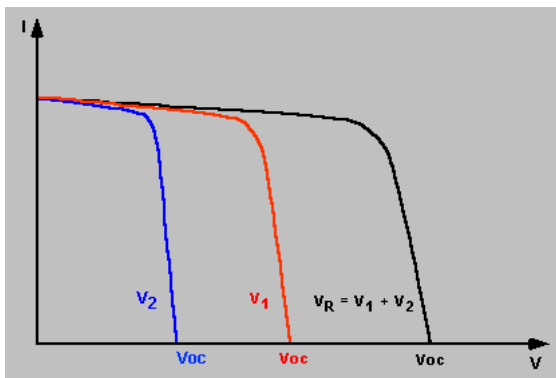
Panel Fotovoltaico

- Dado que la mayoría de los módulos fotovoltaicos están conectados en serie, los desajustes en serie son el tipo más común de desajuste.
- De los dos tipos más simples de desajuste considerados (desajuste en la corriente de cortocircuito o en el voltaje de circuito abierto), el desajuste en la corriente de cortocircuito es más común, ya que puede ser causado fácilmente por sombrear parte del módulo.



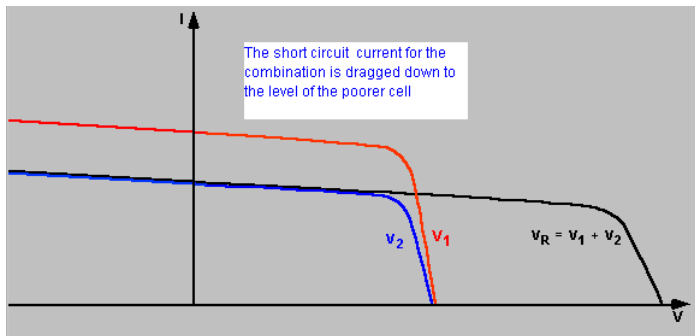
Panel Fotovoltaico

- Un desajuste en el voltaje de circuito abierto de celdas conectadas en serie es una forma relativamente benigna de desajuste.
- La corriente total del módulo fotovoltaico no se ve muy afectada.
- En el punto de máxima potencia, la potencia total se reduce porque la celda deficiente está generando menos potencia.



Panel Fotovoltaico

- Un desajuste en la corriente de cortocircuito de celdas solares conectadas en serie puede tener un impacto drástico.
- Dado que la corriente a través de las dos celdas debe ser la misma, la corriente total no puede superar la de la celda deficiente.
- En voltajes bajos, la capacidad adicional de generación de corriente de las celdas buenas se disipa en la celda deficiente.
- La alta disipación de potencia en la celda deficiente puede causar daños irreversibles al módulo.

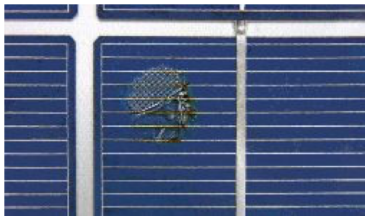


- La salida de una celda disminuye cuando está sombreada por una rama de árbol, un edificio o polvo en el módulo.
- Para objetos completamente opacos, como una hoja, la disminución en la salida de corriente de la celda es proporcional a la cantidad de la celda que está oscurecida.



- El punto caliente ocurre cuando hay una celda de baja corriente en una cadena de varias celdas de alta corriente de cortocircuito. Se produce una gran disipación de potencia en la celda deficiente.

Sometimes small scale



Sometimes large scale



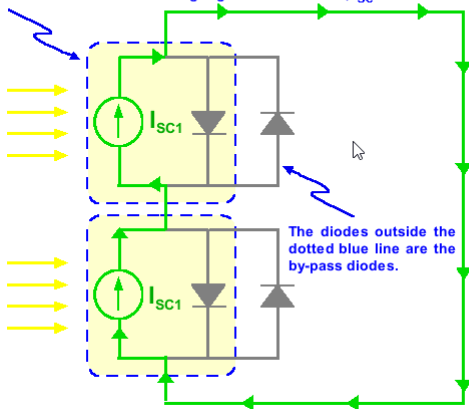
- Los efectos destructivos del calentamiento de punto caliente pueden evitarse mediante el uso de un diodo de derivación (bypass diode).
- Un diodo de derivación se conecta en paralelo, pero con polaridad opuesta, a una celda solar.
- En condiciones normales de operación, cada celda solar estará polarizada directamente y, por lo tanto, el diodo de derivación estará polarizado inversamente y efectivamente será un circuito abierto.
- Si una celda solar está polarizada inversamente debido a una falta de corriente de cortocircuito entre varias celdas conectadas en serie, entonces el diodo de derivación conduce, permitiendo que la corriente de las celdas solares buenas fluya en el circuito externo en lugar de polarizar directamente cada celda buena.

Panel Fotovoltaico

- ☒ Matched currents at short circuit
- ☐ Mismatched currents at short circuit
- ☐ Matched currents at open circuit
- ☐ Mismatched currents at open circuit

At short circuit conditions and with matched currents, the voltage across both the solar cells and the bypass diodes is zero. The bypass diodes have no effect.

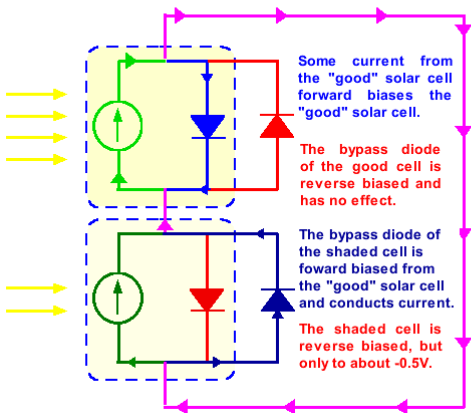
The circuit elements contained within the blue dotted lines model a solar cell. The current source is the light generated current, I_{SC} .



Panel Fotovoltaico

- ☐ Matched currents at short circuit
- ☒ Mismatched currents at short circuit
- ☐ Matched currents at open circuit
- ☐ Mismatched currents at open circuit

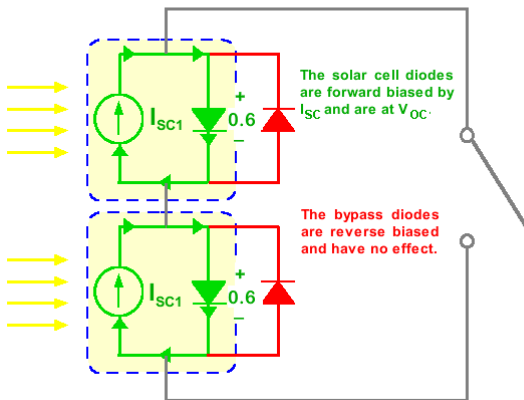
At short circuit with mismatched I_{SC} some current flows across the "good" solar cell junction, forward biasing the "good" solar cell. This voltage in turn forward biases the by-pass diode of the shaded cell, allowing it to conduct current.



Panel Fotovoltaico

- ☐ Matched currents at short circuit
- ☐ Mismatched currents at short circuit
- ☒ Matched currents at open circuit
- ☐ Mismatched currents at open circuit

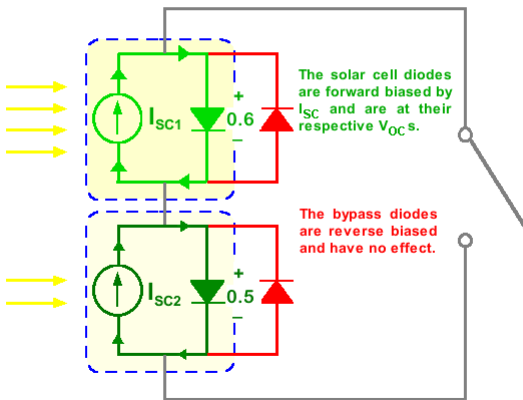
At open circuit conditions and with matched currents, the short circuit current from each solar cell forward biases the solar cell. The bypass diodes are reverse biased and have no effect on the circuit.



Panel Fotovoltaico

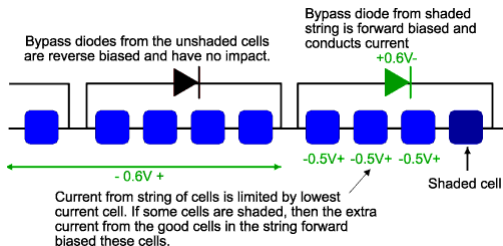
- ☐ Matched currents at short circuit
- ☐ Mismatched currents at short circuit
- ☐ Matched currents at open circuit
- ☒ Mismatched currents at open circuit

At open circuit conditions and with mismatched currents, the shaded solar cell has a reduced V_{OC} . The by-pass diodes are reverse biased and have no effect.

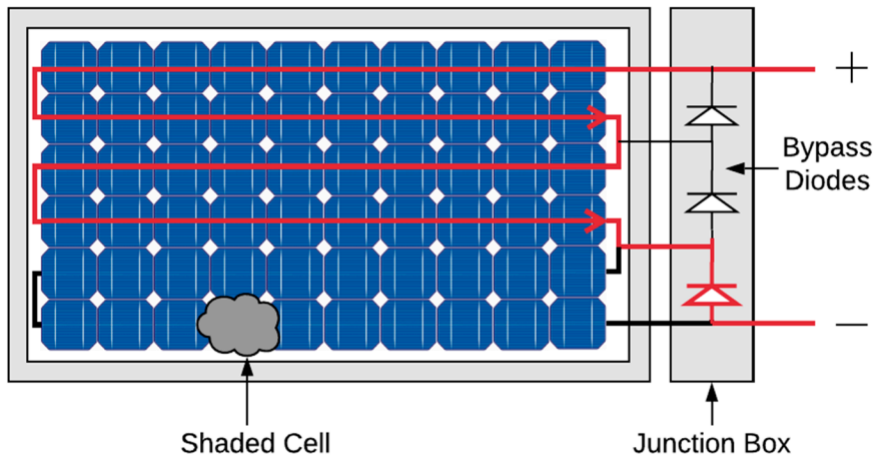


Diodos de Derivación en Grupos de Celdas Solares

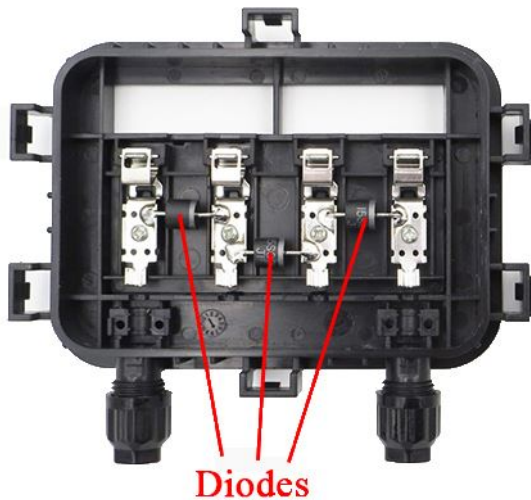
- Un diodo de derivación por celda solar es demasiado caro y los diodos de derivación suelen colocarse en grupos de celdas solares.
- El voltaje de la celda sombreada es igual al voltaje de polarización directa de las otras celdas conectadas en serie que comparten el mismo diodo de derivación, más el voltaje del diodo de derivación.
- El tamaño máximo del grupo por diodo es de aproximadamente 15 celdas/diodo para celdas de silicio. Para un módulo de 36 celdas, se utilizan 3 diodos de derivación.



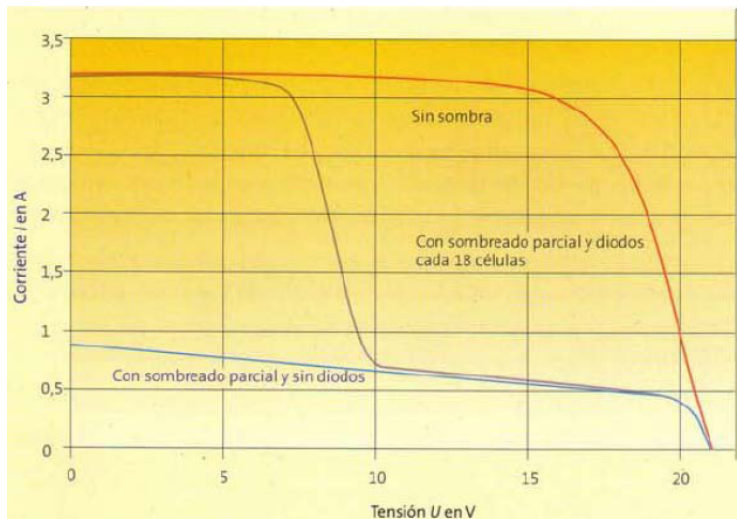
Panel Fotovoltaico



Panel Fotovoltaico

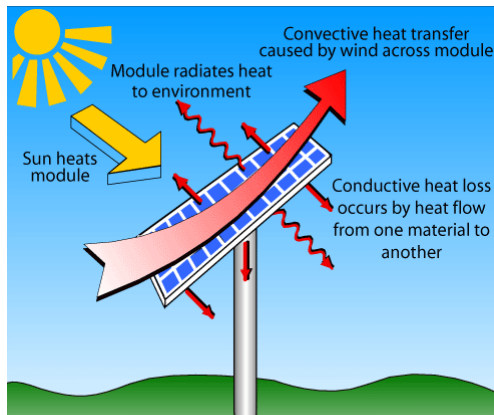


Panel Fotovoltaico



Panel Fotovoltaico

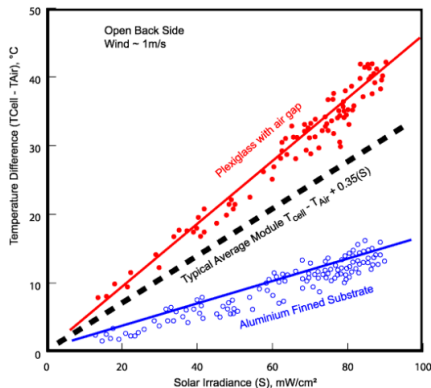
- Un efecto no deseado de la encapsulación es la alteración del flujo de calor del módulo, aumentando la temperatura de operación.
- Estos aumentos de temperatura afectan la operación del módulo PV al reducir su voltaje, disminuyendo así la potencia de salida.
- La temperatura de un módulo se determina por el equilibrio entre el calor producido, el calor perdido y la temperatura ambiente.



- Un módulo en el laboratorio trabaja a 25°C y 1 kW/m^2 .
- En realidad funciona a temperaturas más altas y radiaciones más bajas.
- La Temperatura de Celda de Operación Nominal (NOCT) se define como la temperatura alcanzada por las células abiertas en un módulo bajo las siguientes condiciones:
 - Irradiancia en la superficie de la célula = 800 W/m^2 .
 - Temperatura del aire = 20°C .
 - Velocidad del viento = 1 m/s .
 - Montaje = parte posterior abierta.

Panel Fotovoltaico

- Las ecuaciones para la radiación solar y la diferencia de temperatura entre el módulo y el aire muestran que las pérdidas por conducción y convección son lineales con la insolación solar para una velocidad del viento dada, siempre que la resistencia térmica y el coeficiente de transferencia de calor no varíen fuertemente con la temperatura.



La relación entre la temperatura de la celda solar (T_c), la temperatura ambiente (T_a), la irradiancia solar (G), y la temperatura nominal de la celda (T_n) se aproxima por la fórmula:

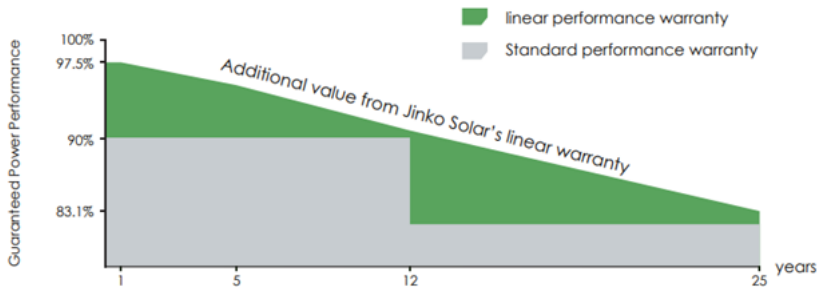
$$T_c = T_a + \frac{G(T_n - 20)}{800}$$

Donde:

- T_c : Temperatura de la celda solar.
- T_a : Temperatura ambiente.
- G : Irradiancia solar (W/m²)
- T_n : Temperatura nominal de la celda (43-47°C).

Panel Fotovoltaico

- Debido a que no tiene partes móviles, la vida útil de operación de un módulo fotovoltaico puede determinarse por la estabilidad y resistencia a la corrosión de los materiales con los que está construido.
- Las garantías de los fabricantes de hasta 40 o 50 años indican la calidad de los módulos fotovoltaicos de silicio.



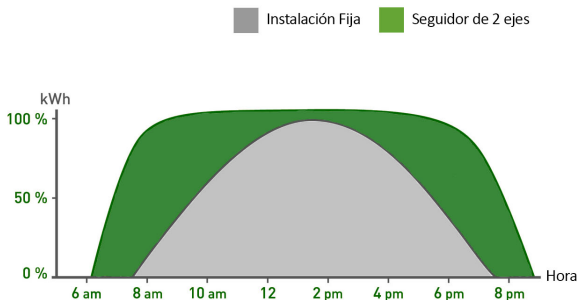
Paneles Solares: Fijos vs Móviles

Paneles Solares Fijos

- Ventajas:
 - Más simple
 - Menos costoso
 - Menos mantenimiento
- Desventajas:
 - Menor eficiencia
 - Limitado seguimiento solar

Paneles Solares Móviles

- Ventajas:
 - Mayor eficiencia
 - Seguimiento solar
- Desventajas:
 - Más complejo
 - Mayor costo inicial
 - Mayor mantenimiento



■ 1. Paneles Solares Inclınados

- Diseñados con un ángulo fijo.
- Montaje en estructuras fijas.
- Adecuados para ubicaciones con ángulos de luz solar consistentes.

■ 2. Paneles Solares Horizontales

- Montaje en posición horizontal.
- Simplicidad en el diseño.
- Ideal para regiones con altos niveles de radiación solar.

■ 3. Paneles Solares Integrados en Edificios

- Se incorporan directamente en la estructura de un edificio.
- Aprovechan la superficie disponible en paredes y techos.

Panel Fotovoltaico

Tejados inclinados



Sobre
el tejado



Integrado
al tejado

Tejados planos



Sobre
el tejado



Integrado
al tejado

Fachadas



Delante de
la fachada



Integrada
en fachada

Como sistema de sombreamiento



Tejado
del edificio



Toldos y
cortinaje metálico

Montaje campo abierto



Panel Fotovoltaico



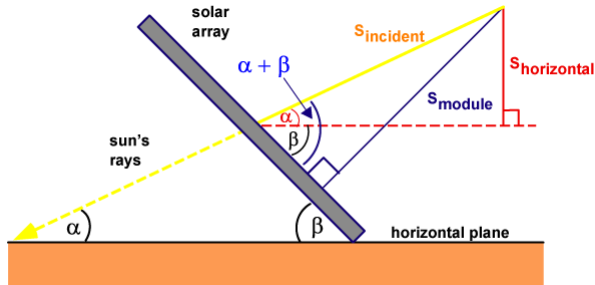
Panel Fotovoltaico



- Los paneles deben instalarse de forma que se aproveche al máximo la energía solar disponible durante todo el tiempo de utilización.
- Los captadores se orientarán al sur. A los efectos de estas especificaciones se admitirán desviaciones de $\pm 45^\circ$.
- La inclinación depende de la localización y de la utilización prevista.
- En España, en zonas del sur la inclinación sea de $20-25^\circ$, mientras que en el norte se acerca a los 40° .

Panel Fotovoltaico

La cantidad de radiación solar incidente en una superficie de módulo inclinada es la componente de la radiación solar incidente que es perpendicular a la superficie del módulo.



$$S_{horizontal} = S_{incidente} \cdot \sin(\alpha) = S_{incidente} \cdot \cos(\theta)$$

$$S_{inclinado} = S_{incidente} \cdot \sin(\alpha + \beta)$$

Donde β es la inclinación del módulo solar.

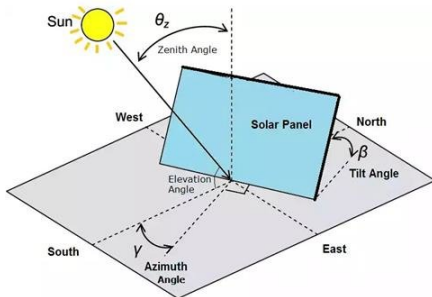
Panel Fotovoltaico

Para un módulo con una inclinación y orientación arbitrarias, la radiación se calcula como:

$$S_{\text{modulo}} = S_{\text{incidente}} (\cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\psi - \theta) + \sin(\alpha) \cos(\beta))$$

Donde:

- α es la elevación del sol.
- θ es el acimut solar.
- β es la inclinación del panel.
- ψ es el acimut del panel.



Panel Fotovoltaico

Para un módulo con una inclinación y orientación arbitrarias, la radiación se calcula como:

$$S_{\text{modulo}} = S_{\text{incidente}} (\cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\psi - \theta) + \sin(\alpha) \cos(\beta))$$

El coeficiente por el que multiplicamos la $S_{\text{incidente}}$ puede ser negativo. Por ejemplo, si tenemos un panel vertical ($\beta = 90^\circ$) orientado al sur ($\psi = 180^\circ$) y el sol se encuentra en el noreste ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$), entonces

$$\cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\psi - \theta) + \sin(\alpha) \cos(\beta) = \cos(\alpha) \cos(\psi - \theta) < 0$$

Esto quiere decir que el sol está a las espaldas del panel vertical. Por lo tanto la radiación directa es nula y solo habría radiación difusa. Para evitar tener valores de S_{modulo} negativos, lo más sencillo es hacer:

$$S_{\text{modulo}} = S_{\text{incidente}} \max(0, (\cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\psi - \theta) + \sin(\alpha) \cos(\beta)))$$

- Crea una función que determine la radiación solar en un modulo en función de la latitud, el día, la hora, la inclinación del panel y el acimut del panel.
- Teniendo en cuenta la superficie y la eficiencia de tu panel solar, crea una función que determine la producción eléctrica de tu panel en función de la latitud, el día, la hora, la inclinación del panel y el acimut del panel. Por simplicidad, ignoramos la radiación difusa, las sombras, y la dependencia de la eficiencia con la temperatura.

Proyecto Solar

Determina la producción eléctrica media diaria a lo largo de un año para tu panel solar colocado sobre una superficie horizontal o sobre una pared vertical orientada al sur.

Producción eléctrica media diaria superficie horizontal (kWh)

Producción eléctrica media diaria superficie vertical (kWh)

Proyecto Solar

Determina la producción eléctrica media diaria de tu panel solar para distintas inclinaciones y orientaciones. Elige la que creas más conveniente.

	$\beta = 10^\circ$	$\beta = 20^\circ$	$\beta = 30^\circ$	$\beta = 40^\circ$	$\beta = 50^\circ$
$\psi = 130^\circ$					
$\psi = 140^\circ$					
$\psi = 150^\circ$					
$\psi = 160^\circ$					
$\psi = 170^\circ$					
$\psi = 180^\circ$					
$\psi = 190^\circ$					
$\psi = 200^\circ$					
$\psi = 210^\circ$					
$\psi = 220^\circ$					
$\psi = 230^\circ$					

Panel Fotovoltaico

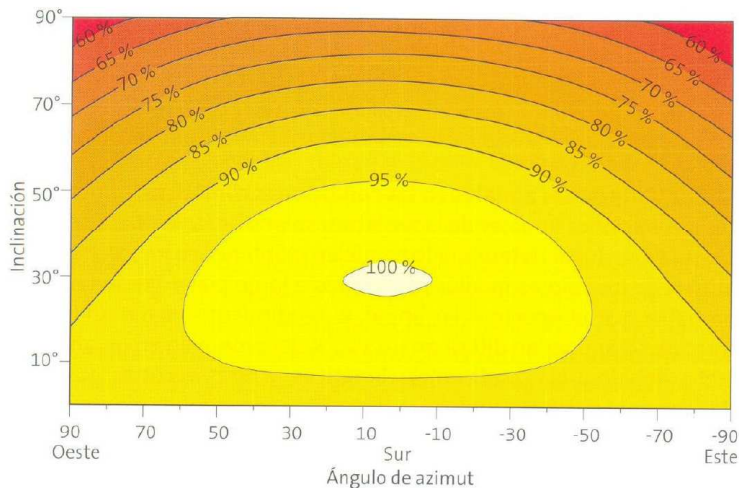


Figura 11.1 Irradiación solar anual (% del valor máximo) incidente en el plano del campo de captadores, en función de la orientación e inclinación (localizado en la latitud 42° Norte).

■ Seguimiento Solar:

- Aumenta la eficiencia de la captación de energía solar.
- Dos tipos comunes: seguimiento de un eje y seguimiento de dos ejes.

■ Seguimiento de un Eje:

- Gira alrededor de un eje, generalmente horizontal.
- Sigue la posición del sol a lo largo del día.

■ Seguimiento de Dos Ejes:

- Gira alrededor de dos ejes, horizontal y vertical.
- Sigue la posición del sol a lo largo del día y a lo largo del año.

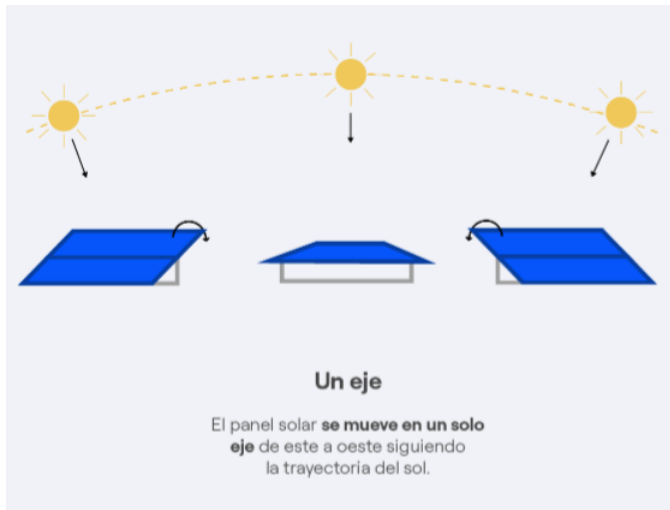
■ Ventajas:

- Mayor captación de radiación solar.
- Rendimiento mejorado en comparación con sistemas fijos.

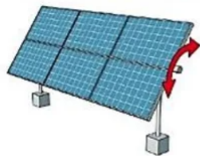
■ Desventajas:

- Costo inicial más alto.
- Mayor complejidad y mantenimiento.

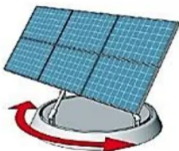
Panel Fotovoltaico



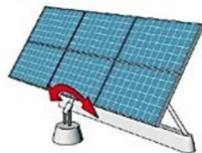
Panel Fotovoltaico



Horizontal

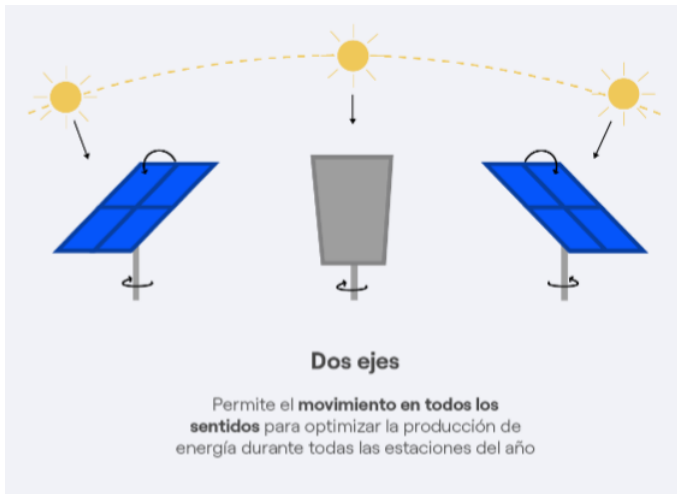


Azimut



Polar

Panel Fotovoltaico



Determina la producción eléctrica diaria media a lo largo de un año si el módulo solar que has escogido permitiera un seguimiento del sol con dos ejes de manera que la radiación fuera siempre perpendicular a la superficie del panel.

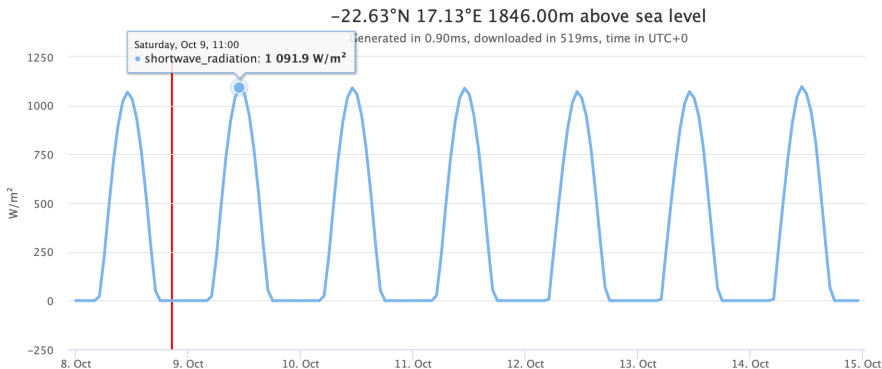
Producción eléctrica media diaria seguimiento dos ejes (kWh)

Para el panel solar que has elegido, compara la producción eléctrica diaria media a lo largo del año para las distintas disposiciones. Comenta los resultados.

	$\beta(^{\circ})$	$\psi(^{\circ})$	Producción (kWh)
Horizontal	0°	-	
Vertical	90°	180°	
Fijo			
Dos ejes	-	-	

Proyecto Solar

Para el panel solar seleccionado, y teniendo en cuenta la inclinación y la orientación del montaje fijo, determina la evolución temporal de la producción eléctrica (kWh) a lo largo del año con una resolución horaria.



- **Paneles Solares:** Convierten la luz solar en electricidad.
- **Inversor:** Convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles en corriente alterna (CA) utilizable.
- **Baterías:** Almacenan energía para uso durante la noche o en días nublados.
- **Controlador de Carga:** Regula la carga y descarga de las baterías para prolongar su vida útil.
- **Interruptor de Corriente:** Permite desconectar la instalación en caso de mantenimiento o emergencia.
- **Conexión a la Red (si aplica):** Permite vender el exceso de energía a la red eléctrica.

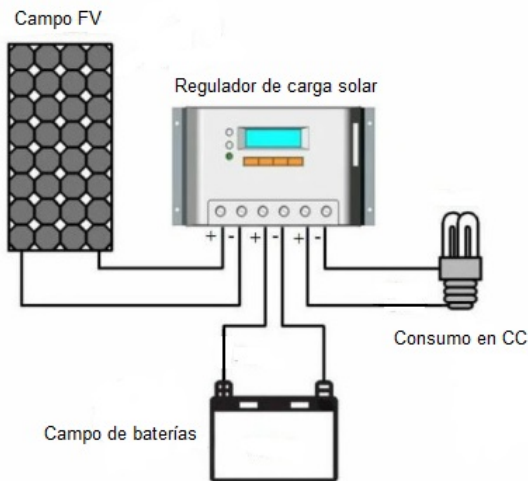
Instalación Solar Fotovoltaica



- Un controlador de carga, regulador de carga o regulador de la batería, limita la velocidad a la que la corriente eléctrica se suma o se extrae de las baterías eléctricas.
- Se previene la sobrecarga y puede proteger contra la sobretensión, que puede reducir el rendimiento de la batería o la esperanza de vida, y puede suponer riesgo de seguridad.
- También puede prevenir por completo el drenaje ("descarga profunda") de una batería, o realizar vertidos controlados para proteger la vida de la batería

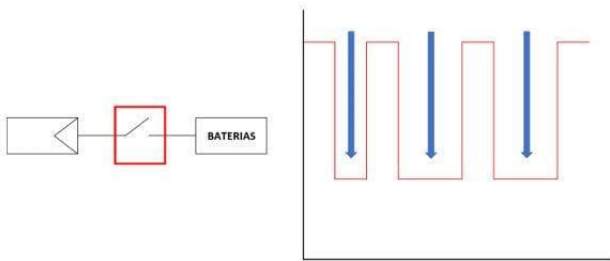


Instalación Solar Fotovoltaica



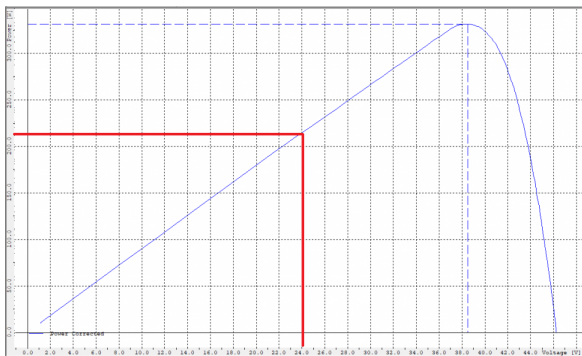
Instalación Solar Fotovoltaica

- Regulador PWM (Pulse-width modulation)
 - Modulación por ancho de pulsos
 - Misma tensión para paneles y baterías
 - La energía a un lado y al otro del regulador es la misma. Los paneles no trabajen en su punto de máxima potencia, sino en el que impone la batería según su estado de carga.
 - Pérdidas de potencia de hasta un 30 %.



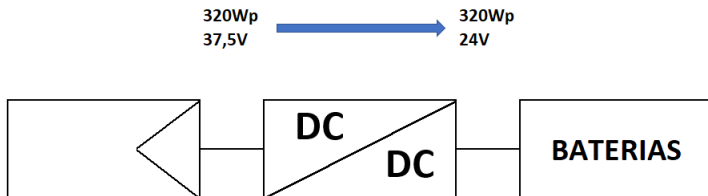
Instalación Solar Fotovoltaica

En el regulador PWM, cuando se cierra el “interruptor” que hace que cargue la batería lo que se hace es que pone al panel a trabajar a la tensión que tenga la batería en ese momento. Por tanto, si se trabaja a 24V plasmamos las dos líneas rojas en la gráfica y vemos que el panel estaría generando alrededor de 215W (una cifra inferior a la que realmente puede funcionar el panel). Con lo cual, no se aprovechará toda la potencia que puede dar el panel. Esta pérdida de potencia podría llegar al 30 %.

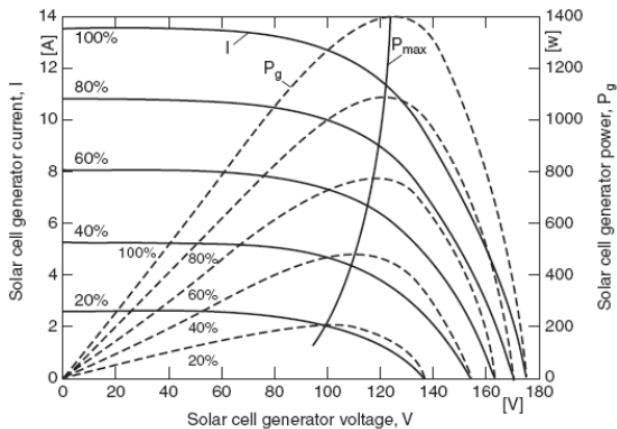


Instalación Solar Fotovoltaica

- MPPT (Maximum power point tracking)
 - Funciona como un convertidor DC/DC el cual siempre mantiene el panel funcionando en su punto de máxima potencia fijando la tensión equivalente y convirtiendo la potencia del módulo a la misma potencia en una tensión inferior aumentando la corriente.
 - Permite una mayor flexibilidad en la configuración de los paneles. Permite utilizar paneles solares que inicialmente no estaban destinados a la aplicación que se busca.

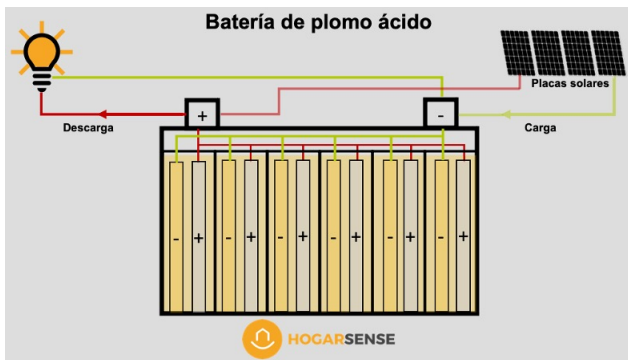


Instalación Solar Fotovoltaica



Instalación Solar Fotovoltaica

- El objetivo principal del acumulador es almacenar la energía producida en los paneles para poder utilizarla en aquellos periodos en los que no hay producción.
- En el proceso de carga el acumulador almacena energía proveniente de los paneles.
- En el proceso de descarga el acumulador suministra energía a la carga.

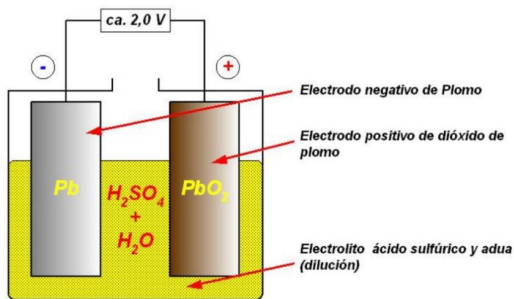


Características Principales de Baterías en Instalaciones Fotovoltaicas:

- **Capacidad de Almacenamiento:** Medida en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (kWh).
- **Tensión:** Expresada en voltios (V).
- **Ciclos de Carga y Descarga:** Número de ciclos completos antes de la disminución significativa de la capacidad.
- **Profundidad de Descarga (DoD):** Porcentaje de capacidad que se puede utilizar antes de recargar.
- **Eficiencia:** Proporción de energía extraída en comparación con la energía utilizada para cargar.
- **Compatibilidad con Ciclo Profundo:** Diseñadas para descargas repetidas a lo largo del tiempo.
- **Tecnología de la Batería:** Diversas tecnologías como plomo-ácido, iones de litio, de flujo, etc.
- **Dimensiones y Peso.**

Instalación Solar Fotovoltaica

- La batería de ácido-plomo es un tipo de batería húmeda muy utilizada (90 %) en instalaciones fotovoltaicas.
- Suele proporcionar una tensión de 6 V, 12 V u otro múltiplo de 2, ya que la tensión que suministra cada celda de energía es de 2 V.
- La batería está formada por un depósito de ácido sulfúrico y dentro de él un conjunto de placas de plomo, paralelas entre sí y dispuestas alternadamente en cuanto a su polaridad positiva (+) y negativa (-).



Características de la batería de plomo-ácido:

■ **Ventajas:**

- Ampliamente disponible y económico.
- Tecnología madura y probada.
- Adecuado para aplicaciones estacionarias.
- Fácil mantenimiento.

■ **Desventajas:**

- Menor vida útil en comparación con algunas tecnologías más nuevas.
- Necesita mantenimiento regular (recarga de agua destilada).
- Mayor peso y tamaño en comparación con tecnologías modernas.

■ **Ciclos de Vida:** Generalmente entre 300 y 700 ciclos a 80 % de profundidad de descarga.

■ **Aplicaciones:** Sistemas de respaldo, sistemas de energía renovable fuera de la red.

Instalación Solar Fotovoltaica

ECOSAFE OPZS



- Elementos de 2V para instalaciones fotovoltaicas aisladas
- Tecnología Plomo Ácido
- Capacidades desde 530 Ah hasta 2640 Ah a un régimen de 120 horas (C120)
- Hasta 5000 ciclos con una profundidad de descarga del 25%
- más...

ECOSAFE OPZV



- Elementos de 2V para instalaciones fotovoltaicas aisladas
- Tecnología Gel - Totalmente Herméticos
- Idóneos para instalaciones muy remotas no tripuladas
- Capacidades desde 273 Ah hasta 3932 Ah a un régimen de 120 horas (c120)
- más...

BATERÍAS SOLARES PB-ABIERTO



- Baterías de 6V y 12V para instalaciones solares fotovoltaicas
- Baterías de Ciclo Profundo, tecnología Plomo Ácido
- Desde 94Ah a 1235Ah in C100
- Larga vida útil
- más...

BATERÍAS SOLARES AGM



- Baterías de 12V para instalaciones solares fotovoltaicas
- Baterías de Ciclo Profundo, tecnología Plomo Ácido
- Desde 84Ah a 254AH en C100
- Larga vida útil
- más...

Instalación Solar Fotovoltaica

- Los inversores convierten la corriente continua (CC) de paneles solares en corriente alterna (CA).
- Esencial en sistemas fotovoltaicos para uso de equipos convencionales en corriente alterna.
- Funciones adaptadas para fotovoltaicos, como el seguimiento del punto de máxima potencia.
- Ofrece protección contra el aislamiento para evitar problemas en la red eléctrica.
- Dos tipos:
 - **Independientes:** el inversor obtiene su energía de corriente continua (CC) de baterías cargadas por matrices fotovoltaicas. No se conectan de ninguna manera a la red eléctrica.
 - **Conectados a la Red:** convierte corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) para inyectarla en una red eléctrica. Deben hacer coincidir con precisión con el voltaje, la frecuencia y la fase de la red.

Instalación Solar Fotovoltaica



Entrada CC	INVERSOR 100 kW PLUS	INVERSOR 100 kW TL PLUS
Potencia recomendada	120 kWp	120 kWp
Max. Corriente en continua	240 A	240A
Rango de tensión en continua	450 - 900 V (1.000 V kit)	450 - 900 V (1.000 V kit)
Rango de tensión MPPT en continua	450 - 820 V	450 - 820 V
Nº de entradas en continua	1	1
Max. Sección de cable por entrada	185 mm ²	185 mm ²
Inicio de producción	0,5% Pn aprox.	0,5% Pn aprox.
Salida CA		
Nº de fases	3	3
Potencia CA nominal	100 kW	100 kW
Máxima potencia CA	110 kW	110 kW
Tensión nominal CA	400 Vrms	270 Vrms
Rango de tensión CA permitido	-15 % / +10%	-15 % / +10%
Frecuencia de salida	47 - 52 Hz	47 - 52 Hz
Factor de potencia	1 (>0.99@ Pn)	1 (>0.99@ Pn)
Distorsión armónica de corriente CA (THD)	<3% @ Pn	<3% @ Pn
Corriente nominal CA por fase	145 Arms	215 Arms
Max. corriente CA por fase	160 Arms	250 Arms
Sección max. cable CA por fase	185 mm ²	185 mm ²
Rendimientos		
Rendimiento máximo	96,6%	97,8%
Rendimiento europeo	95,5%	97,5%
Consumo energético en Stand-by	<100W	<100W

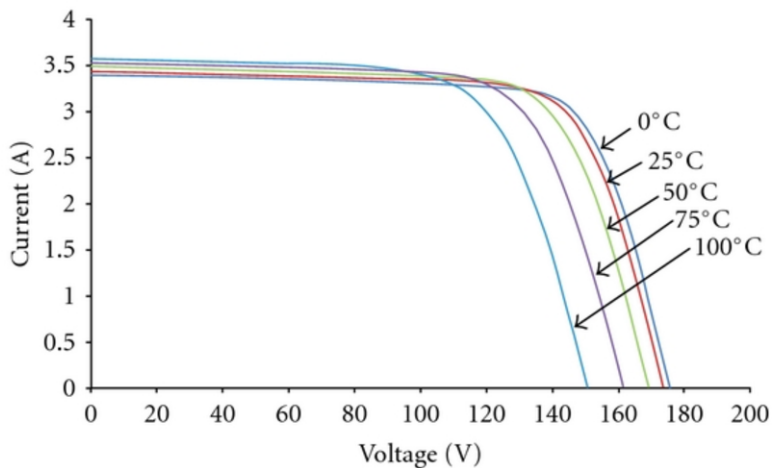
- Hay que garantizar que para cualquier condición climática, el rango de tensiones a la salida del generador fotovoltaico debe estar dentro del rango de tensiones admisibles a la entrada del inversor $V_I^{\text{mín}}, V_I^{\text{máx}}$.
- El número de módulos en serie N está limitado por

$$\frac{V_I^{\text{mín}}}{V_{oc}^{\text{mín}}(70^{\circ}C)} \leq N \leq \frac{V_I^{\text{máx}}}{V_{oc}^{\text{máx}}(-10^{\circ}C)}$$

- El número de módulos en paralelo M está limitado por la intensidad máxima del inversor

$$M \leq \frac{I_I^{\text{máx}}}{I_{cc}^{\text{máx}}(70^{\circ}C)}$$

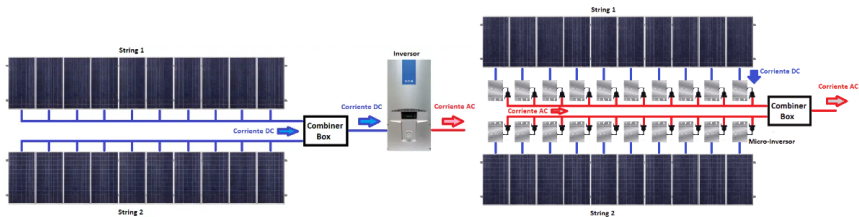
Instalación Solar Fotovoltaica



- Un microinversor solar es un dispositivo que convierte la corriente continua (CC) de un único panel solar en corriente alterna (CA).
- A diferencia de los inversores centrales, que manejan múltiples paneles a la vez, los microinversores trabajan individualmente para cada panel, lo que ofrece varias ventajas en términos de eficiencia y flexibilidad (minimizando el impacto de la sombra).
- Agregar más paneles es sencillo, ya que cada módulo tiene su propio inversor. La identificación y resolución de problemas es más fácil con monitoreo a nivel de módulo.
- Mayor coste comparado con inversores centrales.

Instalación Solar Fotovoltaica

La desventaja principal de los microinversores es su precio. Hasta instalaciones de 2-3 kW suele ser más barato utilizar microinversores. A partir de esta potencia ya empieza a ser más interesante desde el punto de vista económico el uso de inversores centrales.



Instalación Solar Fotovoltaica

En el espacio, donde no hay acceso a fuentes de energía convencionales, los paneles solares fotovoltaicos son una opción clave para generar electricidad.



Instalación Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se utiliza comúnmente en sistemas de comunicaciones remotos, proporcionando una fuente de energía sostenible y confiable para estaciones base, repetidores y otros equipos de telecomunicaciones ubicados en áreas remotas.



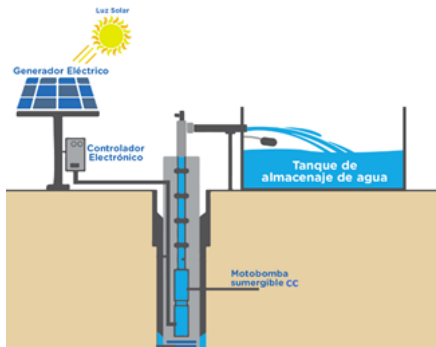
Instalación Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica también se utiliza en sistemas de señalización de tráfico para proporcionar una fuente de energía autónoma y sostenible.

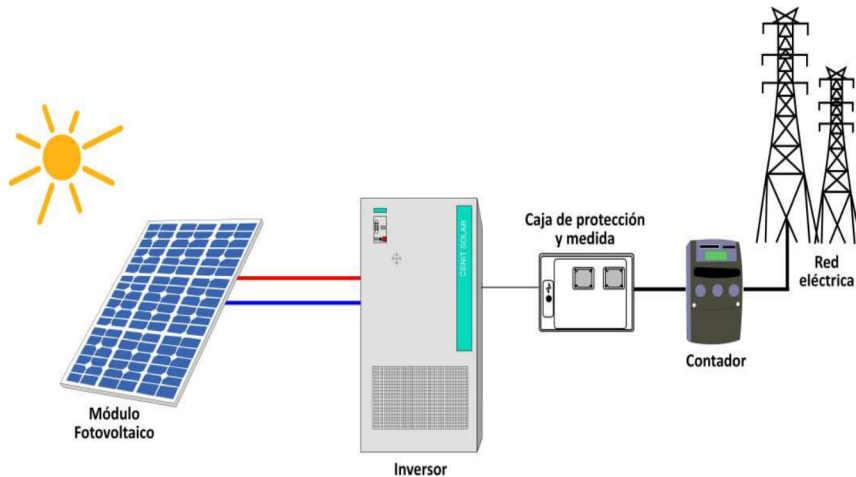


Instalación Solar Fotovoltaica

El bombeo fotovoltaico se refiere al uso de sistemas de energía solar fotovoltaica para alimentar bombas de agua. Este enfoque es especialmente beneficioso en áreas remotas o fuera de la red eléctrica convencional, donde la energía solar puede proporcionar una solución sostenible y autónoma para las necesidades de bombeo.



Instalación Solar Fotovoltaica

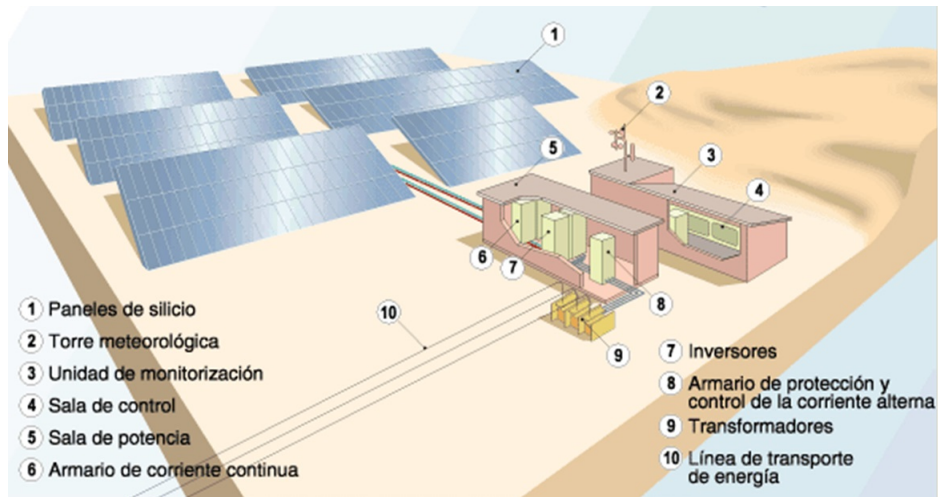


Instalación fotovoltaica conectada a red:

- La instalación fotovoltaica genera parte de la demanda eléctrica.
- La parte de la demanda no suministrada por la instalación fotovoltaica es obtenida a través de la red.
- El objetivo de la instalación no es suministrar la demanda del edificio sino conseguir un ahorro económico.
- Actualmente hay 2 variantes en España:
 - Sin venta de excedentes a la red. Los excesos de producción no son inyectados a la red. El consumidor deberá instalar un interruptor para impedir el traslado de la energía sobrante a la red.
 - Con venta de excedentes a la red. Necesita un contador bidireccional. El precio de venta puede variar.

- Las centrales solares fotovoltaicas son instalaciones de gran escala que utilizan paneles solares para convertir la energía solar en electricidad.
- Estas centrales incluyen paneles solares, inversores para convertir la corriente continua en corriente alterna, estructuras de montaje, subestaciones eléctricas, transformadores y sistemas de monitoreo.
- Pueden ser fijas o seguir la posición del sol, y su electricidad se integra en la red eléctrica convencional.
- Algunas centrales incorporan almacenamiento de energía.
- Varían en tamaño y ubicación estratégica, y tienen un impacto ambiental positivo al generar electricidad sin emisiones.

Instalación Solar Fotovoltaica



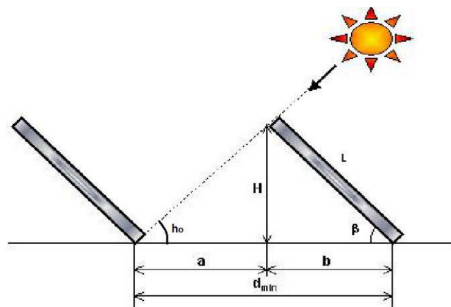
Instalación Solar Fotovoltaica

La distancia mínima entre paneles en una central solar fotovoltaica depende de la inclinación mínima del sol ($\alpha_{\text{mín}}$), la inclinación de los módulos, y sus dimensiones. La elevación solar mínima se da el 21 de diciembre en el hemisferio norte y se puede aproximar como:

$$\alpha_{\text{mín}} = 90^\circ - \phi - 23,5^\circ$$

Y la distancia mínima se calcula como:

$$d_{\text{mín}} = a + b = L \left(\frac{\sin \beta}{\tan \alpha_{\text{mín}}} + \cos \beta \right)$$



Instalación Solar Fotovoltaica



Para tu latitud e inclinación de módulos solares, determina la distancia mínima entre los paneles solares en una superficie horizontal.

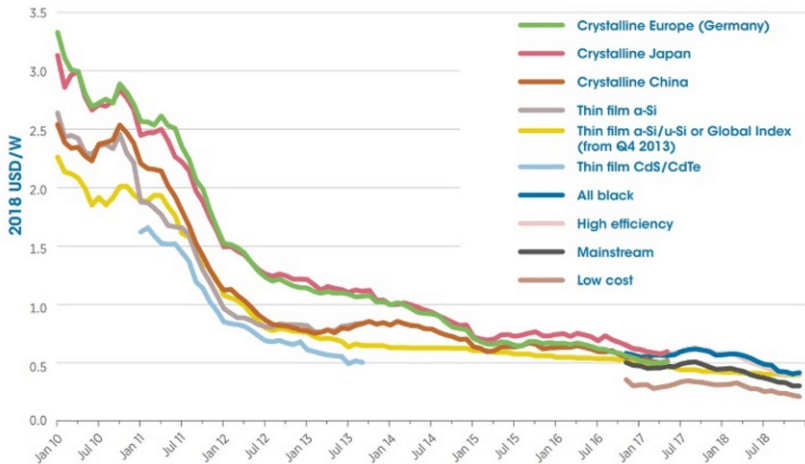
Distancia mínima entre paneles (m)

Instalación Solar Fotovoltaica

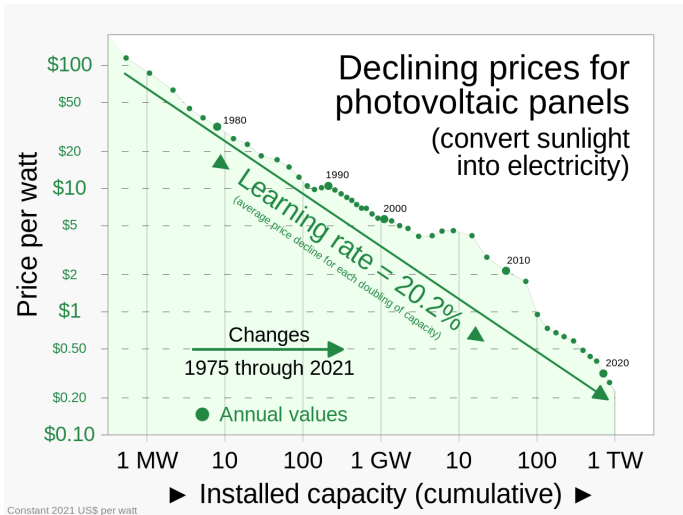
El autoconsumo fotovoltaico es un sistema en el cual un usuario genera su propia electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos instalados en su propiedad.



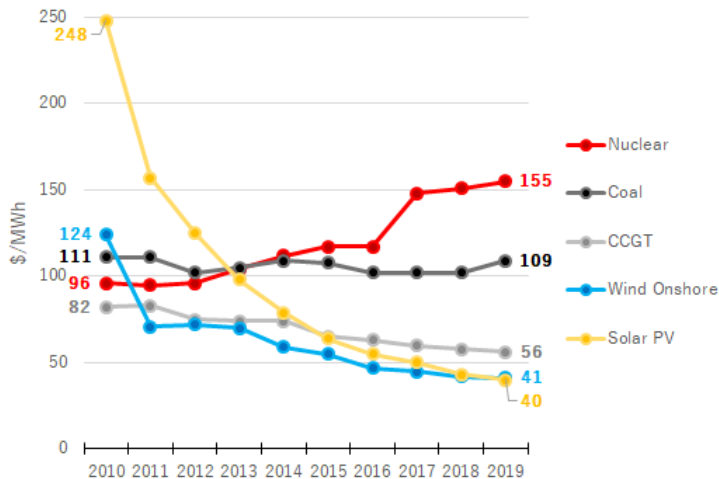
Evolución fotovoltaica



Evolución fotovoltaica

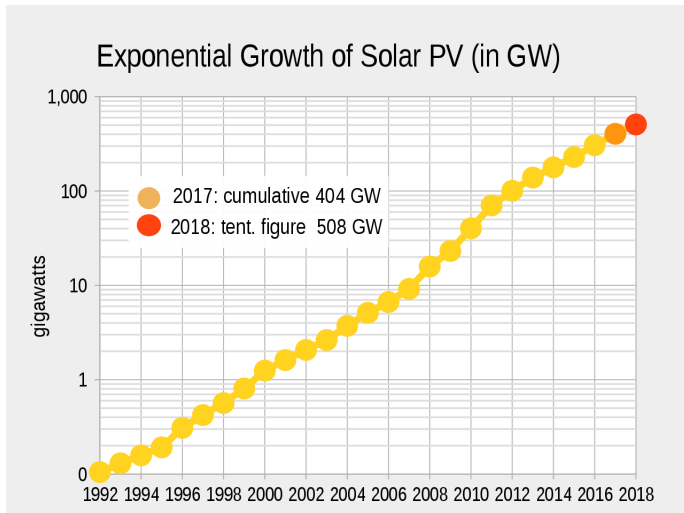


Evolución fotovoltaica



Levelized cost of electricity of energy
technologies (€/MWh)^[127]

	2012	2013	2018	2021
PV rooftop (small)	170	120	93.85	84.1
PV rooftop (large)	-	-	-	72.1
PV ground (utility)	137	97.5	52.4	44.1
Wind Onshore	73	76	61.1	61.15
Wind Offshore	147.5	156.5	106.4	96.8
Biogas	-	120	124.4	128.55
Solid Biomass	-	-	-	112.75
Lignite	-	45.5	62.85	128.6
Hard Coal	-	71.5	80.65	155.35
CCGT	-	86.5	88.7	104,25
Gas Turbine	-	-	164.85	202.1



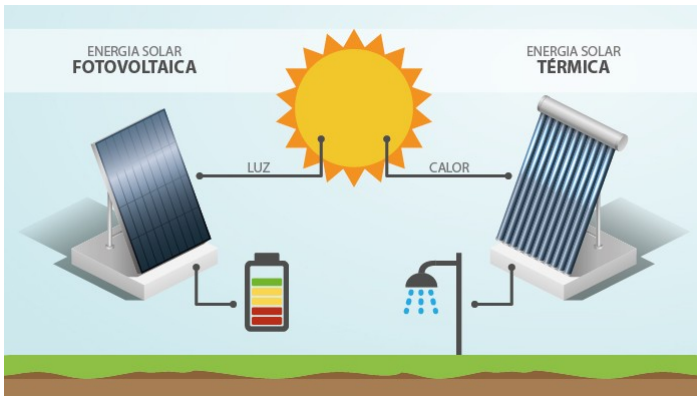
Noticia (04/11/24): Las grandes plantas solares acarician el 'sorpasso' histórico a la eólica como energía con más potencia de España.

- Las instalaciones eólicas tienen una potencia conjunta de 31.5 GW.
- Las instalaciones fotovoltaicas de suelo (sin incluir autoconsumo de tejados) cuentan con una potencia de 29.6 GW (el doble que en 2021). Se espera el sorpaso en 2025.
- En el mercado español hay plantas de autoconsumo en viviendas y empresas con una capacidad de 8 GW. Así que el conjunto de la energía fotovoltaica sumaría una potencia de 37.6 GW.



Energía Solar Térmica vs. Energía Solar Fotovoltaica

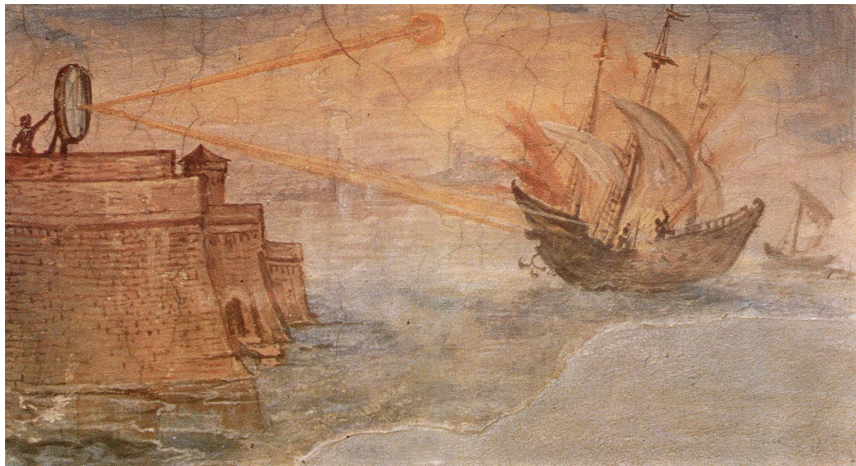
- **Energía Solar Térmica:** la energía del sol se utiliza para calentar un líquido o un gas, que luego se utiliza para generar electricidad o para proporcionar calefacción en edificios.
- **Energía Solar Fotovoltaica:** convierte directamente la luz solar en electricidad utilizando células fotovoltaicas.



- La energía termosolar de concentración —también conocida como CSP, del inglés: Concentrated Solar Power— es un tipo de energía solar térmica que utiliza espejos o lentes para concentrar una gran cantidad de luz solar sobre una superficie pequeña.
- La energía eléctrica es producida cuando la luz concentrada es convertida en calor, que impulsa un motor térmico —usualmente una turbina de vapor— conectado a un generador de electricidad.

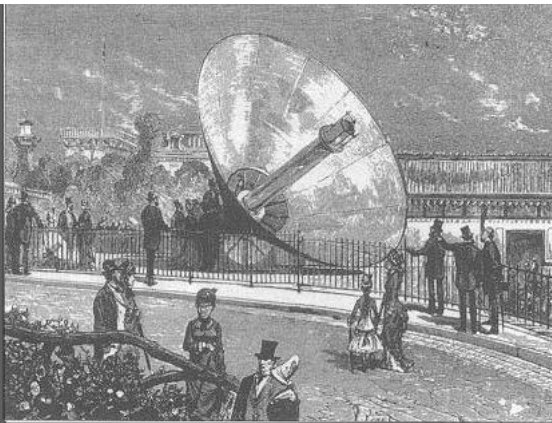
Energía Termosolar

Se atribuye a Arquímedes el uso de un “vidrio ardiente” para repeler la flota romana en Siracusa.



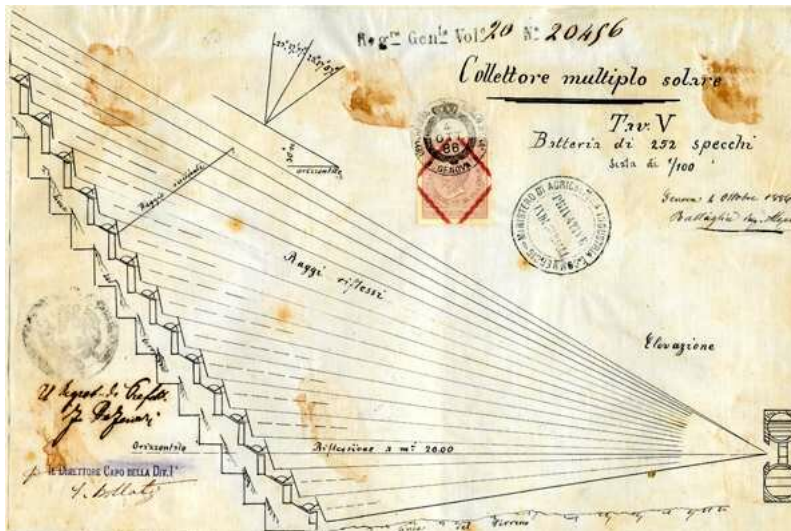
Energía Termosolar

En 1866, Augustin Mouchot utilizó un cilindro parabólico para generar vapor, marcando uno de los primeros usos prácticos de la energía solar.



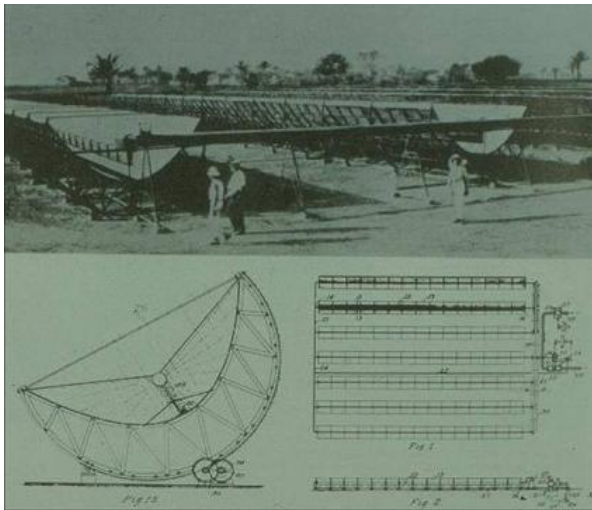
Energía Termosolar

Alessandro Battaglia obtuvo la primera patente para un colector solar en 1886.



Energía Termosolar

En el año 1913, Frank Shuman completó una central de energía solar térmica en Egipto.



Energía Termosolar

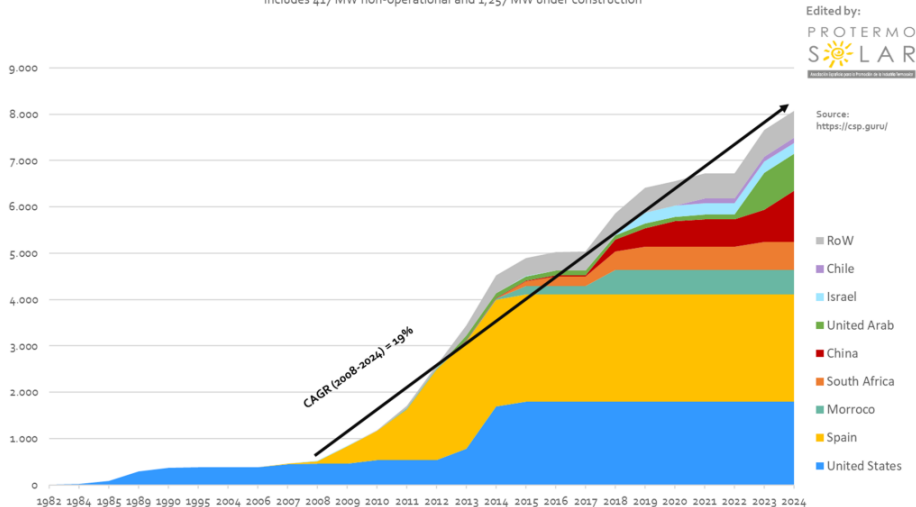
La central Solar One de 10 MW en California (1981) y el proyecto SEGS (1984) con tecnología cilíndrico-parabólica demostraron avances significativos.



Energía Termosolar

Concentrating Solar Thermal Power Global Capacity [MW]

Includes 417 MW non-operational and 1,257 MW under construction



*CAGR: Compound Annual Growth Rate

Termosolar en España

- La energía termosolar tiene una presencia significativa en España, aprovechando su abundante recurso solar.
- La primera planta de energía termosolar en España fue Andasol 1, que comenzó a operar en 2008 con una capacidad de 50 MW.
- España ha continuado expandiendo su capacidad termosolar con proyectos como Gemasolar (20 MW) y Valle 1 y Valle 2 (50 MW).
- La tecnología de torre solar con almacenamiento térmico ha sido empleada en plantas como la Planta Solar de la Torresol Energy en Castilla-La Mancha.
- La región de Andalucía es un centro importante para la generación termosolar en España.

Plataforma Solar de Almería

- La Plataforma Solar de Almería (PSA) es un centro de investigación y desarrollo dedicado a la energía solar.
- La PSA ha sido un importante centro de innovación en tecnologías solares desde su fundación en 1979.
- La PSA abarca una amplia variedad de instalaciones y laboratorios para la investigación en energía solar, incluyendo sistemas de concentración solar, instalaciones fotovoltaicas, y laboratorios de caracterización de materiales.
- La plataforma ha contribuido significativamente al desarrollo de tecnologías termosolares y fotovoltaicas, así como a la formación de profesionales en el campo de la energía solar.
- La PSA ha sido un lugar clave para la realización de proyectos de investigación a nivel nacional e internacional, promoviendo la colaboración entre la industria y la universidad.

Energía Termosolar



■ **Baja Temperatura:**

- Utiliza colectores planos.
- Agua caliente sanitaria.
- Hasta aproximadamente 100°C.

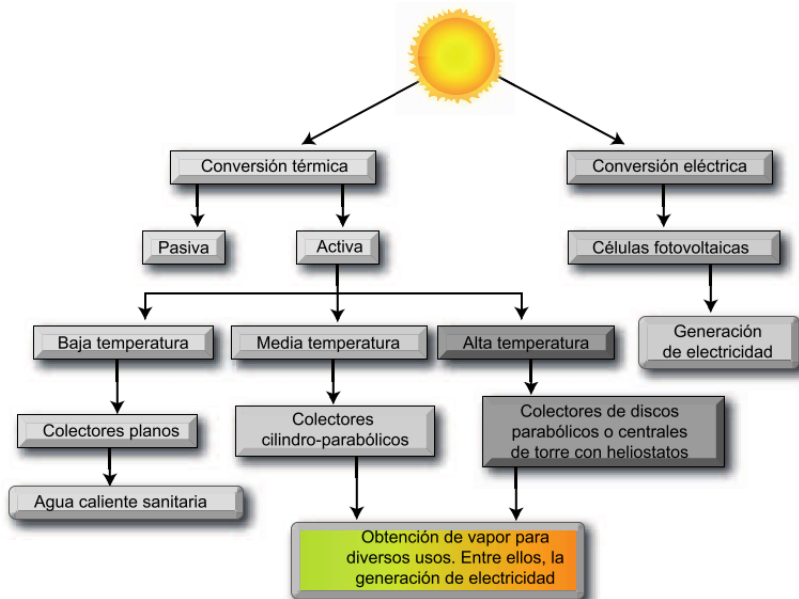
■ **Media Temperatura:**

- Emplea colectores parabólicos y reflectores de Fresnel.
- Generación de electricidad a través de la producción de vapor.
- Alrededor de 100°C a 400°C.

■ **Alta Temperatura:**

- Utiliza torres con helióstatos o espejos para concentrar la luz solar.
- Generan vapor a alta presión para turbinas.
- Más de 400°C.

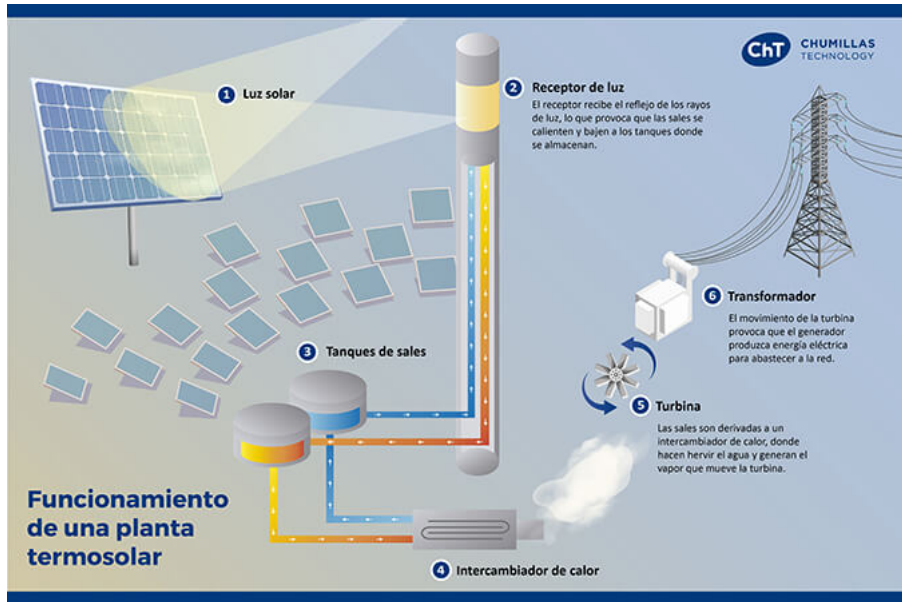
Energía Termosolar



Descripción general de la generación eléctrica termosolar:

- Captación de Energía Solar: Se utilizan colectores solares, también conocidos como espejos o heliostatos, para concentrar la luz solar.
- Concentración de Calor: La luz solar concentrada calienta un fluido térmico (aceite o sales fundidas) que circula a través de los colectores.
- Generación de Vapor: El fluido térmico caliente se utiliza para calentar agua y generar vapor. Este vapor se dirige hacia una turbina.
- Generación de Electricidad: La turbina, impulsada por el vapor, acciona un generador eléctrico.
- Almacenamiento Térmico (Opcional): Algunos sistemas de generación termosolar incluyen almacenamiento térmico.

Energía Termosolar



■ Generación Termosolar:

● Ventajas:

- Generación continua con almacenamiento térmico.
- Eficiencia en grandes escalas.
- Menor impacto ambiental en términos de materiales.

● Inconvenientes:

- Dependencia de la luz solar directa.
- Requiere grandes áreas de tierra.
- Costos iniciales elevados.

■ Generación Fotovoltaica:

● Ventajas:

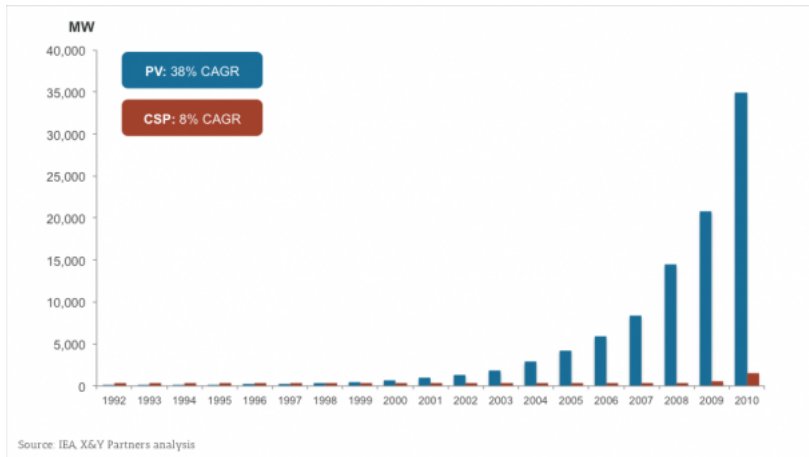
- Versatilidad y escalabilidad.
- Rápida implementación y menor mantenimiento.
- Eficiencia en pequeña escala.

● Inconvenientes:

- Dependencia de la luz solar directa (horas diurnas).
- Posible impacto ambiental de materiales.

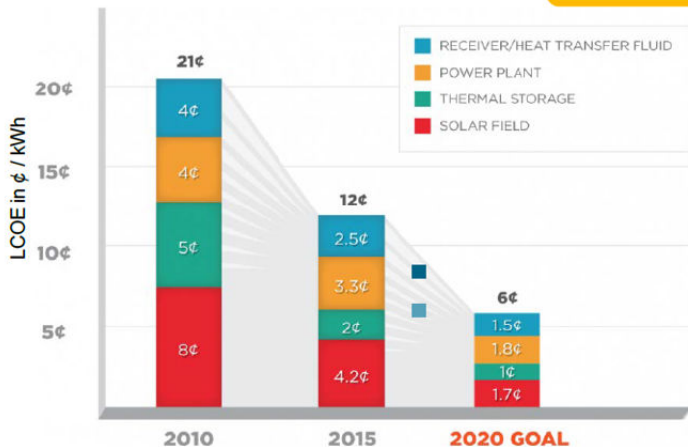
Energía Termosolar

La capacidad de generación eléctrica termosolar es significativamente menor a la generación fotovoltaica.



The falling cost of CSP

Siemens is market leader for steam turbines in CSP plants



■ Cilindros Parabólicos:

- Espejos parabólicos para concentrar la luz en receptor lineal.
- El receptor contiene un fluido térmico que se calienta y genera vapor para impulsar una turbina.

■ Lineal de Fresnel:

- Serie de espejos y lentes lineales para concentrar la luz solar.
- Similar a los cilindros parabólicos pero con un diseño más plano y menos complejo.

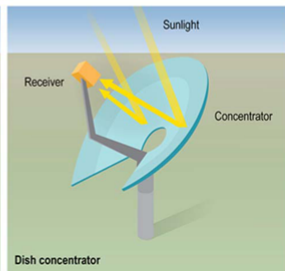
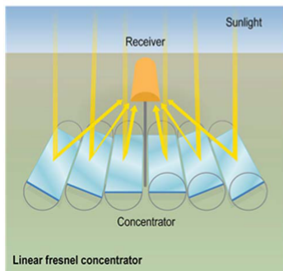
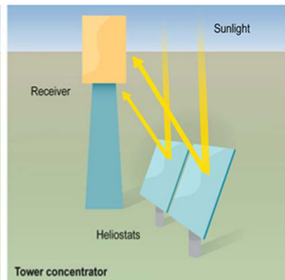
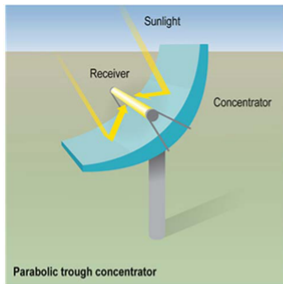
■ Receptor Central:

- Utiliza un campo de espejos o heliostatos para concentrar la luz solar en un receptor en una torre central.
- El receptor convierte la luz solar en calor que se utiliza para generar vapor y producir electricidad.

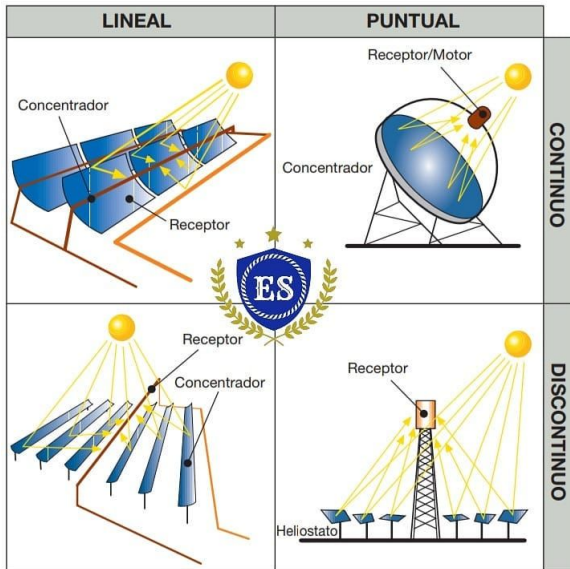
■ Disco Parabólico:

- Reflector parabólico en forma de disco para concentrar la luz.
- El receptor en el centro del disco se calienta, generando vapor para la producción de electricidad.

Energía Termosolar



Energía Termosolar



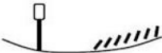
Coeficiente de Concentración en Sistemas Termosolares

El coeficiente de concentración (C) en sistemas termosolares es una medida de la relación entre el área del colector solar, donde se concentra la radiación solar, y el área de apertura por la cual incide la radiación solar.

$$C = \frac{\text{Área del Colector}}{\text{Área de Apertura}}$$

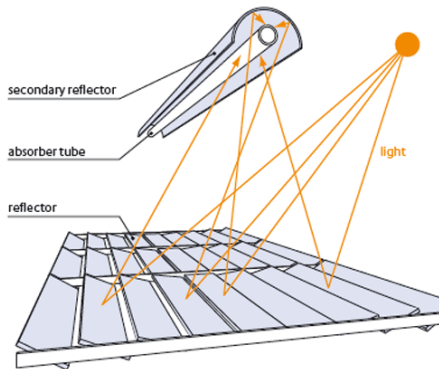
Un coeficiente de concentración de 50 indica que la radiación solar se concentra 50 veces en el área del colector en comparación con la apertura.

Energía Termosolar

			Nombre	Croquis	Razón de concentración "C"	Rango Temperatura alcanzada [C°]
Seguidores	Estacionario	Absorbedor plano	Capatador plano de agua/aire		$C \leq 1$	$30 < T^a < 250$
			Tubos de vacío		$C \leq 1$	$50 < T^a < 200$
	Seguimiento a un eje	Absorbedores tubulares	Colector Parabólico Compuesto CPC		$1 < C < 15$	$70 < T^a < 300$
			Colector Cilíndrico Parabólico CCP		$15 < C < 40$	$70 < T^a < 350$
	Seguimiento a dos ejes	Absorbedores puntuales	Disco Parabólico		$100 < C < 1000$	$70 < T^a < 1500$
			Torre Central		$100 < C < 1500$	$150 < T^a < 1500$

Energía Termosolar

- En sistemas de concentración solar, se utiliza un reflector secundario para maximizar la concentración de la luz solar en el receptor.
- El espejo primario refleja la luz solar hacia el reflector secundario.
- El reflector secundario, a menudo en forma de un segundo espejo parabólico, enfoca la luz solar en el receptor.



Componentes de un Captador Solar Cilindro Parabólico:

■ **Espejo Reflector:**

- Forma parabólica para concentrar la luz solar.
- Recubrimiento especial para mejorar la reflexión.

■ **Estructura de Soporte:**

- Marco que sostiene y ajusta la posición del espejo.

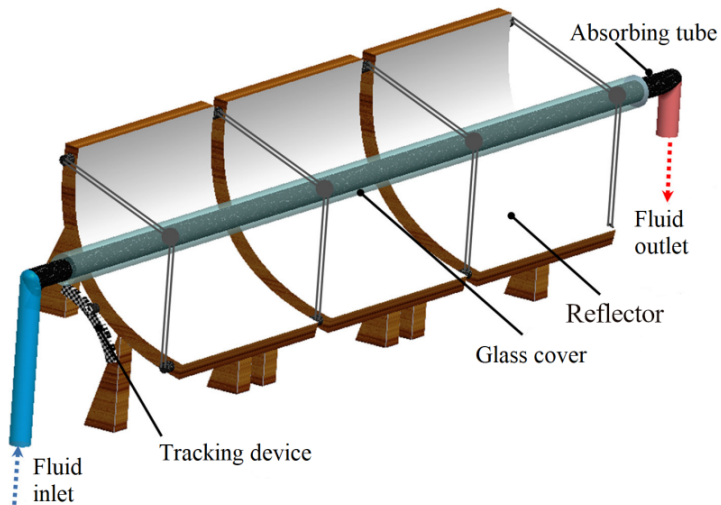
■ **Tubo Receptor:**

- Ubicado en el foco parabólico.
- Contiene un fluido térmico que se calienta con la luz concentrada.

■ **Sistema de Seguimiento Solar:**

- Controla los movimientos del captador para seguir la posición del sol.

Energía Termosolar



Composición del Espejo Reflector en Sistemas Termosolares:

■ **Superficie Reflectante:**

- Capa metálica altamente reflectante.
- Aluminio o plata son comunes debido a su alta reflectividad.

■ **Capa Protectora:**

- Recubrimiento transparente que protege la capa reflectante.
- Puede ser dieléctrico para mejorar la durabilidad y la reflectividad.

■ **Soporte Subyacente:**

- Material estructural que sostiene la capa reflectante.
- Puede ser vidrio, metal o materiales compuestos.

■ **Marco de Soporte:**

- Estructura que mantiene la forma parabólica y fija el espejo en su lugar.
- Generalmente de metal resistente y duradero.

Tubo Absorbente en Captadores de Cilindro Parabólico:

- El captador de cilindro parabólico utiliza un tubo absorbedor para recoger la radiación solar concentrada.
- El espejo parabólico enfoca la luz solar en el tubo absorbedor, que se encuentra a lo largo del foco de la parábola.
- El tubo absorbedor suele contener un fluido caloportador, como aceite térmico, que se calienta al absorber la radiación solar.
- El fluido calentado se utiliza para transferir calor a un ciclo termodinámico o para generar vapor que impulsa una turbina.
- La eficiencia del captador depende de la capacidad del tubo absorbedor para absorber y transferir eficientemente el calor.

Generación Directa de Vapor vs. Uso de Aceite

Ventajas:

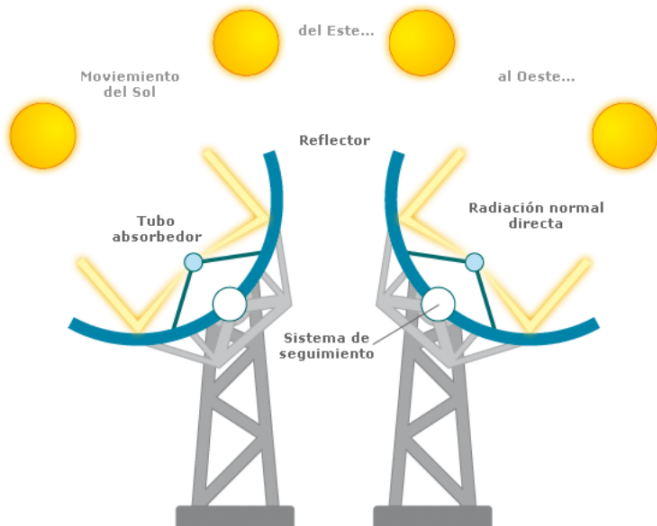
- Mayor eficiencia que el uso de aceite térmico, ya que elimina la necesidad de un intercambiador de calor.
- Al eliminar el intercambiador de calor, se reducen los componentes y, por lo tanto, los costos y la complejidad del sistema.
- Menores riesgos medioambientales (eliminación de aceite).

Inconvenientes:

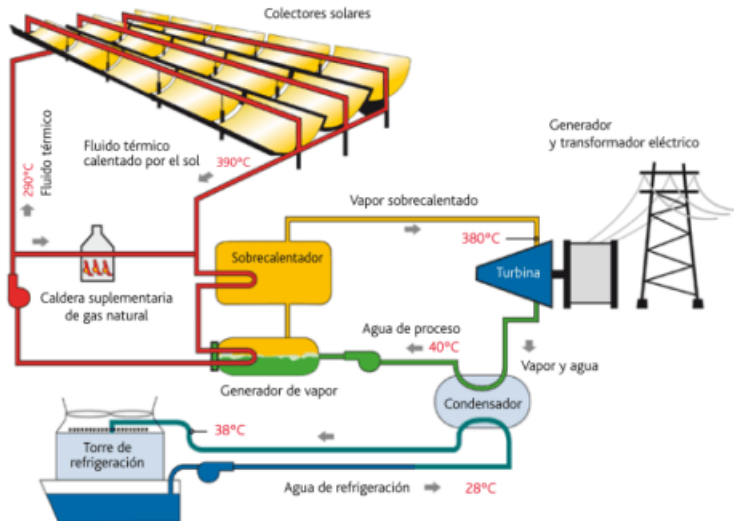
- La generación directa de vapor puede causar problemas de corrosión.
- Necesidad de tuberías más robustas por la alta presión.
- Imposibilidad de almacenar la energía térmica.

Energía Termosolar

Sistema de seguimiento solar

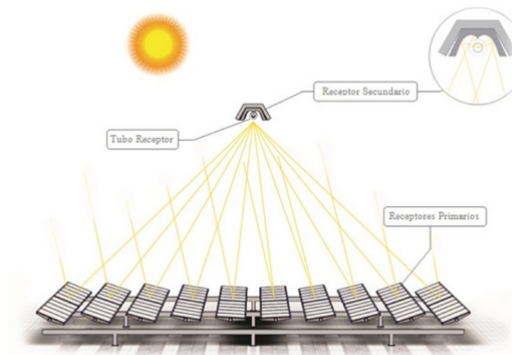


Energía Termosolar



Sistema de Concentración Solar de Fresnel

- Utiliza espejos planos para reflejar la luz solar hacia un receptor lineal a lo largo de un eje focal.
- Los espejos pueden moverse para seguir la trayectoria del sol.

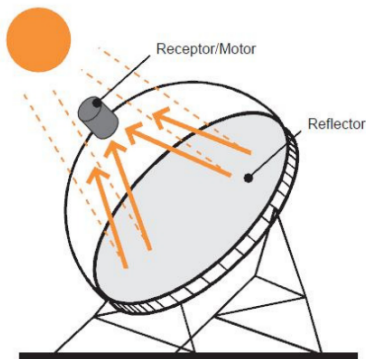


Energía Termosolar



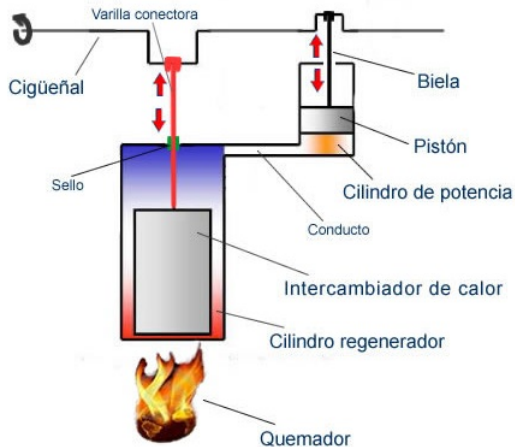
Concentración Solar con Disco Parabólico

- Utiliza un reflector parabólico para concentrar la luz solar en un receptor ubicado en el foco de la parábola.
- El receptor absorbe la luz concentrada y la utiliza para generar calor.
- Utiliza el ciclo Stirling para convertir la energía térmica del sol en energía mecánica.



- El ciclo Stirling implica la compresión y expansión alternas de un gas (como helio) para realizar trabajo.
- Aprovecha la diferencia de temperatura entre un foco caliente y un foco frío.
- El foco caliente se obtiene a través de la concentración solar.
- Eficiencia 30-40 %.
- Velocidades 2000-4000 rpm.
- Potencia eléctrica cada disco 10-25 kW.

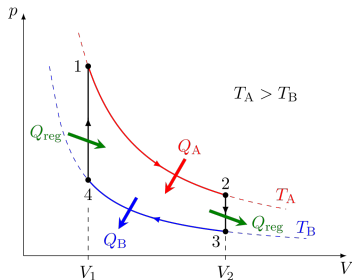
Motor Stirling



Energía Termosolar

El ciclo Stirling ideal consiste de cuatro procesos termodinámicos:

- 1-2. Expansión isotérmica del gas a alta temperatura. Durante este proceso se absorbe calor de la fuente caliente.
- 2-3. Cesión de una cantidad de calor Q_{reg} al regenerador a volumen constante (isocórico o isócoro), disminuyendo la temperatura.
- 3-4. Compresión isotérmica del gas a la temperatura inferior. Durante este proceso se cede al exterior una cantidad de calor a la fuente fría.
- 4-1. Absorción de calor a volumen constante. El gas absorbe del regenerador una cantidad de calor Q_{reg} y aumenta su temperatura.



Ventajas del Motor Stirling:

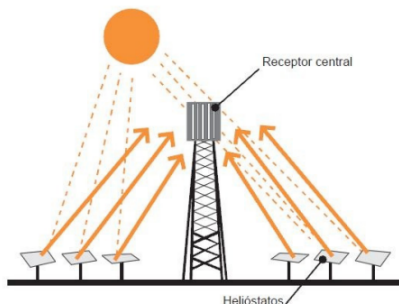
- Eficiencia térmica relativamente alta.
- Bajas emisiones de gases y contaminantes.
- Funcionamiento silencioso.
- Adaptabilidad a diferentes fuentes de calor.
- Menor mantenimiento debido a menos desgaste.

Desventajas del Motor Stirling:

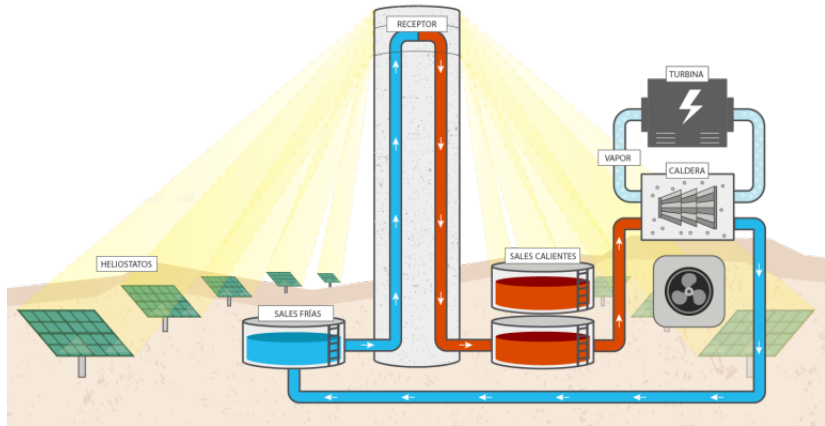
- Complejidad mecánica y costos asociados.
- Potencia específica relativamente baja.
- Tiempo de respuesta lento en comparación con algunos motores.
- Mayor peso y tamaño en ciertos casos.
- Costo inicial más alto en términos de fabricación y desarrollo.

Concentración Solar con Torre

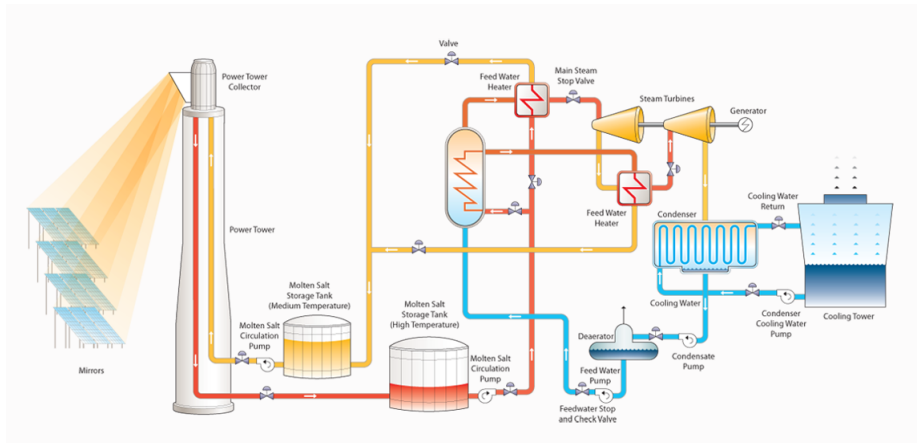
- Utiliza helióstatos o espejos para concentrar la luz solar en un receptor en la cima de una torre.
- El receptor convierte la energía solar concentrada en calor.
- El calor se utiliza para generar vapor y impulsar una turbina conectada a un generador eléctrico.



Energía Termosolar

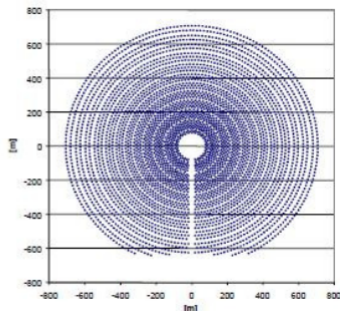
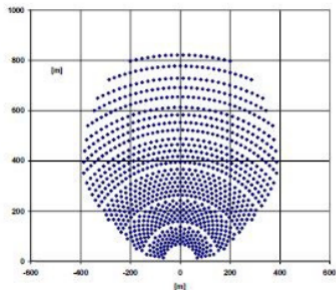


Energía Termosolar

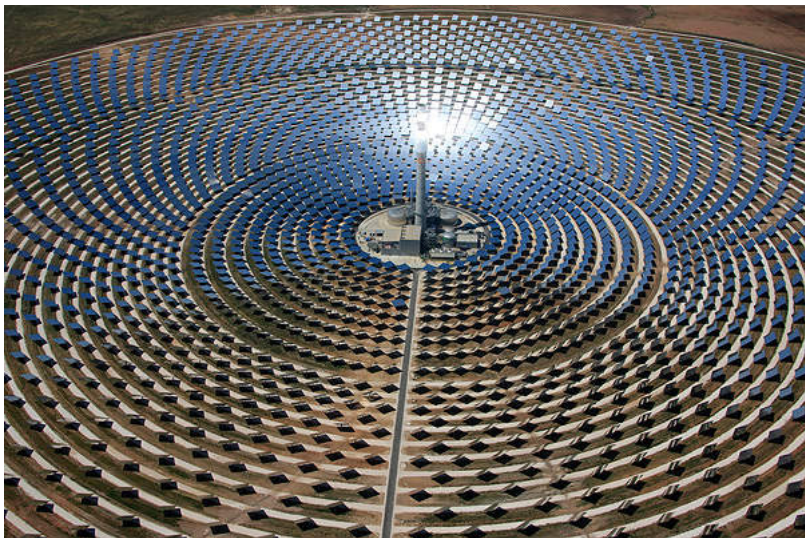


Energía Termosolar

- Los helióstatos son espejos móviles que reflejan la luz solar hacia una torre receptora.
- Disposición circular alrededor de la torre para maximizar la captura de luz solar.

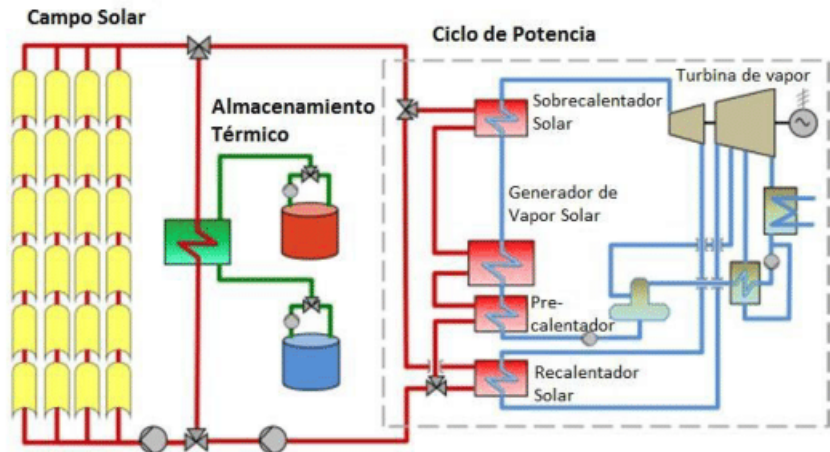


Energía Termosolar



- Las centrales termosolares permiten almacenar parte del calor producido.
- De esta manera se puede producir electricidad en horas en las que no hay sol.
- Permiten generar electricidad a potencia máxima en periodos de hasta 8-12 horas.
- Dos tanques aislados (frío y caliente).

Energía Termosolar



Energía Termosolar

49

Centrales en operación

2300

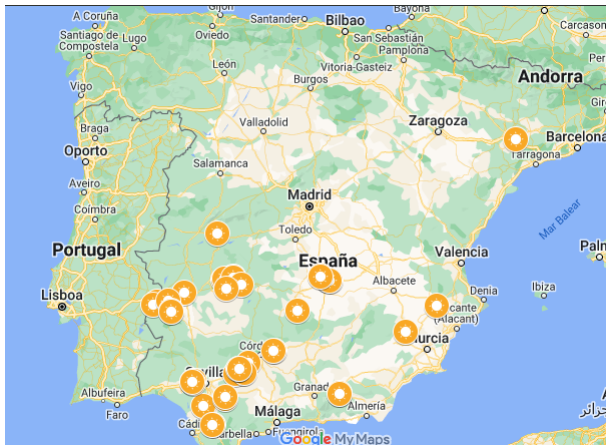
MW en operación

227

GWh último mes

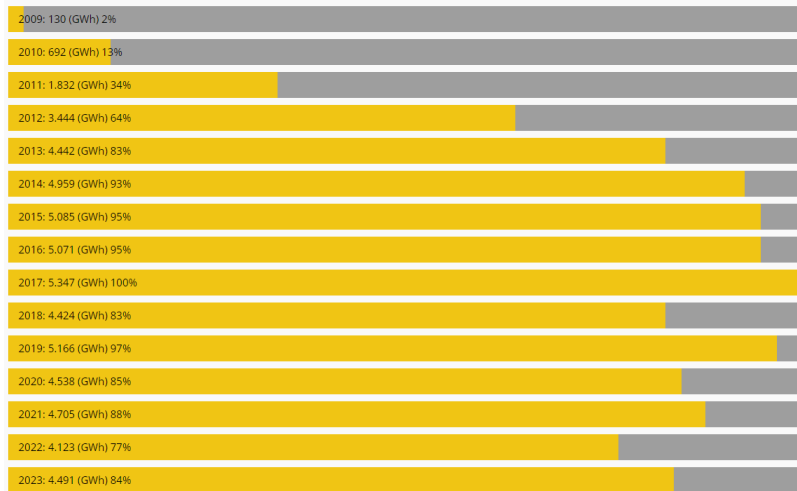
1.21

% generación

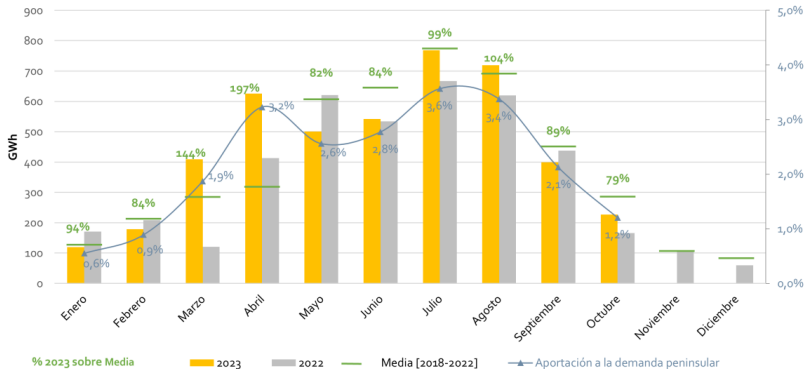


Energía Termosolar

GENERACIÓN ANUAL (GWh)



Solar Termoeléctrica
Comparativa de generación mensual



Fuente:



Elaboración:



Información general sobre las centrales eléctricas Andasol (datos de una central)

Ubicación

Nombre del proyecto	Andasol 1, Andasol 2, Andasol 3
Localización	10 km al este de Guadix dentro de los límites de los municipios Aldeire y La Calahorra en la región Marquesado del Zenete, provincia de Granada
Terreno	aprox. 195 hectáreas (1.300 m x 1.500 m), orientación norte - sur
Acceso a la línea de alta tensión	Conexión a la línea de 400 kV en las inmediaciones de Huéneja (aprox. 7 km de distancia)

Campo solar

Tecnología de cilindros parabólicos utilizada	Skal-ET
Área del campo solar	510.120 m ²
Número de espejos parabólicos	209.664 espejos
Número de receptores (tubos absorbedores)	22.464 tubos, c/u de 4 m de largo
Número de sensores solares	624 unidades
Irradiancia directa normal anual (IDN)	2.136 kWh/m ² a
Rendimiento del campo solar	aprox. 70% rendimiento de punta, aprox. 50% media anual
Capacidad del acumulador de calor	28.500 t de sal para 7.5 horas a carga plena

Potencia de la central eléctrica

Potencia de las turbinas	49.9 MW
Horas de servicio anuales	aprox. 3.500 horas a carga plena
Volumen bruto de electricidad pronosticado	aprox. 180 GWh
Rendimiento total de la planta	aprox. 28% rendimiento de punta, aprox. 15% media anual
Tiempo de vida útil estimado	Al menos 40 años

Energía Termosolar



Manchasol-1 y Manchasol-2

- El proyecto consiste en dos plantas de energía térmica que ocupan una superficie total de 400 hectáreas en Alcazar de San Juan (Ciudad Real).
- Cuentan con un campo de colectores solares cilindro-parabólicos en torno a 500.000 m² y una producción esperada de 175 GWh/año.
- La capacidad de almacenamiento térmico es de 7,5 horas, gracias al empleo de sales fundidas.

Energía Termosolar



Puerto Errado 2

- Planta termosolar ubicada en Calasparra (Murcia), utiliza la tecnología Linear Fresnel.
- La potencia alcanzada es la mayor desarrollada hasta la fecha 30MW.
- Ofrece la ventaja de prescindir del circuito de aceite propio de las plantas convencionales, integrando el campo solar como el propio generador de vapor del ciclo agua-vapor.
- 28 filas de espejos, con una longitud de 940,8 metros y una superficie de captación solar de 301.056 metros cuadrados.
- Dos grupos termosolares iguales de 15 MW. Cada uno de ellos consta de un campo solar y un sistema de potencia que puede acoplarse adicionalmente al campo solar del otro, con el fin de mejorar el rendimiento de turbinas en los periodos de menor potencia solar.

Energía Termosolar



Gemasolar

- Gemasolar es una planta de energía termosolar de concentración con sistema de almacenamiento térmico en sales fundidas en Sevilla.
- Se trata de un campo solar de 185 ha que alberga el receptor en una torre de 140 m de altura y 2650 heliostatos —cada uno de ellos de 120 m^2 — distribuidos en anillos concéntricos alrededor de la torre.
- Los aspectos más innovadores de esta planta son el receptor de sales fundidas y el mecanismo de apunte de heliostatos.
- El sistema de almacenamiento permite producir electricidad durante 15 horas sin sol
- Gemasolar, de 19.9 MW de potencia, es capaz de suministrar 110 GWh al año, con lo que se puede abastecer energía a 27.500 hogares.

Energía Termosolar

GEMASOLAR, con 19,9 MW de potencia, será la primera planta a escala comercial con tecnología de heliostatos, torre central y receptor de sales fundidas.

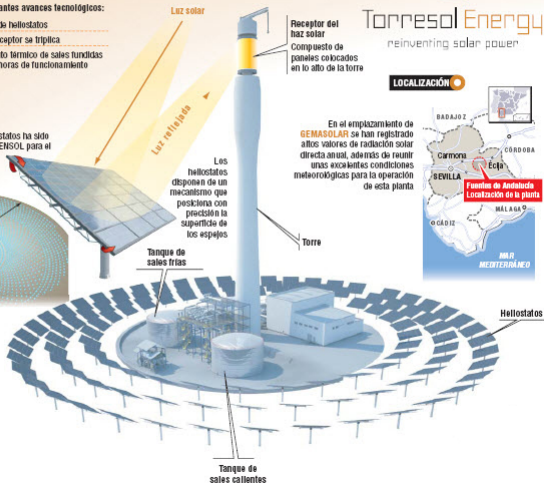
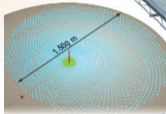
Se han incorporado importantes avances tecnológicos:

- Mayor tamaño y número de heliostatos
- La potencia térmica del receptor se triplica
- Sistema de almacenamiento térmico de sales fundidas con una capacidad de 15 horas de funcionamiento sin radiación solar

CAMPO SOLAR

2.650 heliostatos

La localización de los heliostatos ha sido definida por el programa SENSOL para el dimensionamiento y optimización de la planta



LOCALIZACIÓN

En el emplazamiento de **GEMASOLAR** se han registrado altos valores de radiación solar directa anual, además de reunir unas excelentes condiciones meteorológicas para la operación de esta planta



Energía Termosolar

